



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Planteamiento de estrategias de prevención, control y mitigación de los problemas ambientales generados por las cianobacterias en el embalse de la hidroeléctrica de Ituango.

Diego Alejandro González Hernández

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia

2021



Planteamiento de estrategias de prevención, control y mitigación de los problemas ambientales generados por las cianobacterias en el embalse de la hidroeléctrica de Ituango.

Diego Alejandro González Hernández

Informe de practica como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Bioquímico

Asesores:

Juliana Osorio Echavarría.

MSc. en Ingeniería

Carlos Alberto Noreña Medina.

Ingeniero Ambiental

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Bioquímica

El Carmen de Viboral,

Antioquia, Colombia

2021

Tabla de contenido

Resumen	3
1. Introducción	4
2. Objetivos	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos Específicos	5
3. Marco Teórico	5
4. Metodología	7
4.1. Seguimiento visual de cianobacterias	7
4.2. Análisis de los datos de laboratorio y campo	9
4.3. Uso de redes como instrumento de mitigación de cianobacterias	10
4.4. Selección de la ubicación del sistema de ultrasonido	11
5. Resultados y análisis	11
5.1. Seguimiento visual de cianobacterias	11
5.1.1 Efectos del clima en el fitoplancton	11
5.1.2 Modificaciones propuestas al protocolo de seguimiento visual de cianobacterias	12
5.1.3 Mecanismos de control propuestos para cianobacterias	12
5.2. Análisis de los datos de laboratorio y campo	12
5.2.1 Variación de los microorganismos a través del tiempo	12
5.2.2 Distribución de cianobacterias	15
5.2.3 Comportamiento fitoplancton y de variables fisicoquímicas en un intervalo de 6 meses	16
5.2.4 Diversidad taxonómica del fitoplancton a lo largo del embalse	22
5.3. Uso de redes como instrumento de mitigación de cianobacterias	23
5.3.1 Extracción de cianobacterias mediante redes con tela	23
5.3.2 Extracción de nutrientes mediante la construcción de islas flotantes con plantas para cosecha	25
5.3.3 Extracción de nutrientes mediante el uso de macrófitas	25
5.4. Selección de la ubicación del sistema de ultrasonido	26
6. Conclusiones	26
7. Agradecimientos	27
Referencias bibliográficas	27
Anexos	30

Resumen

La aparición de grandes manchas de cianobacterias en los cuerpos de agua en reposo o con baja velocidad de movimiento es una problemática que ha llevado a buscar alternativas que favorezcan la prevención, control o mitigación de los efectos ocasionados por estas. Este tipo de problemática es frecuente en el proyecto Hidroeléctrico de EPM en Ituango. Por esta razón, es de gran importancia conocer las características específicas del cuerpo de agua a tratar, por lo que se realizó un seguimiento visual del embalse Hidroituango que permitiera llevar un registro periódico de las variables medioambientales y del estado de las cianobacterias en puntos claves del cuerpo de agua. Este estudio se llevó a cabo con el fin de establecer la evolución de las cianobacterias y el fitoplancton en el embalse, para lo cual se usaron los datos históricos con los que contaba la empresa, asociados a las condiciones fisicoquímicas y biológicas del embalse. A partir de la información obtenida tanto de la inspección periódica como de los datos históricos, se realizaron recomendaciones para la selección de las ubicaciones para los equipos de ultrasonido dentro del embalse; además, se realizaron algunas propuestas usando la información obtenida tales como la ejecución de un estudio que permita determinar el uso eficiente de las macrófitas como sistema de captura de nutrientes, un estudio y escalado de redes de captura para cianobacterias y modificaciones del formato de seguimiento visual vigente que permita la prevención, control y mitigación en la proliferación de cianobacterias en el embalse.

Palabras clave: Hidroituango, Embalse, Equipo de ultrasonido, Cianobacterias, Seguimiento visual, Red de extracción.

1. Introducción

Colombia por sus características orográficas y potencial hídrico ha podido generar un gran desarrollo social, tecnológico y económico asociado a la producción de energía eléctrica a través del empleo de centrales hidroeléctricas, las cuales hacen uso de embalses para almacenar grandes cantidades de energía potencial [1]. Una obra de esta magnitud genera un nuevo ecosistema acuático que interactúa con las personas, animales y plantas aledañas a la zona de influencia del proyecto. El proyecto Hidroituango está conformado por una presa de 225 m de altura y 20 millones de m³ de volumen, y una central subterránea de 2.400 MW de capacidad instalada y 13.930 GWh de energía media anual. Esta contará con ocho generadores sincrónicos de eje vertical con una capacidad de 300 MW, que serán alimentados por las aguas del río Cauca, uno de los más importantes del país. Este recurso hídrico constituye un elemento fundamental en el desarrollo de las comunidades de más de 150 municipios aledaños al río Cauca, puesto que muchas actividades de subsistencia se nutren de sus aguas. Es por ello que el saneamiento y la protección del embalse es un eje prioritario para el buen desarrollo de este ambicioso proyecto y por tanto, se deben buscar estrategias que garanticen la calidad y el acceso de agua potable a las comunidades [2].

Debido a las características propias y naturaleza del embalse de Hidroituango se ha favorecido el crecimiento desmedido de organismos dañinos para el ecosistema del río, siendo estos organismos de dos tipos. El primero de ellos son las macrófitas, unas plantas altamente invasivas dentro de las cuales se destaca el buchón o jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) [3]. Estas plantas cubren todo el espejo de agua impidiendo el libre flujo de oxígeno entre el embalse y el aire circundante de la superficie dando lugar a un aumento a la mortandad de peces por ahogamiento, una disminución en la navegabilidad de las embarcaciones y la eutroficación del agua. Sin embargo, en este momento el buchón de agua está siendo retirado por medios físicos con excelentes resultados. Aun así, no es debido retirar todo el material vegetal, ya que éste ayuda con la remoción de metales pesados [4] y con el control de cianobacterias, debido a la competencia por los nutrientes dentro del cuerpo del embalse. Las cianobacterias son los otros organismos dañinos para los ambientes acuáticos de los embalses y corresponden a un tipo de microorganismo bacteriano con capacidad fotosintética que produce metabolitos secundarios con características tóxicas (cianotoxinas) que pueden ocasionar desde daños hepáticos (hepatotoxinas) hasta daños en el sistema nervioso (neurotoxinas) [5]. Ya que estas dos plagas pueden degradar el agua del embalse hasta niveles peligrosos para animales y personas, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) exige el cumplimiento de unos parámetros bioquímicos para el agua del embalse

alineados con los recomendados por World Health Organization (WHO) para el manejo de cianobacterias [3, 6]. Por estas razones, con este trabajo se revisó, evaluó y propuso ajustes a los protocolos de medición y contingencia de cianobacterias que permitan la prevención, control y mitigación de los problemas ambientales asociados a la proliferación de estos organismos en el embalse de la hidroeléctrica de Ituango.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Plantear estrategias para prevenir, controlar y mitigar problemas ambientales generados por las cianobacterias en el embalse de la hidroeléctrica de Ituango.

2.2. Objetivos específicos

1. Registrar las variables ambientales e hidrológicas que afectan la floración de cianobacterias en el embalse de la hidroeléctrica de Ituango.
2. Proponer estrategias que permitan el fortalecimiento de los protocolos para la medición y contingencia de las cianobacterias presentes en el embalse.
3. Estimar las mejores ubicaciones para la implementación de los nuevos sistemas de ultrasonido que reducen los efectos asociados a la presencia de las cianobacterias en el embalse.

3. Marco Teórico

Las cianobacterias son organismos fotosintetizadores procariotas [5] que hacen parte del fitoplancton. Éstas se encuentran mayoritariamente en la zona fótica, la cual está ubicada en la zona más superficial de la columna de agua [7]. Son organismos antiguos con registros desde el periodo precámbrico y pertenecen al dominio Bacteria. Son Gram negativas con pared celular, se reproducen por fisión binaria y carecen de núcleo y organelos por lo cual los tilacoides se encuentran esparcidos sobre el citoplasma, en donde realizan la fotosíntesis por medio de clorofila (algunas cianobacterias también tienen clorofila b). Las cianobacterias comparten depredadores y ambiente con otro fitoplancton eucariota, pero a diferencia de estos últimos, son proclives a generar metabolitos secundarios tóxicos (cianotoxinas). Las cianotoxinas se dividen en: péptidos, alcaloides y lipopolisacáridos. Estas sustancias pueden generar desde simples efectos dermatológicos hasta la inhibición de la síntesis proteica [5].

Por otra parte, las cianobacterias se encuentran tanto en agua salada como dulce. Específicamente en las floraciones de cianobacterias de agua dulce, las cianotoxinas más frecuentes son las nodularinas y las microcistinas, siendo estas últimas las más estudiadas. Hay que resaltar que este tipo de cianotoxinas forman una familia de más de ochenta heptapéptidos cíclicos, y poseen una serie de efectos nocivos para la salud como el colapso de la organización tisular hepática, necrosis y hemorragia intrahepática. También puede generar tumores a largo plazo por la ingestión crónica y prolongada de pequeñas dosis [5]. Por esta razón es necesario prevenir, controlar y mitigar el contenido de cianobacterias en el embalse, ya que esta agua es usada por la fauna y algunas personas de la zona de influencia del proyecto Hidroituango.

En Colombia no hay legislación que regule el contenido de cianobacterias en los cuerpos de agua y es por ello que se utilizan las concentraciones recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [6]. De esta manera la empresa EPM ha incorporado un sistema de semáforo que incluye los colores, verde para <20000 cel/mL (Valores bajos), amarillo para 20000 a 100000 cel/mL (Efectos leves) y rojo > 100000 cel/mL (Alto riesgo) para mantener los valores de cianobacterias dentro de los parámetros establecidos. Además, se ha buscado implementar estrategias que ayuden a prevenir, controlar y mitigar los efectos asociados a la proliferación de cianobacterias. Sin embargo, muchas de las alternativas son técnicamente inviables para el embalse (ver Tabla 1); por ejemplo, la aplicación de métodos físicos como la agitación mecánica en un cuerpo de agua tan grande implicaría una serie de gastos energéticos y económicos muy elevados. Asimismo, el estrés mecánico como método de eliminación de cianobacterias puede afectar toda la fauna y flora del embalse. Por otro lado, agregar sustancias químicas tendría implicaciones ambientales y sociales sobre las comunidades de influencia, volviendo inviable ese tipo de metodologías [3]. Es por ello la importancia de implementar sistemas de registro rápido que ayuden a alertar y a prevenir situaciones que puedan afectar a la población que hace uso del recurso hídrico.

Tabla 1. Métodos para el control de cianobacterias [3].

