

**Uso de algas como un sistema de alarma en las plantas de tratamiento
de agua de consumo humano para detectar posible contaminación tóxica:
Revisión de literatura**

Camila Alejandra Avila Peña

Proyecto de grado

Asesor interno

Esp. Vanessa Caballero Mejía



**Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
Facultad de Ciencias de la Salud
Programa de Bacteriología y Laboratorio Clínico
Bogotá, septiembre 2022**

Tabla de contenido

1. Planteamiento del problema	4
2. Objetivos	6
2.1 Objetivo general	
2.2 Objetivos específicos	
3. Justificación	6
4. Marco teórico	7
4.1 Antecedentes del proyecto	7
4.2 Bases teóricas	12
4.3 Bases legales	13
5. Marco teórico	13
5.1 Algas	13
5.1.1 Macroalgas	15
5.1.1.1 División de macroalgas	16
5.1.2 Microalgas	17
5.1.3.1 Perifiton	18
5.2 Contaminantes tóxicos	19
5.2.1 Contaminantes inorgánicos	20
5.2.2 Contaminantes orgánicos	22
5.3 Métodos de análisis de contaminación	22
5.4 Procesos de tratamiento de agua para consumo humano	23
5.4.1 Pretratamiento	23
5.4.2 Coagulación-Floculación	23
5.4.3 Sedimentación	24
5.4.4 Filtración	24
5.4.5 Desinfección del agua	25
5.4.6 Análisis	25
6. Diseño metodológico	26
6.1 Método de investigación	26
6.2 Enfoque de la investigación	26
6.3 Métodos y procedimientos de la investigación	27
7. Resultados y discusión	27
7.1 Implementación de algas en el proceso de potabilización de aguas	

7.2 Algas perifíticas como la más ideal para análisis de contaminación	
8. Conclusión	30
9. Referencias	31

Lista de Tablas

Tabla 1. Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana 25

Tabla 2. Puntaje de riesgo según el Decreto 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 26

Tabla 3. Grupos biológicos utilizados como indicadores de calidad de aguas. 29

Uso de algas como un sistema de alarma en las plantas de tratamiento de agua de consumo humano para detectar posible contaminación tóxica

Revisión literaria

1. Planteamiento del problema

La actividad industrial y minera, arroja al ambiente metales tóxicos (plomo, mercurio, cadmio, arsénico, cromo, entre otros) y otras sustancias como lo pueden ser los hidrocarburos producidos en la industria del petróleo, los cuales son muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de las formas de vida. La peligrosidad de los contaminantes tóxicos es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación¹.

Los bioindicadores constituyen un gran grupo de especies vegetales, hongos o animales, cuya presencia o estado en un ecosistema determinado brinda información sobre ciertas características ecológicas de este o el posible impacto ambiental de ciertas prácticas sobre el mismo. Estos se utilizan principalmente para la evaluación de la calidad ambiental de los ecosistemas. Todos los indicadores deben cumplir una serie de requisitos para su empleo, tales como: dispersión y abundancia en el territorio, sedentarismo y tolerar los agentes contaminantes en concentraciones similares a las del ecosistema contaminado sin efectos letales, es aquí donde pueden ser usadas como estimadoras del estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas de medir directamente².

Los indicadores de calidad de agua que comúnmente se utilizan en las plantas de tratamiento de agua de consumo humano, son organismos que llegan a presentar un comportamiento similar a organismos patógenos que dependiendo de su procedencia, hábitat y reacción a factores externos pueden llegar a afectar la calidad de esta. La determinación de presencia de algún tipo de patógeno permite a su vez comparar su reacción a cambios de pH, temperatura o ya sea a la aplicación de medios físicos o químicos para su desinfección; hay que tener muy

presente que el uso de estos indicadores debe tener la ventaja de ser fácilmente cultivables o identificables y económicamente factibles³. Estos indicadores a su vez cumplen con ciertas especificaciones, como lo son sobrevivir en el agua mas tiempo y ser más resistentes a factores externos, sin llegar a ser éstos patógenos, también deben ser fáciles, rápidos y económicos a la hora de su aislamiento para darle luego una cuantificación e identificación, importante también que en lo posibles presente criterios comunes internacionalmente.⁴