Método	Denominación	Aplicabilidad en Ituango
Mecánicos	Aireación	Puede ser aplicable en Ituango
	Manipulación hidrológica	No es aplicable por el tamaño del embalse
	Mezcla mecánica	No es aplicable por el tamaño del embalse y porque es un sistema abierto
	Retiro de las espumas	
	Ultrasonido	No es aplicable por el tamaño del embalse
	Genérico	
	Enjuague	
Fisicoquímicos	Coagulantes	No es aplicable por el tamaño del embalse y porque es un sistema abierto
	Floculantes	
	Oxigenación	
	Sulfato de cobre	
	Peróxido de hidrógeno	
	Aumento de la salinidad	
Biológicos	Humedales flotantes artificiales	No es aplicable por el tamaño del embalse
	Presión de pastoreo aumentada	
	Manipulación del ciclo del fósforo	No es aplicable por el tamaño del embalse y porque es un sistema abierto

4. Metodología

4.1. Seguimiento visual de cianobacterias

Se diseñó un formato estandarizado de Excel en donde se registró temperatura, nubosidad, presencia de olores asociado a las cianobacterias, cota (nivel del embalse), precipitaciones cercanas al día del seguimiento visual y otras observaciones adicionales como el reporte de presencia de macrófitas, penetración de luz en agua (disco secchi), características de la mancha de cianobacterias (fitoplancton) o comentarios complementarios (ver anexo 1) [8], que permitió llevar un control de la variación de las cianobacterias en el embalse.

El seguimiento visual se realizó en Bocas de Niquia, Barbacoa, Peque, puerto bruja y Presas (ver *Figura 1*) de manera semanal en dos ubicaciones diferentes dentro del mismo lugar con el fin de revisar orillas y puntos medios del embalse (ver Anexo 1). La elección de los puntos de inspección se realizó teniendo en cuenta la cercanía a los puertos, la presencia regular de cianobacterias y la confluencia de personas

como pescadores o transeúntes, es por ello que no se utilizaron los mismos puntos de muestreo usados en los análisis fisicoquímicos y biológicos, puesto que estos fueron designados bajo condiciones técnicas y espaciotemporales distintas.

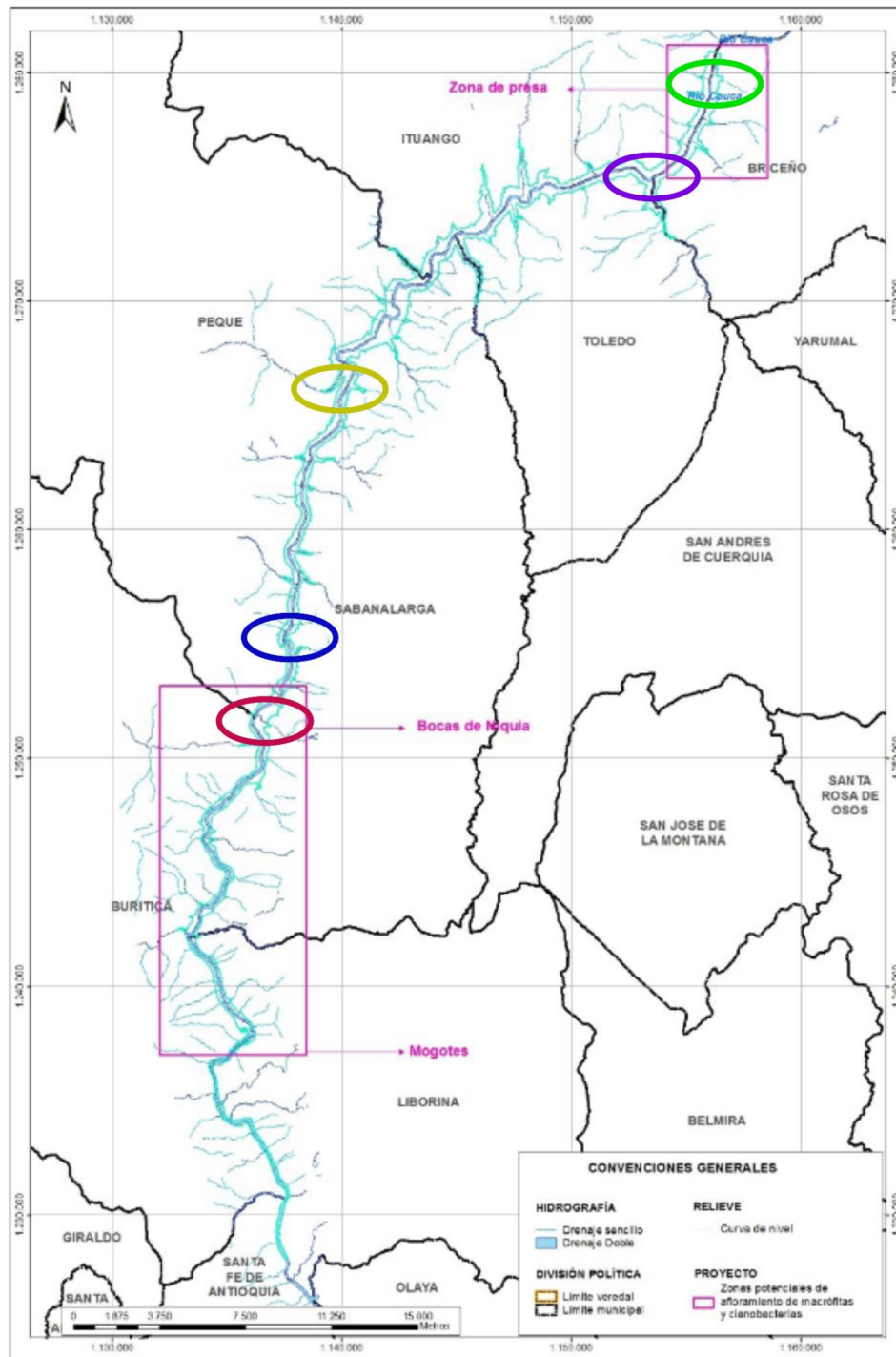


Figura 1. Mapa del embalse hidroituango con la ubicación de los diferentes puntos de seguimiento visual, rojo Bocas de Niquia, azul Barbacoa, Amarillo Peque, Violeta puerto bruja y verde Presa [3]

4.2. Análisis de los datos de laboratorio y campo

A partir de los datos de muestreo suministrados por EPM [9, 10] se realizó un análisis repartido en 2 periodos de tiempo. El primero hace uso del total de los datos históricos asociados a la cantidad de fitoplancton (células/mL) para las ubicaciones de La Cueva, Peque, Santa María, San Andrés y Presa, con el fin de obtener histogramas que permitan ver la variación del fitoplancton, cianobacterias y el porcentaje de cianobacterias en el tiempo. Estos datos parten de muestreos que se realizan mensualmente en el caso de los fisicoquímicos y quincenalmente para el caso de los biológicos. No obstante, cada uno de los lugares anteriormente mencionados fueron muestreados en diferentes días. Por consiguiente, se implementó una nomenclatura (Ej: Nov1_2020) con el fin de hacer más legibles los gráficos. Dado que se hace un muestreo quincenal para lo biológicos, se estableció la siguiente sintaxis: las tres primeras letras del mes de ejecución del muestreo, luego el número 1 ó 2 para expresar si fue la primera o segunda medición del mes y finalmente se agregó el año.

En vista de la gran cantidad de datos y la ausencia de algunos de ellos, se realizó un segundo análisis acotando el intervalo de tiempo a 6 meses: desde el mes de noviembre del 2020 hasta el mes de abril del 2021, con el propósito de identificar los efectos de las variables fisicoquímicas en el fitoplancton y las cianobacterias del embalse. Los datos se seleccionaron considerando que tuviera tanto información de muestreos biológicos como fisicoquímicos. Para el caso de los fisicoquímicos se seleccionaron los que estaban asociados a la zona fótica [9, 10].

Para realizar el análisis se escogieron las variables más representativas asociadas al crecimiento de microorganismos fotosintéticos reportadas en la literatura que son conductividad, turbidez, oxígeno disuelto, carbono orgánico, pH, temperatura, fósforo total, nitrógeno total y la relación de Redfield [3, 4]; luego se descartaron aquellos datos que fueran constantes y finalmente, los valores que estaban por debajo de los límites de detección [9, 10] fueron divididos por 2 como establece el método de imputación [11] (un ejemplo fue el caso del fósforo total del 18/11/20 el cual se cambió de <0.055 mg/L a 0.028mg/L).

Para el caso del análisis taxonómico, los datos se organizaron en un archivo de Excel con extensión .CSV, para ser procesados mediante el uso de RStudio y la librería VEGAN [12] y generar el gráfico de Beta diversidad [14, 15]. Los datos usados para este fin, fueron llevados hasta nivel de clasificación taxonómica de Orden, ya que con este es suficiente para identificar el tipo de cianotoxinas producida por la cianobacterias [5]. En la tabla 2 se muestran los taxos presentes en las muestras analizadas.

Tabla 2. Taxonomía de fitoplancton presente hasta el nivel de orden encontrado en las muestras. Nota: el fitoplancton con fondo gris hace referencia a cianobacterias.

Ankyra	Chlamydomonas sp	Encyonema sp.	Monoraphidium	Peridinium	staurodesmus.sp
aphanocapsa	coelastrum	Eudorina	Morfo 1	Phormidium sp.	Synedra sp.
Aulacoseira	coelomoron	Euglenidae Mf1.	Navicula sp.	Planktosphaeria	Ulnaria
Ceratium	Cryptoglena sp	Fragilaria	nitzschia	Planktothrix sp	
Cf. Gymnodinium sp	Cyclotella sp.	golenkinia	Oocystis	Pseudanabaena	
CF. Limnococcus	Desmodesmus	Gomphonema	Pandorina	Radiococcus sp	
Chlamydomonadaceae Mf6	Dictyosphaerium sp.	Microcystis	pediastrum	sphaerocystis	

4.3. Uso de redes como instrumento de mitigación de cianobacterias

Una de las hipótesis que desarrolló este trabajo fue la posibilidad del uso redes que permitieran la captura de cianobacterias y fitoplancton en general. Por eso se seleccionaron varias telas luego de realizar varias visitas a diferentes locales especializados en venta de productos textiles donde se escogieron por su tamaño de poro la gabardina, el velo suizo y la muselina como candidatos prometedores como posibles redes de extracción de cianobacterias. Se probaron las telas en campo y luego se hizo un escalado utilizando una red (ver figura 2).



Figura 2 Red de remoción de cianobacterias, con tres tipos de tela muselina (A), velo suizo (B), gabardina (C) y el cabezal de la red artesanal (D)

4.4. Selección de la ubicación del sistema de ultrasonido

Como se hace alusión en la Tabla 1, la implementación del ultrasonido como sistema de control es inviable por el tamaño del embalse. No obstante, el usar solo unos pocos equipos de estos como un sistema de mitigación, lo convierte en una opción factible financieramente. Ahora, para escoger las mejores ubicaciones para implementar equipos de ultrasonido, se tuvo a consideración los datos recopilados por los seguimientos visuales, la experiencia de campo de las personas que trabajan en el proyecto hidroituango, la asesoría del Ingeniero Ambiental Carlos Alberto Noreña Medina y los datos físicos, químicos y biológicos suministrados por EPM sobre el embalse. Estos últimos también fueron empleados para generar las gráficas de comportamiento de las cianobacterias y fitoplancton en general. Una vez establecido los resultados se sopesó la afluencia de personas a los lugares, puesto que la razón más importante de estos equipos es buscar proteger a la comunidad de los efectos nocivos de las cianobacterias.

5. Resultados y análisis

5.1. Seguimiento visual de cianobacterias

5.1.1 Efectos del clima en el fitoplancton

El registro visual se implementó durante el mes de abril del 2021, fecha en la cuales los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca, Risaralda y Caldas presentaron registros de precipitaciones comprendidas en un rango entre 300 a 400 mm para sectores cercanos al río Cauca [13]. Cabe destacar que a pesar que dichos valores disminuyeron en los meses posteriores, la cantidad de lluvias siguieron siendo muy altas hasta por lo menos el mes de julio [13], dando lugar a un alto enturbiamiento del agua (ver *Figura 3*) y a una dilución constante del embalse, lo que no permitió la afloración de colonias de fitoplancton. Lo anterior condujo a que los datos asociados al registro visual mantuvieran una homogeneidad de las variables físicas durante el tiempo de registro (ver anexo 1).



Figura 3. Imágenes comparativas del embalse con floraciones de cianobacterias (A) y del embalse sin afloraciones a causa de las altas precipitaciones (B)

5.1.2 Modificaciones propuestas al protocolo de seguimiento visual de cianobacterias

Con el fin de establecer un protocolo de seguimiento visual más adecuado a las particularidades del embalse y que mejore la calidad de los datos registrados, se propone la realización de las siguientes modificaciones a partir de la experiencia obtenida durante el tiempo que se ha realizado precisamente el seguimiento visual:

- a) Modificar los valores de nubosidad de bajo moderado y alto por “menor a $\frac{1}{3}$ ”, “entre $\frac{1}{3}$ y $\frac{2}{3}$ ” y “mayor a $\frac{2}{3}$ ” o eliminar este parámetro debido a la subjetividad del mismo.
- b) Implementar el uso de un termómetro para obtener valores cuantitativos y objetivos.
- c) Acompañar el disco secchi de un metro para mejorar la exactitud de las medidas.
- d) Ajustar el parámetro de lluvias para cada punto debido al tamaño del embalse.
- e) Considerar la implementación de un multiparámetro con sensor de ficocianinas para tener un mejor registro de la concentración de cianobacterias.

5.1.3 Mecanismos de control propuestos para cianobacterias

Debido a la importancia del clima para el comportamiento de las cianobacterias y a la importancia que tiene dar una respuesta rápida, el uso de estaciones meteorológicas es una herramienta muy útil para el monitoreo constante del embalse. Además, el control de las fuentes que aportan al río Cauca como quebradas, cascadas y otras fuentes de agua de menor tamaño que desembocan allí y más precisamente al embalse, es una manera de disminuir la carga que recibe este cuerpo de agua. Adicionalmente es bueno buscar el asesoramiento de

los compañeros del embalse de Porce ya que están realizando este tipo de actividades para el mejoramiento del proyecto a través de la reducción de la carga de contaminantes presentes en los cuerpos de agua que desembocan en ese embalse.

5.2. Análisis de los datos de laboratorio y campo

5.2.1 Variación de los microorganismos a través del tiempo

La concentración de fitoplancton mostró una disminución significativa durante los casi tres años de muestreo. Esto se puede observar ya que en el periodo comprendido entre junio de 2018 y julio de 2019 se presentaron 5 alertas amarillas (valores superiores a 20000 células/mL) como se muestra en la *Figura 4*, pero entre julio de 2019 y abril de 2021 se pasó a valores inferiores (1500 células/mL) como se observa en la *Figura 5*. La disminución mencionada anteriormente se da de igual manera en las cianobacterias presentes en los muestreos, puesto que estas pertenecen al conjunto de fitoplancton totales. El cambio en la concentración de cianobacterias para los mismos períodos tomados en el caso de fitoplancton total se puede ver en la *Figura 6* y *Figura 7* respectivamente.

El resultado más importante de la revisión de estos gráficos es ver que la relación entre fechas y cantidad de microorganismos es directamente proporcional, puesto que la concentración de cada uno de los lugares es similar entre ellos para una misma fecha; sin embargo, la magnitud de cel/mL está asociado al periodo de tiempo y por esta razón dividir los datos históricos en dos gráficos permite ver con mayor claridad como las concentraciones están asociada a la época del muestreo. Lo anterior muestra que factores externos como el clima son más dominantes, dado que el comportamiento es muy similar entre las diferentes ubicaciones para los mismos periodos de tiempo. Lo anterior se puede corroborar con los seguimientos visuales donde el clima género un comportamiento homogéneo en el embalse (ver anexo 1). A pesar de esto se puede observar que el sector de Santa María genera picos más pronunciados que las otras ubicaciones (ver *Figura 4* y *Figura 6*). Adicionalmente, el gráfico de porcentaje de cianobacteria muestra que la cueva es el lugar que favorece un mayor porcentaje de cianobacterias dentro del total de fitoplanctónico registrado (ver *Figura 8*). Por esta razón, es necesario revisar la composición de fitoplancton de las quebradas que desembocan cerca a este sector, dado que sus características ambientales son similares a las del resto del embalse.

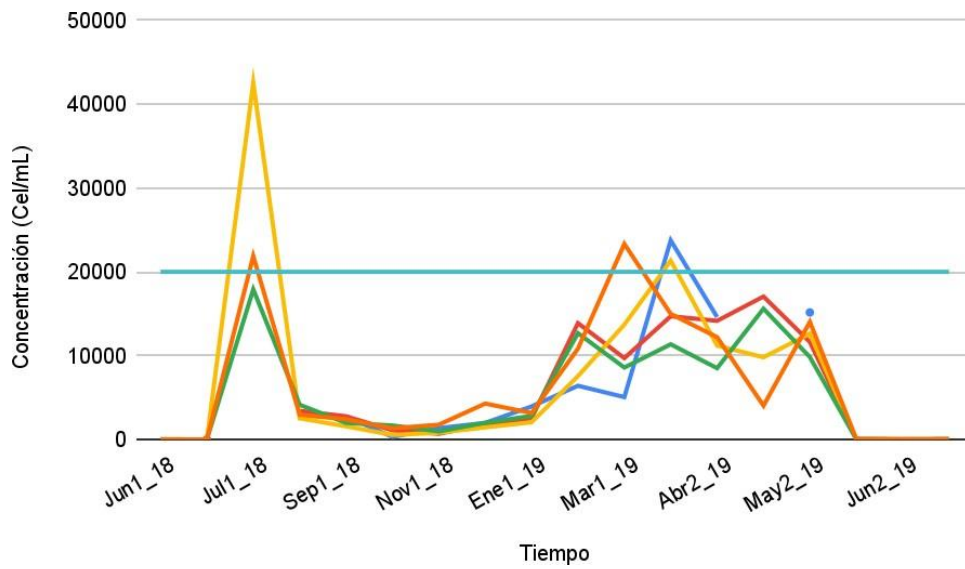


Figura 4. Variación de la concentración de fitoplancton registrado entre las fechas de junio del 2018 y julio del 2019, para las ubicaciones de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y Presa. En azul: La cueva; rojo: Peque, Amarillo: Santa María; Verde: San Andrés; Naranja: Presa, turquesa: límite de alerta amarilla.

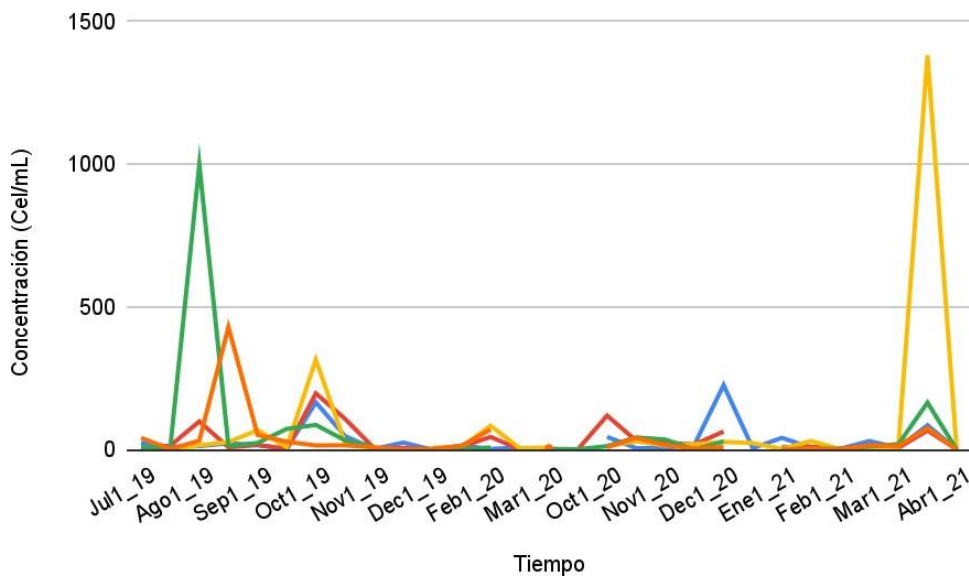


Figura 5. Variación de la concentración de fitoplancton registrado entre las fechas de julio del 2019 y abril 2021, para las ubicaciones de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y Presa. En azul: La cueva; rojo: Peque, Amarillo: Santa María; Verde: San Andrés; Naranja: Presa.