Las algas, debido a su alta capacidad de adsorción, su abundancia en mares, océanos y ríos y su fácil acceso, se convierten en uno de los materiales biosorbentes con más interés actualmente. El estudio de este material biológico y su enlace a la detección de metales pesados y otras sustancias tóxicas presentes en agua hace de las algas una herramienta efectiva y económica como bioindicador, siendo las algas marrones las más utilizadas en estudios en comparación con algunas otras dentro de las macroalgas⁵. Es aquí donde se propone como una opción de bioindicador dentro de las plantas de tratamiento de agua potable como un sistema de alarma en la detección de contaminación tóxica.

Pregunta problema

¿Cómo las algas pueden ser un sistema de alarma en la detección de contaminación tóxica en las plantas de tratamiento de agua de consumo humano?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Analizar los diferentes grupos de algas y su comportamiento respecto a la detección de contaminación tóxica en las plantas de tratamiento de agua de consumo humano.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar las fases del proceso de potabilización de aguas que puedan ser optimizadas para el uso de algas como indicador de contaminación tóxica en agua cruda.
- Comparar la morfología y propiedades de diferentes grupos de algas y su comportamiento en relación con la contaminación tóxica por medio de la recolección de información de tipo investigación práctica científica.
- Evaluar diferentes técnicas de determinación de contaminación tóxica en las plantas de tratamiento de agua potable mediante la indagación de fundamentos teóricos y bases legales.
- Establecer las algas más ideales como sistema de alarma para análisis de contaminación tóxica tras contrastar sus propiedades morfológicas y químicas.

3. Justificación

Las plantas de tratamiento son las encargadas de establecer un sistema de protección y control de la calidad de agua, previniendo y controlando todos aquellos riesgos para la salud humana que pueden ser causadas por el consumo de esta. Es necesario tener dentro del procedimiento puntos de control que garanticen la buena calidad de estas aguas que procederán a ser consumidas, como lo es explicado por el decreto 1575 de 2007, que plantea, “todo sistema de suministro de agua contará en la entrada a la planta de tratamiento y de ser posible en la captación, con un sistema de alarma que permita detectar desde un comienzo la posible contaminación tóxica en el agua y proceder a tomar las medidas pertinentes.” (Ministerio de Protección social, Ministerio de Ambiente, 2007). En estos sistemas de alarma se puede observar el uso de ciertos métodos con organismos de tipo bacteriano para el análisis y control de contaminación

Con esta recopilación bibliográfica se busca la manera de utilizar otro tipo de organismos para este mismo fin, un sistema de alarma natural que puede mediante métodos cuantitativos y/o cualitativos llegar a distinguir contaminación tóxica que se pueda presentar en la captación en la entrada a la planta de tratamiento, otorgando

así una mayor seguridad para la salud del consumidor. Algunas algas, en su morfología y estructura tienen la capacidad de absorción de metales o contaminantes comunes dentro de las aguas crudas que entran en tratamiento para luego pasar a ser potables, es por esto, que el uso de estas puede llegar a ser un método de análisis junto con procedimientos de laboratorio para su determinación.

El aporte de este trabajo tanto para la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca y para la ciencia es el uso de esta recopilación de datos, como complemento de aprendizaje y contribución con estudios futuros en relación con este tema de investigación. Como aporte para la academia, es la ampliación de conocimiento de algo que es muy cercano al día a día, como lo es la presencia del agua en cada una de las actividades diarias y como esta es segura para los seres humanos previniendo cualquier tipo de riesgo.