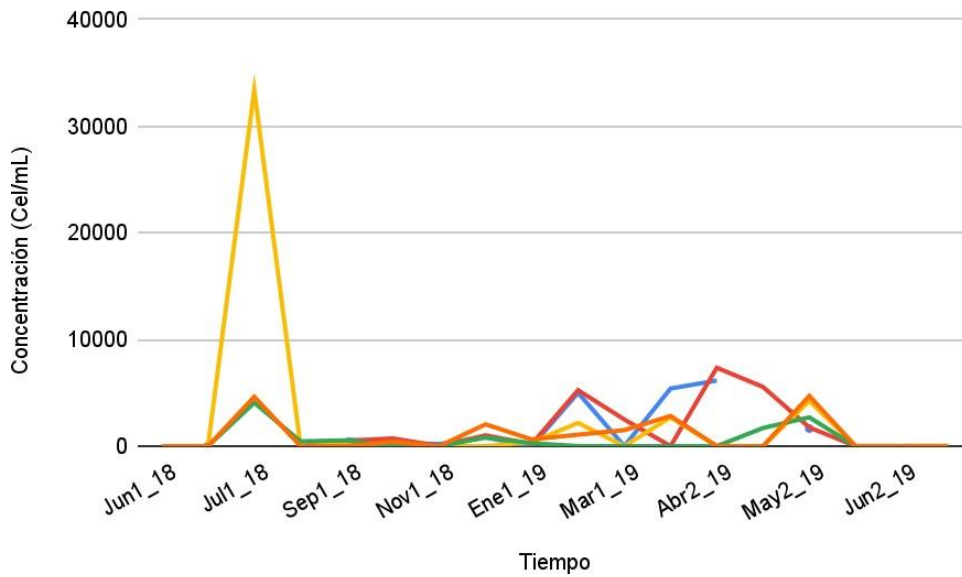


Figura 6. Variación de la concentración de cianobacterias registrado entre las fechas de julio del 2019 y abril 2021, para las ubicaciones de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y Presa. En azul: La cueva; rojo: Peque, Amarillo: Santa María; Verde: San Andrés; Naranja: Presa.

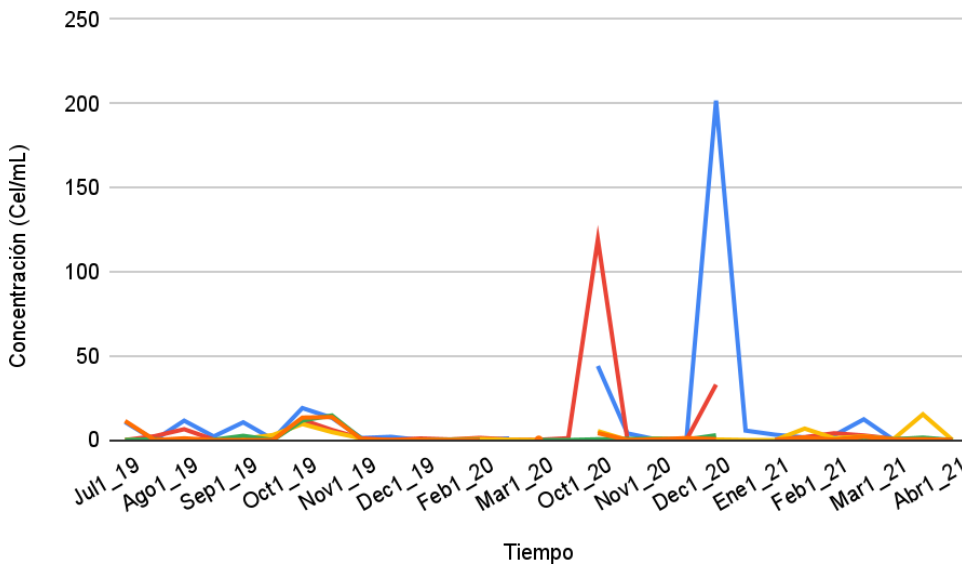


Figura 7. Variación de la concentración de cianobacterias registrado entre las fechas de julio del 2019 y abril 2021, para las ubicaciones de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y Presa. En azul: La cueva; rojo: Peque, Amarillo: Santa María; Verde: San Andrés; Naranja: Presa.

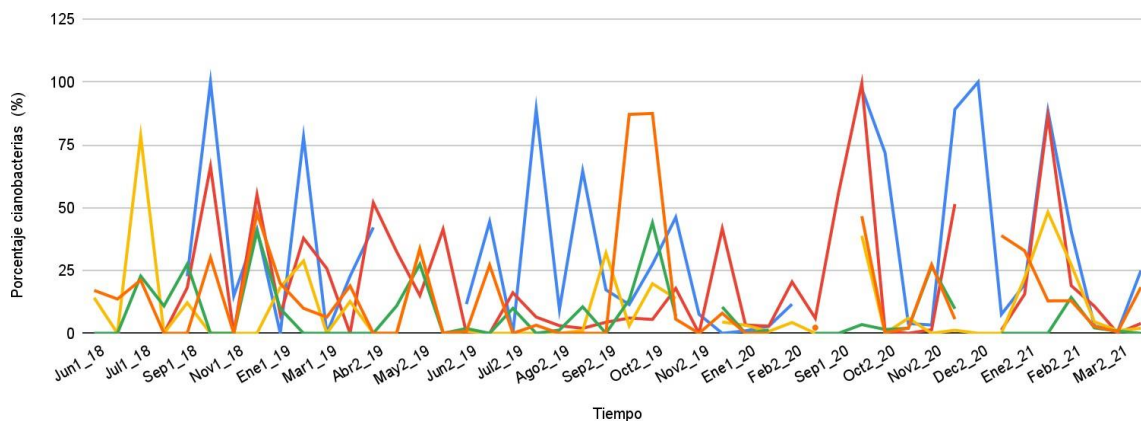


Figura 8. Variación del porcentaje de cianobacterias con respecto al total de fitoplancton registrados entre las fechas de junio del 2018 y abril del 2021 para las ubicaciones de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y Presa. En azul: La cueva; rojo: Peque, Amarillo: Santa María; Verde: San Andrés; Naranja: Presa.

5.2.2 Distribución de cianobacterias

Al revisar los 211 datos asociados a los muestreos de fitoplancton reportados durante el periodo comprendido entre junio del 2018 y abril del 2021 para las ubicaciones de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y Presa, se observó que 59 de los datos, es decir el 28,0 %, no presentaban ningún tipo de cianobacteria. Esto es importante porque las mediciones que no discriminan entre fitoplancton y cianobacterias tales como las asociadas a la cantidad de clorofila [10] pueden generar alertas improcedentes.

Al revisar la composición de los 5 picos que rompieron la barrera del semáforo amarillo, se observó una composición muy heterogénea del porcentaje de cianobacterias en su contenido; por ello se seleccionó un sexto muestreo ubicado en San Andrés y reportado en julio del 2018, el cual no cumplía con las concentraciones requeridas para sobrepasar la barrera (20000 células/mL de fitoplancton), pero que presentaba características de alarma debido a que contaba con al menos 2.7 veces más de contenido de cianobacterias que el registrado por Presa en Mar1_19 y 1.5 veces que el registrado Santa María en Abril1_19, lo cual lo ubica como un registro por encima del 40% de los datos que rompieron la marca amarilla (ver *Tabla 3*). Esto implica que el uso de métodos que no discriminan el fitoplancton puede generar interpretaciones incorrectas del estado del agua. Es por ello que a pesar de que el sexto valor puede ser más importante, no entra como alerta amarilla. De igual manera, los otros registros pueden asociar erróneamente la presencia de cianobacterias sin haber presencia de esta.

Tabla 3. Datos que han sobrepasado la alerta de marca amarilla del número de individuos de fitoplancton por mililitro de muestra (Cel/mL) y dato relevante que no lo cumple.

Fecha	Lugar	Sobrepasó la Marca amarilla	Fitoplancton (Cel/mL)	Cianobacterias (Cel/mL)	Porcentaje de cianobacterias en la muestra (%)
Jul1_18	Presa	SI	21876	4626	21,1
Jul1_18	Santa María	SI	42550	33400	78,5
Mar1_19	Presa	SI	23325	1500	6,4
Abr1_19	Santa María	SI	23325	2700	12,7
Abr1_19	La cueva	SI	23750	5400	22,7
Jul1_18	San Andrés	NO	17900	4075	22,8

5.2.3 Comportamiento fitoplancton y de variables fisicoquímicas en un intervalo de 6 meses

Para el análisis de este proceso se seleccionaron las variables más importantes registradas por la literatura y que tuvieron cambios significativos durante el periodo seleccionado. Por su parte, la conductividad ha presentado una disminución constante como se puede ver en la *Figura 9*. Este hecho puede deberse a la remoción de basuras del río Cauca por parte de EPM ya que este es la fuente de agua que alimenta al embalse, y por tanto muchos de los elementos vertidos en los cauces del río, aportan cantidades variables de sustancias químicas que pueden alterar la composición de iones en el embalse y afectar su conductividad.

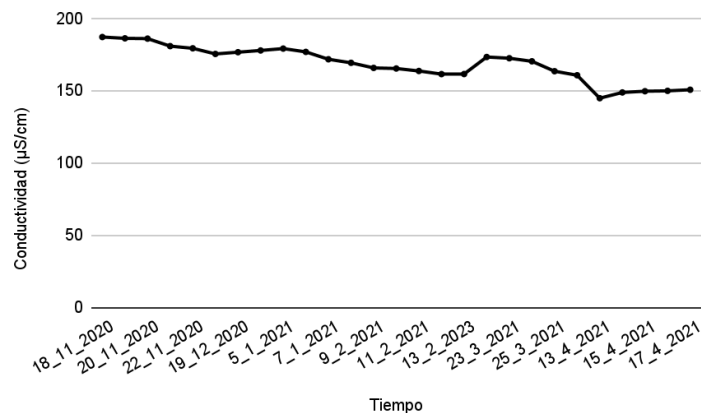


Figura 9. Comportamiento de la variable Conductividad en la zona fótica del embalse, para los muestreos de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y Presa en el periodo de noviembre del 2020 a abril del 2021.

La turbiedad es uno de los indicadores visualmente más representativos puesto que cambia el color del embalse y está asociado directamente a las precipitaciones que arrastran sedimentos al río. Esto se puede constatar en el gráfico donde los valores de alta turbiedad están asociados con la temporada de inicio de invierno en marzo (ver Figura 10). Esta variable está asociada a la cantidad y profundidad de luz que penetra en el embalse, aumentando o disminuyendo el volumen disponible para realizar fotosíntesis y por tanto siendo un factor crítico en la tasa de crecimiento de cianobacterias.

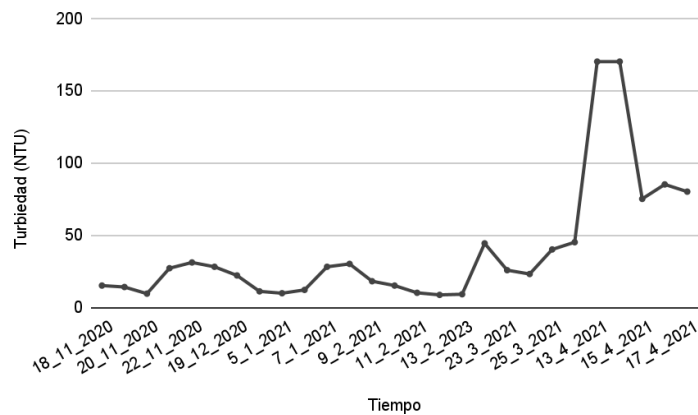


Figura 10. Comportamiento de la variable Turbidez en la zona fótica del embalse, para los muestreos de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y presa en el periodo de noviembre del 2020 a abril del 2021.