4. Marco teórico

4.1. Antecedentes del proyecto

En primer lugar, se encuentra el estudio comparado espacial y estacional de Altamar⁶, titulado determinación de bioacumulación de plomo, cobre y zinc en dos macroalgas y un pasto marino, en la región de Santa Marta (Colombia), publicado en 1996, en este se habla inicialmente de la contaminación por metales pesados en aguas de las costas de Santa Marta a lo que llega a mencionar la presencia de algas típicas de esta región, las cuales van a constituir un medio de respiración animal en el mundo acuático y también siendo encargadas de la descomposición para sintetizar nuevo material vivo, dando inicio a estudios donde se examina la alta presencia de contaminantes tóxicos como lo pueden ser los metales pesados y cómo las algas son afectadas, convirtiéndose en bioindicadores de este tipo de contaminación.

El análisis de este trabajo se centra en el capítulo de macroflora marina, en el que se mencionan las diferencias entre algas y las hierbas marinas, colocando como

punto de comparación su morfología, anatomía y estructura reproductiva. Las macroalgas utilizadas en esta investigación son *Acanthophora spicifera* y *Gracilaria mammillaris*, que son las especies más reportadas en la región de Santa Marta, el método utilizado para determinar la contaminación y presencia de metales pesados fue la técnica de espectrofotometría de absorción atómica dando resultados cuantitativos.

A continuación Lujan⁷, en el año 2000, producto de la investigación se redacta el artículo relacionado con las algas como un indicador de la calidad del agua, está aplicada en los distintos tramos de la cuenca del río Cuarto, Córdoba ciudad de Argentina; destacando el análisis de una variante biológica en sus características físico-químicas, microbiológicas e hidráulicas, adicional a esto también se presentan análisis bacteriológicos y químicos de las muestras, determinando así el estatus ecológico de cada especie de alga en estudio y otorgando información sobre la salud biológica del río. Destacable de este estudio es la mención de un tipo de microalgas llamadas diatomeas, que son encontradas en todos los ambientes y son sensibles a los cambios, por lo que, para el estudio de este grupo de algas como un bioindicador se requiere de técnicas especiales para su conservación y observación, obteniendo así su determinación y clasificación.

En este artículo, también se logra concluir que, dentro de los ecosistemas acuáticos, las algas, en particular las diatomeas son diversas y se encuentran relacionadas con la química del agua, la estacionalidad y la geología, por lo que se consideran unos valiosos indicadores de la calidad del agua, por su relación con su hábitat y así logran caracterizar ambientes acuáticos, ya sean presentes o pasados.

Posteriormente, en la Universidad del Valle, Cali, Colombia, el estudio de Ospina et al⁸ menciona una alternativa de monitoreo de calidad de aguas, refiriéndose a las algas como bioindicadores, enfatizando en cómo el uso de estos indicadores biológicos de contaminación ha ido incrementando en los últimos años. Se resalta en este el uso de dos especies de algas, un alga verde llamada *Ulva lactuca* y un alga roja llamada *Gracilaria blodgettii*, utilizadas para determinar la acumulación de Cadmio, Cromo, Selenio y Zinc en estas aguas, nombrando la utilización de bioensayos, que consisten en experimentos en los que el alga es sometida a

diferente concentración de cada metal y así evaluar su grado de respuesta, asimismo marcando la importancia de tener en cuenta los factores biológicos y físicos que afectan la acumulación de metales.

Calva et al⁹ en el artículo titulado, macroalgas y pasto marino, útiles bioindicadores de contaminación por hidrocarburos fósiles en sistemas acuáticos, ejemplifica la importancia de dos macroalgas en especial como bioindicadores de contaminantes ambientales, para lo cual se desarrolló un estudio de caso de la bioacumulación de hidrocarburos aromáticos en las especies *Bostrychia pinnata* y *Ulva intestinalis*.