El oxígeno disuelto tiene una importancia relevante para las cianobacterias ya que condiciones de anoxia favorecen la liberación de nutrientes; pero, como se aprecia en la *Figura 11*, la variación es imperceptible si se ignora el último punto que puede estar asociado a un error de medición ya que la variable que afecta el contenido de oxígeno es principalmente la temperatura (ver *Figura 12*). Sin embargo, la variación de oxígeno no es solo un parámetro que permite ver la idoneidad del medio acuático para el crecimiento de cianobacterias, ya que esta variación también se asocia a la reducción de concentración de oxígeno por la presencia de cianobacterias, permitiendo así asociar la disminución de su contenido como el efecto de su presencia. Ahora bien, otros elementos que pueden variar el contenido de oxígeno son los fenómenos hidrodinámicos y la presencia de material orgánico en descomposición. Dado su comportamiento de flujo laminar, la incorporación de oxígeno debido a los fenómenos hidrodinámicos es baja y el consumo de oxígeno por parte del material orgánico en descomposición es reducido al estar presente generalmente en las orillas.

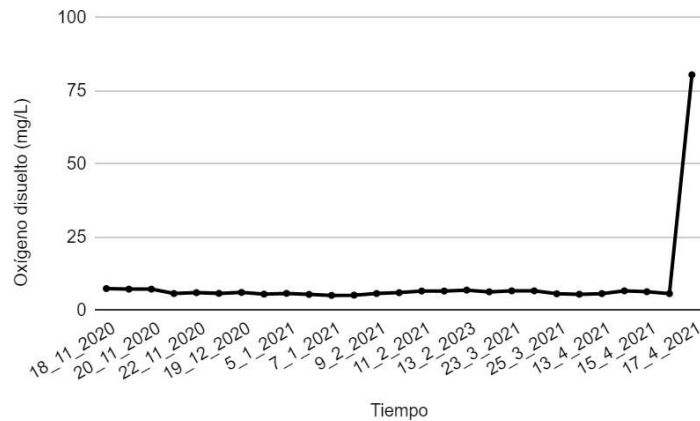


Figura 11. Comportamiento de la variable Oxígeno disuelto en la zona fótica del embalse, para los muestreos de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y presa en el periodo de noviembre del 2020 a abril del 2021.

La temperatura del agua del embalse es aproximadamente constante en el tiempo y dentro de la región de 25 °C a 30 °C. Dicho rango se ha reportado como la temperatura idónea para el crecimiento de cianobacterias por lo que este indicador permite visualizar que es necesario la implementación de un termómetro en el formato de seguimiento visual debido a que las variaciones en la temperatura del agua son casi imperceptibles y hacerlo cualitativo no permite realizar un buen monitoreo.

El pH ha tenido una reducción considerable durante los meses finales del año 2020. Este indicador permite proferir que la calidad del agua ha mejorado aproximándose a un valor más cercano a 7, puesto que ha pasado de valores cercanos a 9.5 a valores menores a 8.1 que son el rango óptimo de crecimiento de bacterias, las cuales pueden asociarse como condiciones indeseables.

El carbono orgánico ha disminuido a valores mínimos con un comportamiento constante (*ver Figura 12*). Tal comportamiento puede estar asociado a un mejor control de macrófitas que son removidas antes de cumplir su ciclo de vida, evitando así la deposición de su biomasa y aumentando el contenido orgánico. Así mismo este proceso se realiza con árboles y otro material vegetal que es arrastrado por el río al generar la eutroficación del agua.

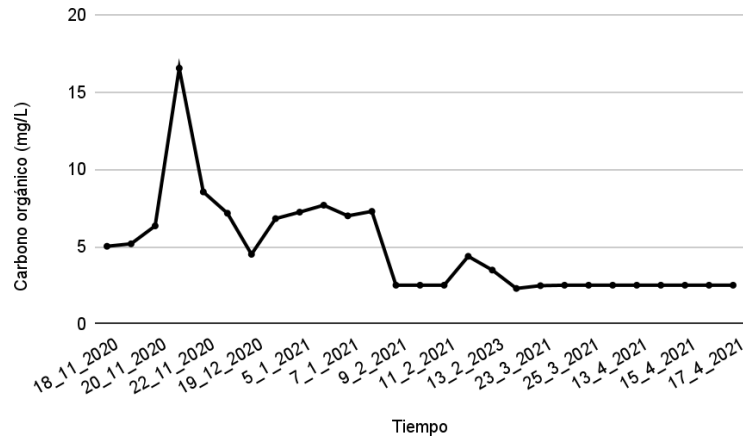


Figura 12. Comportamiento de la variable Carbono Orgánico en la zona fótica del embalse para los muestreos de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y Presa en el periodo de noviembre del 2020 a abril del 2021.

El nitrógeno y el fósforo total han venido presentando una disminución a través del tiempo pasando de tener un único punto por encima del valor mínimo óptimo para el crecimiento de las cianobacterias a valores muy por debajo (ver *Figura 13* y *Figura 14*). Lo anterior indica que las condiciones nutricionales son inferiores a las idóneas para los microorganismos. Sin embargo, no permite visualizar cuál de estas sustancias es el sustrato límite. De ahí, la importancia de parámetros como la relación de Redfield, donde valores de $N/P < 10$ representa una limitación por nitrógeno y valores de Redfield $N/P > 20$ representa una limitación por fósforo. Esto permite que, aunque tanto el nitrógeno como el fósforo son nutrientes que están por debajo de los valores óptimos, es el fósforo el que representa una mayor limitante para el crecimiento del fitoplancton del embalse (ver *Figura 15*).

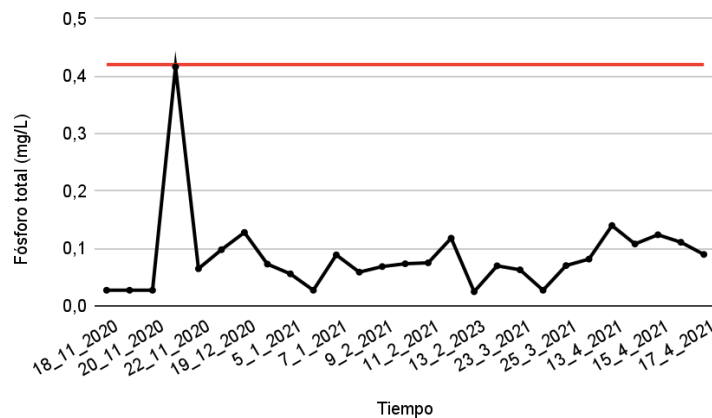


Figura 13. Comportamiento de la variable Fósforo Total en la zona fótica del embalse, para los muestreos de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y Presa en el periodo de noviembre del 2020 a abril del 2021. En rojo: 0,42 mg/L de fósforo.

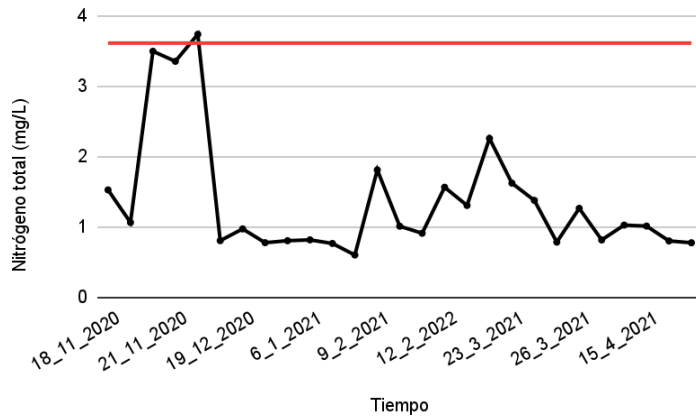


Figura 14. Comportamiento de la variable Nitrógeno Total en la zona fótica del embalse, para los muestreos de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y Presa en el periodo de noviembre del 2020 a abril del 2021. En rojo: 3,61 mg/L de nitrógeno total.

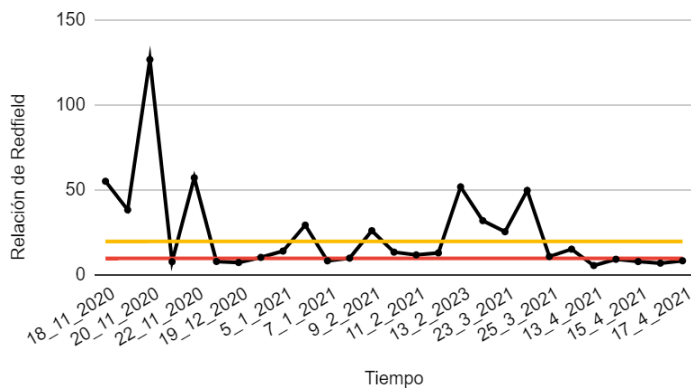


Figura 15. Comportamiento de la variable Relación de Redfield en la zona fótica del embalse, para los muestreos de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y presa en el periodo de noviembre del 2020 a abril del 2021. En rojo Relación de Redfield: 10; en amarillo Relación de Redfield: 20.

Al comparar las gráficas de fitoplancton y cianobacterias por separado dado la diferencia de magnitudes de concentración (células/mL) con cada una de las 9 variables fisicoquímicas, no se observó una relación directa con las concentraciones de microorganismos (*ver Figura 16 y Figura 17*). En tanto la gráfica de la fracción de C/F, se observó que sólo 6 de los 27 datos presentaron un valor mayor al 20% (*ver Figura 18*), lo cual permite apoyar los resultados que indican que la presencia de fitoplancton no involucra un contenido alto de cianobacterias.

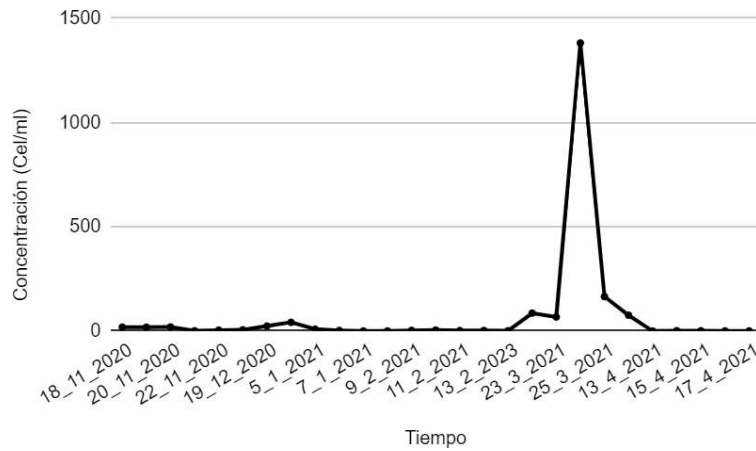


Figura 16. Comportamiento de la concentración de fitoplancton en la zona fótica del embalse, para los muestreos de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y Presa en el periodo de noviembre del 2020 a abril del 2021.

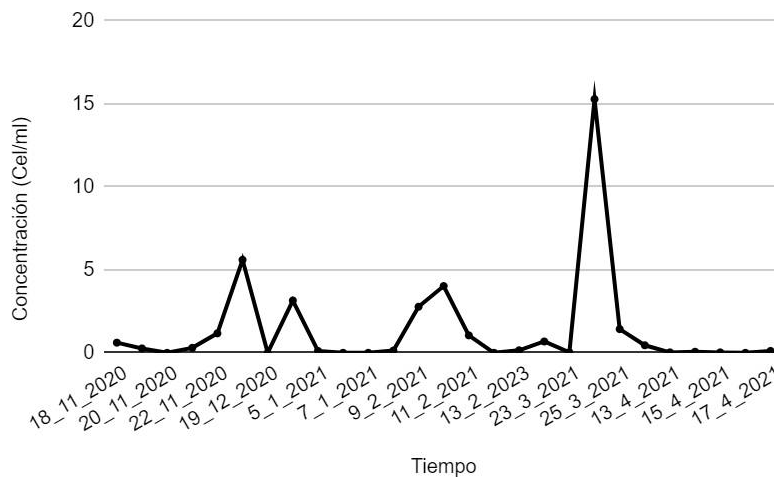


Figura 17. Comportamiento de la concentración de cianobacterias en la zona fótica del embalse, para los muestreos de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y presa en el periodo de noviembre del 2020 a abril del 2021.

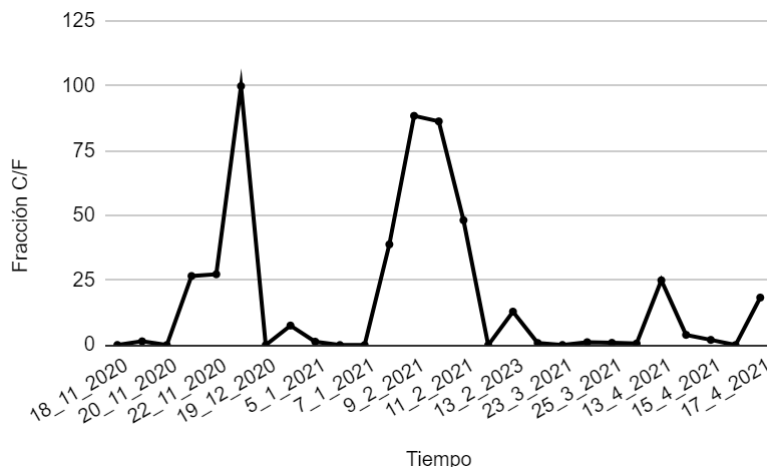


Figura 18. Comportamiento del porcentaje de cianobacterias con respecto al fitoplancton (C/F) en la zona fótica del embalse, para los muestreos de La cueva, Peque, Santa María, San Andrés y presa en el periodo de noviembre del 2020 a abril del 2021

5.2.4 Diversidad taxonómica del fitoplancton a lo largo del embalse

Los resultados obtenidos mostraron que la composición de taxos de fitoplancton está asociada a la ubicación donde se tomó el muestreo [9, 10]. Además, se ve que la distribución es más homogénea entre los sectores más cercanos entre sí como La cueva y Peque al sur del embalse o San Andrés y Presas en el norte donde hay composición similar. Por otro lado, Santa María como punto medio, permite ver una transición en los taxos (*ver Figura 19*). Esto permite observar que muchos de los microorganismos tienen acotado sus áreas de influencia, lo cual es un indicio de que hay barreras naturales que evitan la proliferación de estos microorganismos como lo pueden ser el zooplancton o peces consumidores fitoplancton, abriendo la posibilidad de buscar nuevas metodologías para limitar la proliferación de cianobacterias. De igual forma, este tipo de distribución puede estar asociada a la múltiples quebradas que bañan el embalse durante su recorrido hasta su punto final de desembocadura en presa.

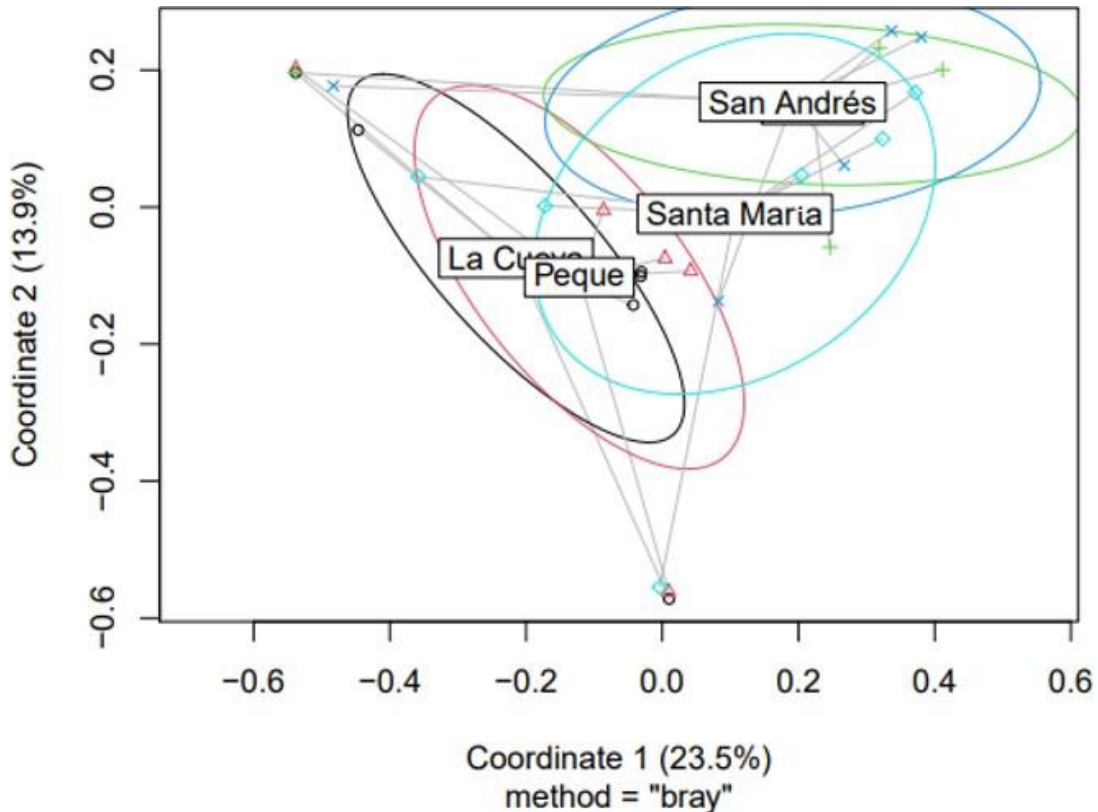


Figura 19 Beta diversidad para los 5 puntos de muestreos mediante el índice de Bray-Curtis.

5.3. Uso de redes como instrumento de mitigación de cianobacterias

5.3.1 Extracción de cianobacterias mediante redes con tela

Con el fin de ver la viabilidad de una red de recolección de cianobacterias, se probó las telas usando coladores huecos como se observaba en la *Figura 2*. En el caso de la Gabardina al realizar la recolección manual se generó un desplazamiento del agua y el fitoplancton formaba repulsión luego de que este estuviera lleno. El velo suizo, tenía un tamaño de poro muy grande que permitía que el fitoplancton se retuviera escapando incluso cuando se dejara gotear. La muselina por su parte fue seleccionada como la tela que poseía un tamaño de poro suficientemente grande que permitía un flujo del agua con pocas pérdidas de fitoplancton. Luego de esto se realizó un proceso de escalado mediante la fabricación de una red artesanal, compuesta de tres partes: un mango un aro metálico, una malla metálica (que evitará la entrada de basura y semillas de plantas marinas) y un tercer aro con corte que permitiera el cambio de las telas tejidas para ser usadas como mallas de remoción (ver *Figura 20*). Este nuevo instrumento se probó nuevamente con las 3 telas, pero al realizar la recolección con la gabardina el fitoplancton se licuó y pasó fácilmente a través de esta.

Finalmente se agregó una nueva tela comercial (Drill) con un grosor mayor y se rehicieron bolsas mucho más pequeñas para reducir el tamaño de columna de agua con el fin de evitar el efecto de licuado. Sin embargo, debido al prolongado invierno la presencia de las manchas de cianobacterias desaparecieron y no se pudo continuar con el experimento. No obstante, se recomienda continuar con las pruebas de la red de extracción de cianobacterias y en caso de que ninguna de las telas comerciales sea útil, probar con la tela especial para recolección de cianobacterias que, aunque no sea económica puede ser un fuerte candidato a un medio para la mitigación y control de las manchas superficiales de fitoplancton (*ver Figura 21*).