Para el seguimiento de los ecosistemas es frecuente el uso de herramientas ecológicas para la evaluación del medio ambiente y sus factores, dentro de estas herramientas, las algas han sido reconocidas como buenos indicadores de calidad ambiental y es por esto que el estudio realizado en 2015 por Herrera-Paz et al¹⁰, llamado Comunidades de algas como bioindicadores de calidad ambiental en la costa rocosa del Mediterráneo (S. E. Península Ibérica) se hace una comparación entre algas de un área marina protegida y una no protegida, identificando hasta 13 especies de algas, destacando algas como *Cystoseira mediterránea* y *Ellisolandia elongata* como las que tuvieron mayor cobertura en el área protegida, mientras que *Ulva intestinalis* y *Caulerpa racemosa* fueron predominantes en la zona no protegida.

Más adelante, Huovinen et al¹¹ en el trabajo realizado, referencia el libro “Primavera silenciosa” de Rachel Carson escrito en 1962, donde se habla del impacto catastrófico del uso de pesticidas e impulsando así el desarrollo de la ecotoxicología como disciplina. Este trabajo se toma como antecedente para hablar de las microalgas en bioensayos de toxicidad en estudios de contaminación acuática, usando métodos de evaluación de eutroficación por nutrientes. Se menciona la implementación del “algal assay bottle test” el cual utiliza la microalga verde de agua dulce, anteriormente conocida como *Selenastrum capricornutum* en 1960 y ahora llamada *Raphidocelis subcapitata*, junto con este método también el bioensayo de toxicidad con microalgas más utilizado es la determinación de la inhibición de crecimiento bajo exposición de algún contaminante, es decir, la

exposición directa frente al contaminante en estudio y este como afecta la microalga; la técnica se lleva a cabo bajo iluminación continua, manteniendo el cultivo en constante agitación y aireación para equilibrio de CO₂.

Dentro de las algas existe una categoría llamada microalgas, a la cual llega a pertenecer el fitoplancton, el cual constituye un conjunto de microorganismos fotosintéticos que habitan dentro de las columnas de agua. Cabe resaltar que también puede incluir dentro de este grupo tanto algas como bacterias, como se menciona en el artículo de revisión de Sarmiento¹² donde se destaca en la sección de fitoplancton una alusión a diferentes especies dentro de este grupo de microorganismos y donde comienza una investigación respecto al uso de estas microalgas como indicadores biológicos en el departamento del Atlántico.

Años más tarde, en el proyecto de grado titulado, presencia de metales en algas asociadas al ecosistema de manglar en el sector de Pianguita (Bazán, Bocana) Bahía de Buenaventura, Valle del Cauca-Colombia, presentado en 2019, por Ruiz¹³, se plantea el uso de análisis termogravimétrico (TG) que se encuentra acoplado a un imán llamado termogravimetría magnética (TGM) para determinar presencia de metales en la especie de alga *Bostrychia calliptera*. Cabe destacar de este trabajo la mención en la discusión sobre la estructura de la pared celular de las algas donde se han identificado más de 60 elementos traza, minerales, proteínas, yoduro, bromuro, vitaminas y varias sustancias bioactivas, resaltando también la capacidad de las macroalgas para la absorción selectiva de macrominerales del agua de mar.

Estudios anteriores destacan la importancia ecológica de las algas, ya que son productores primarios de la cadena trófica, además también de ser plantas acumuladoras al ser altamente tolerantes, porque pueden ser un perfecto bioindicador del cambio climático y la contaminación presentada por metales pesados u otros elementos que pueden afectar el ambiente, esto es mencionado en el artículo recopilatorio titulado, Algas: bioindicador de contaminación y cambio climático, donde se cita a Saez¹⁴ en el conversatorio llamado, “Nuestro impacto y sus consecuencias sobre los ecosistemas marinos”.