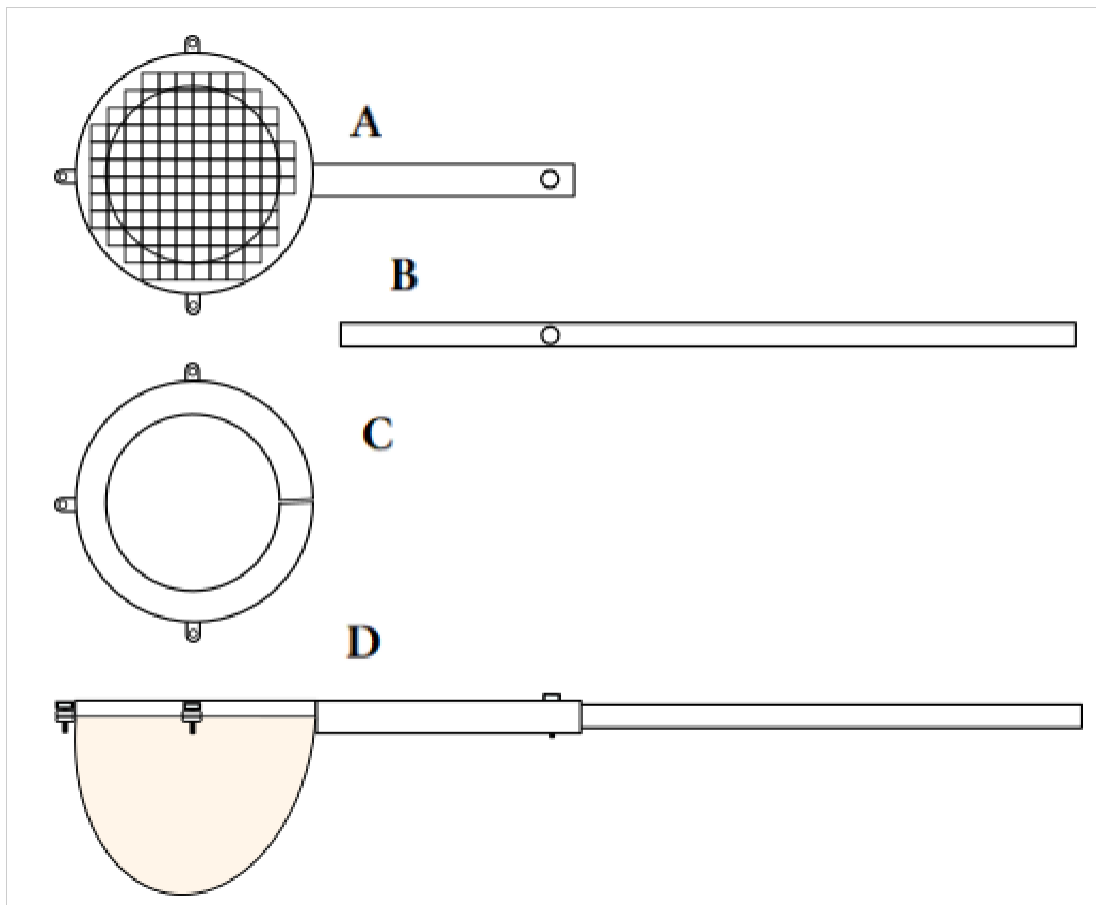


Figura 20. Esquema de partes de la red artesanal (A), Aro de retención de basura (B), mango (C) y aro cortado para introducir la red de tela (D) red completamente armada con tornillos

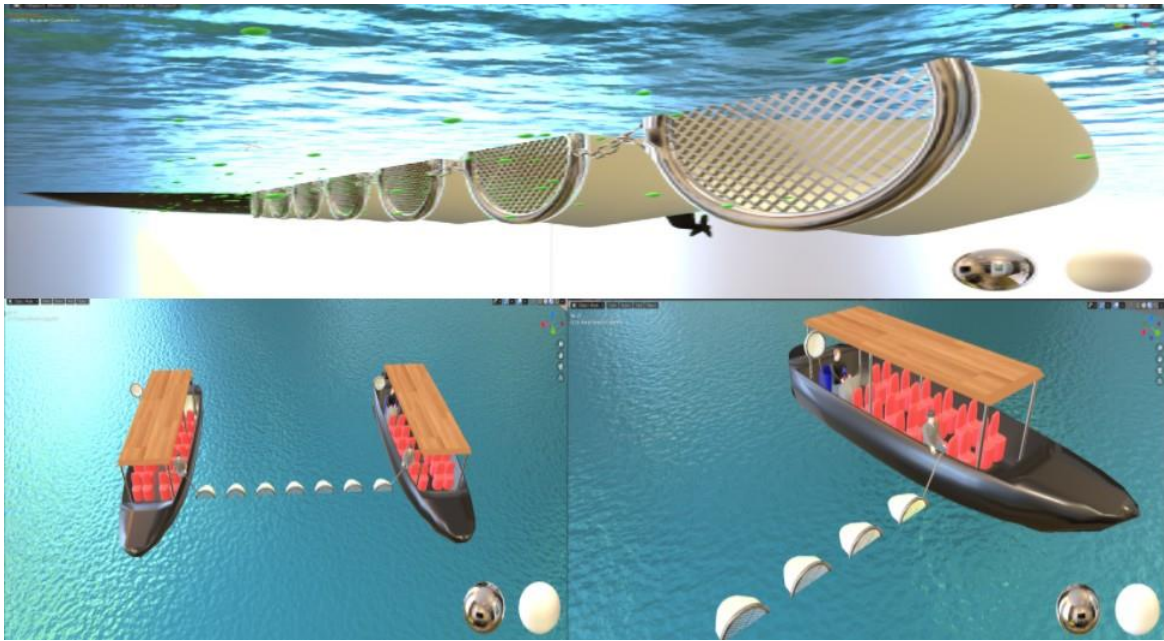


Figura 21. Propuesta de sistema de escalado para las redes de extracción de cianobacterias.

5.3.2 Extracción de nutrientes mediante la construcción de islas flotantes con plantas para cosecha

La bibliografía presenta la utilización de islas flotantes como una alternativa para mitigar la proliferación de cianobacterias, es por tanto que el consorcio hidroeléctrico Hidroituango podría incluir dentro de sus próximas obras civiles, la construcción de islas flotantes con sembríos de plantas para cosecha, los cuales permitirán la extracción de nutrientes del agua [5] y de igual manera podría ayudar a darle una mejora paisajística al proyecto.

5.3.3 Extracción de nutrientes mediante el uso de macrófitas

La literatura establece que las macrófitas y el fitoplancton compiten por los nutrientes, aunque bajo ciertas condiciones puede ocasionar que las primeras favorezcan el crecimiento de las segundas. Es por ello que existe la posibilidad de establecer una mancha de macrófitas (aglomeración de macrófitas) de un tamaño mínimo que permita la extracción de nutrientes sin generar alguna otra afectación al embalse. Para ello se parte de una mancha que se tiene atrapada cerca al campamento mediante un sistema de retención que evita su libre paso por el agua; es necesario acotar que la variable más importante es el tiempo de residencia que el agua permanece bajo la mancha; por ende, es importante asociar la velocidad lineal, la longitud, los nutrientes antes y después de la mancha y no solo asociarlo al área total. Una hipótesis del comportamiento de la concentración de nutrientes al interactuar con la mancha de macrófitas, cianobacterias o nuevos aportes de aguas se puede observar en la *Figura 22* la cual plantea que la mancha de macrófitas

puede afectar de manera significativa la reproducción de cianobacterias al reducir la cantidad de nutrientes disponibles. Cabe destacar que, aunque se han realizado pruebas en otros embalses, el hecho de asociarlo con el área, puede generar interpretaciones incorrectas ya que ésta depende más de la forma y la ubicación que de la mancha misma.

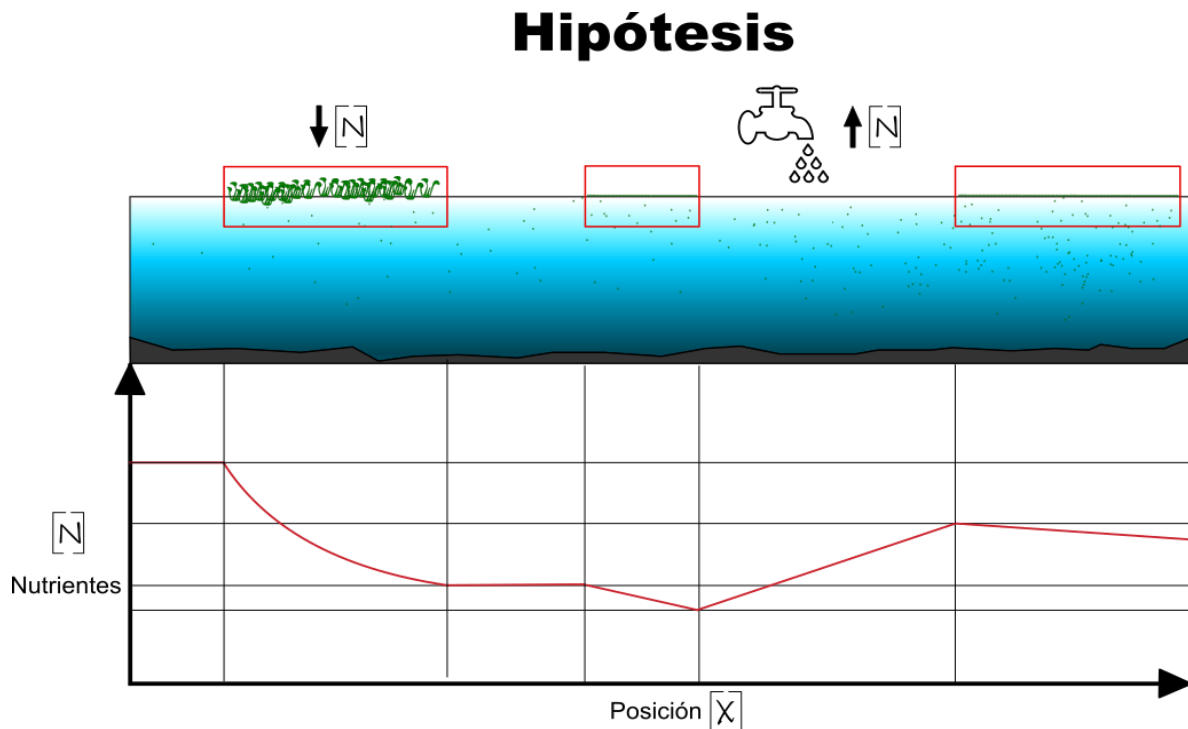


Figura 22. Hipótesis del comportamiento de la concentración de nutrientes al interactuar la mancha de macrófitas, cianobacterias o nuevos aportes de aguas.

5.4. Selección de la ubicación del sistema de ultrasonido

La mayoría del embalse presenta un comportamiento muy similar a pesar de observar que la distribución taxonómica no es homogénea y que hay zonas donde se presentan picos de concentración de fitoplancton o cianobacterias más pronunciados. Sin embargo, estos picos fueron muy pocos y no permanecieron en el tiempo. Es por ello que se considera que el criterio de asociarlo al flujo de personas debe ser el que determine la ubicación de los equipos de ultrasonido; es así que se considera que debería haber al menos 2 equipos: uno ubicado hacia el sector norte del puerto de Bocas de Niquia y otro en Puerto bruja, con el fin de favorecer la zona de Presa. Estos deberían estar disponibles para futuros traslados, puesto que el embalse aún tiene muy poco tiempo de llenado y el ecosistema no necesariamente se ha estabilizado

6. Conclusiones

Los gráficos mostraron que los comportamientos históricos permiten inferir que la fecha del muestreo tiene un valor más significativo en el comportamiento de las cianobacterias/fitoplancton que el lugar donde se hace el muestreo. Esto puede deberse a que la presencia o ausencia de lluvias que cambian la composición fisicoquímica del embalse, debido al arrastre de sedimentos y material vegetal de gran tamaño que provocan la subida en la turbidez del embalse, lo cual que a su vez restringe la profundidad máxima para realizar la fotosíntesis, por otro lado, de igual manera la lluvia limpia y rompe las manchas de fitoplancton y generando un efecto dilución.

Cabe aclarar que en campo se designa como cianobacterias a cualquier mancha de fitoplancton, es por ello la importancia de su distinción, puesto que como se mostró en los resultados, al menos 1 de cada 4 muestras no presentaba presencia de cianobacterias, y por tanto es necesario usar una alerta asociada directamente a la concentración de cianobacterias, puesto que son estas quienes generan las cianotoxinas.

7. Agradecimientos

Agradezco a la Profesora Juliana Osorio Echavarría, por tantos años de apoyo incondicional a mi proceso de formación, por estar siempre dispuesta y motivada con nuestros proyectos personales. Ella es una persona que siempre estuvo para nosotros y una mujer con gran calidad humana.

A la empresa EPM, en especial al grupo “Embalse” quienes con su actitud positiva y espíritu de cooperación me permitieron crecer como ingeniero y en especial como persona.

A Victor Alonso López Agudelo, quien además de ser un amigo, también ha mostrado una actitud de servicio, capaz de convertir una solicitud de favor o una duda académica en una oportunidad de mutuo aprendizaje.


Referencias bibliográficas

1. UPME, COLCIENCIAS, & Universidad Javeriana. (2015). *Primer Atlas hidroenergético revela gran potencial en Colombia. Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)*. Consultado Marzo 15, 2021, de <https://www1.upme.gov.co/Paginas/Primer-Atlas-hidroenergetico-revela-gran-potencial-en-Colombia.aspx>.
2. Hidroeléctrica Ituango. (2016). *Quiénes somos*. Hidroeléctrica Ituango. consultado febrero 23, 2021, de <https://www.hidroituango.com.co/hidroituango>
3. EPM (2017) *Estudios, diseños, monitoreos y otras actividades socioambientales requeridas durante la construcción del proyecto hidroeléctrico Ituango. (Reporte realizado por integral para EPM)*
4. Schneider, I.A.H., Rubio, J., & Smith, R.W. (1995, Septiembre). *Eichhornia crassipes* as biosorbent for heavy metal ions. *Minerals engineering*, 8(9), 979-988. ScienceDirect. Consultado Marzo 15, 2021, de [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(95\)00061-T](https://doi.org/10.1016/0892-6875(95)00061-T)
5. UNESCO (2009). *Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión*. Sylvia Bonilla (editora). Documento Técnico PHI-LAC, N° 16. Consultado Marzo 15, 2021, de <http://limno.fcien.edu.uy/divulgacion/manual.de.cianobacterias.pdf>
6. World Health Organization. (2015). *Management of cyanobacteria in drinking-water supplies: Information for regulators and water suppliers*. World Health Organization. Consultado Marzo 15, 2021, de https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/cyanobacteria_in_drinking-water/en/
7. Félix Echeverría, Néstor Aguirre, Juan G. Castaño, Ana C. Valderrama, Juan David Peña, Carlos Giudice. (2007). *Caracterización fisicoquímica y biológica de la bahía de Cartagena en la zona de Mamonal para la evaluación de pinturas antiincrustantes en condiciones estáticas*. Scielo, Consultado en Marzo 15, 2021, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302007000100001
8. EPM. *Protocolo manejo cianobacterias embalses EPM para generación energía*. (Documento Guía desarrollado por EPM) Consultado en Abril 2021
9. EPM. 21626_Historico RC - EMB - TR (req 1433)_210429vf. (Reporte de muestreo) Consultado en Junio 2021
10. EPM. 21626_Seguimiento_Cianobacterias. (Reporte de muestreo) Consultado en Junio 2021
11. St John-Williams, L., Blach, C., Toledo, J. *et al.* (2007, Octubre) *Targeted metabolomics and medication classification data from participants in the*

- ADNI1 cohort. *Sci Data*, consultado 25 de julio 2021 . de <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.140>
12. Dixon, P. (2003). VEGAN, a package of R functions for community ecology. *Journal of Vegetation Science*, 14(6), 927-930. Consultado Marzo 15, 2021, de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02228.x>
 13. IDEAM. (n.d.). *Tiempo y Clima*. IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Consultado Junio 28, 2021, de http://ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual/-/document_library_display/xYvIPc4uxk1Y/view/113579674?_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_redirect=http%3A%2F%2Fideam.gov.co%2Fweb%2Ftiempo-y-clima%2Fclimatologico-mensual%3Fp_p_id%3D110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D2.
 14. Kendra E. Walters , Jennifer B. H. Martiny. (2020).Alpha-, beta-, and gamma-diversity of bacteria varies across habitats Mayo 28, 2021, de <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0233872>
 15. Saurab Babu.(2016).Alpha, Beta and Gamma Diversity: Biodiversity at different scales. Consultado Mayo 28, 2021, de <https://eco-intelligent.com/2016/10/14/alpha-beta-gamma-diversity/>

Anexos

1. Formato de seguimiento visual de cianobacterias

		EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN INGRESAR NOMBRE DE LA DEPENDENCIA SEGUIMIENTO VISUAL A CIANOBACTERIAS EMBALSE HIDROFLUANGO MANEJO CIANOBACTERIAS EMBALSES GENERACIÓN ENERGÍA								
		SEMANA # 20 MES Mayo AÑO 2021								
Condiciones Físicas	Percepción de olores desde sitio Bocas de Niquia:									
	Dia de observación 1			Dia de observación 2:			Dia de observación 3			
	Nubosidad	Bajo	Moderada	Alta	Bajo	Moderada	Alta	Bajo	Moderada	Alta
	Temperatura	Baja	Promedio	Alta	Baja	Promedio	Alta	Baja	Promedio	Alta
	Cota (mmnm)	407,16			407,16			407,16		
Precipitaciones										
Llovió durante la noche anterior										
LUGAR	GEOREFERENCIACIÓN	REGISTRO FOTOGRAFICO # 1	REGISTRO FOTOGRAFICO # 2	REGISTRO FOTOGRAFICO # 3	PERCEPCION DE OLORES	OBSERVACIONES				
		FECHA: Mayo 21 HORA: 7:45 AM	FECHA: Mayo 21 HORA: 7:45 AM	FECHA: Mayo 21 HORA: 7:45 AM						
Bocas de Niquia	PUNTO 1				Sin percepción de olor característico a la floración de cianobacterias	Presencia de espuma: no Penetración de luz: entre 10 cmy 15 cm Tamaño y Color: no hay presencia de cianobacterias Macrofitas: hay presencia de macrofitas.				
	N 06° 52' 12.6" W 75° 50' 50.2"					No hay cambios significativos con respecto al registro anterior				
Bocas de Niquia	PUNTO 2				Sin percepción de olor característico a la floración de cianobacterias	Presencia de espuma: no Penetración de luz: entre 10 cmy 15 cm Tamaño y Color: no hay presencia de cianobacterias Macrofitas: hay presencia de macrofitas.				
	N 06° 52' 19.7" W 75° 50' 43.5"					No hay cambios significativos con respecto al registro anterior				
Barbacoa	PUNTO 1	FECHA: Mayo 21 HORA: 8:15 AM	FECHA: Mayo 21 HORA: 8:15 AM	FECHA: Mayo 21 HORA: 8:15 AM	Sin percepción de olor característico a la floración de cianobacterias	Presencia de espuma: no Penetración de luz: entre 10 cmy 15 cm Tamaño y Color: no hay presencia de cianobacterias Macrofitas: hay presencia de macrofitas.				
	N 06° 55' 33.4" W 75° 49' 55.2"					No hay cambios significativos con respecto al registro anterior				
Barbacoa	PUNTO 2				Sin percepción de olor característico a la floración de cianobacterias	Presencia de espuma: no Penetración de luz: entre 10 cmy 15 cm Tamaño y Color: no hay presencia de cianobacterias Macrofitas: no hay presencia de macrofitas.				
	N 06° 55' 33.4" W 75° 49' 41.6"					No hay cambios significativos con respecto al registro anterior				
Peque	PUNTO 1	FECHA: Mayo 21 HORA: 8:35 AM	FECHA: Mayo 21 HORA: 8:35 AM	FECHA: Mayo 21 HORA: 8:35 AM	Sin percepción de olor característico a la floración de cianobacterias	Presencia de espuma: no Penetración de luz: entre 10 cmy 20 cm Tamaño y Color: no hay presencia de cianobacterias Macrofitas: hay presencia de macrofitas.				
	N 07° 26' 97.1" W 75° 48' 28.0"					No hay cambios significativos con respecto al registro anterior				
Peque	PUNTO 2				Sin percepción de olor característico a la floración de cianobacterias	Presencia de espuma: no Penetración de luz: entre 10 cmy 15 cm Tamaño y Color: no hay presencia de cianobacterias Macrofitas: hay presencia de macrofitas.				
	N 07° 16' 45.0" W 75° 48' 45.2"					No hay cambios significativos con respecto al registro anterior				
Puerto bruja	PUNTO 1	FECHA: Mayo 21 HORA: 9:35 AM	FECHA: Mayo 21 HORA: 9:35 AM	FECHA: Mayo 21 HORA: 9:35 AM	Sin percepción de olor característico a la floración de cianobacterias	Presencia de espuma: no Penetración de luz: entre 10 cmy 15 cm Tamaño y Color: no hay presencia de cianobacterias Macrofitas: no hay presencia de macrofitas.				
	N 07° 04' 28.0" W 75° 41' 11.8"					No hay cambios significativos con respecto al registro anterior				
Puerto bruja	PUNTO 2				Sin percepción de olor característico a la floración de cianobacterias	Presencia de espuma: no Penetración de luz: entre 10 cmy 20 cm Tamaño y Color: no hay presencia de cianobacterias Macrofitas: hay presencia de macrofitas.				
	N 07° 04' 30.0" W 75° 41' 26.6"					No hay cambios significativos con respecto al registro anterior				
La presa	PUNTO 1	FECHA: Mayo 21 HORA: 10:0 AM	FECHA: Mayo 21 HORA: 10:0 AM	FECHA: Mayo 21 HORA: 10:00 AM	Sin percepción de olor característico a la floración de cianobacterias	Presencia de espuma: no Penetración de luz: entre 10 cmy 15 cm Tamaño y Color: no hay presencia de cianobacterias Macrofitas: no hay presencia de macrofitas.				
	N 07° 08' 30.1" W 75° 39' 55.0"					No hay cambios significativos con respecto al registro anterior				
La presa	PUNTO 2				Sin percepción de olor característico a la floración de cianobacterias	Presencia de espuma: no Penetración de luz: entre 10 cmy 15 cm Tamaño y Color: no hay presencia de cianobacterias Macrofitas: no hay presencia de macrofitas.				
	N 07° 10' 06.1" W 75° 40' 22.0"					No hay cambios significativos con respecto al registro anterior				

XXXXXXXXX
Registro Visual EPM

XXXXXXXXX
Revisión Interventoría