Alave¹⁵ recuerda como las algas son organismos muy heterogéneos ya que comparten la clorofila A como característica común, esto se manifiesta en su biodiversidad morfológica, en la diferencia de colores y tamaños. Estos también son buenos indicadores de la contaminación del agua debido a su alta sensibilidad a los cambios que sufren. Específicamente se menciona un tipo de alga llamada Perifiton, estas tienen una alta capacidad de acumular grandes cantidades de contaminantes y nutrientes de algunas sustancias que pueden causar contaminaciones tóxicas, como insecticidas, herbicidas y fungicidas, metales pesados, materiales orgánicos y sustancias

En el trabajo realizado en la reserva El Santuario, complejo de paramos Guerrerros en Tausa, Cundinamarca, donde se hace la revisión sobre comunidades de algas conocidas como fitoplanctónicas y periféricas como indicadores de calidad de aguas, teniendo en cuenta características químicas, microbiológicas e índices de contaminación; su autora, Ortiz¹⁶ plantea las cualidades que pueden llegar a presentar las algas como un posible indicador de calidad de aguas, enfocándose en especies específicas correspondientes de cada grupo. Asimismo, resalta la manera en la cual estas comunidades se pueden emplear como indicadores de calidad de agua, esto es debido a que presentan un ciclo de vida corto y a su dinámica funcional alta, por lo tanto, las algas lograran mostrar de una manera más rápida las alteraciones que se encuentren en su ambiente teniendo una función de sensores más sensibles y confiables.

A nivel de Colombia y el trabajo de Montoya et al¹⁷, relacionado al conocimiento y estudios previos respecto al Perifiton, sus características, ventajas como determinante de contaminación en aguas y algunos basados en su distribución y análisis en diferentes sectores ambientales, dando como conclusión que el estudio en este país sobre estos organismos es muy limitado, ya que no se encuentran muchos investigadores, dirigidos a la exploración, descripción y publicación de este tema; además la información no se encuentra disponible para circulación científica dado que la mayoría de la información se encuentra dentro de corporaciones ambientales.

4.2. Bases teóricas

Las plantas de tratamiento de agua, son un sistema de tratamiento integrado que incluye varios procesos para la obtención de agua potable, por medio de procedimientos como los son: coagulación, mezcla rápida, floculación, sedimentación, clarificación, filtrado y desinfección¹⁸.

Un sistema de alerta de contaminación debe ser teóricamente capaz de detectar un amplio espectro de contaminantes en áreas significativas dentro del sistema de distribución, en este caso las plantas de tratamiento de aguas, proporcionando así una alerta temprana para mitigar sus impactos¹⁹.

Se puede definir a los bioindicadores como herramientas con las que se puede lograr una medición, ya que brindan información de calidad del ambiente y sobre todo de las condiciones en la que se encuentra un organismo o ecosistema. Estos bioindicadores se clasifican en indicadores de respuesta o indicadores de acumulación, a su vez los organismos utilizados para este fin pueden dividirse en indicadores de prueba o de monitoreo, van a brindar información acerca de las condiciones y factores del ecosistema, como pueden ser la humedad, pH o presencia de compuestos específicos²⁰. Teniendo en cuenta lo anterior, no solo los microorganismos similares a los patógenos pueden ser utilizados en la determinación de ciertos contaminantes que pueden ser causantes de que las aguas no puedan ser aptas para consumo humano. Las algas se han visto relacionadas para este tipo de análisis y han sido estudiadas desde hace muchos años en su función como bioindicador, tienen una capacidad de asimilar y acumular metales pesados que pueden ser encontrados en columnas de agua, ya que presentan una afinidad de estos hacia los polisacáridos que se encuentran cargados de forma negativa en la pared celular, aquí se realiza un intercambio iónico favorecido por la presencia de polisacáridos sulfatados²¹.

4.3. Bases legales

El decreto 1575 del 2007, del Ministerio de Ambiente y el Ministerio de Protección social, establece un sistema de protección y control de la calidad del agua para consumo humano, esto con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, con excepción del agua envasada. Este decreto aplica a todas las personas que son prestadoras, que suministren o distribuyan agua para consumo humano, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios²².

El Decreto 2115 de 2007, del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, se establecen características físicas, químicas y microbiológicas para establecer valores de referencia en control de calidad de agua para consumo humano. Es importante destacar que en relación con el decreto 1575 del 2007 del Ministerio de Ambiente y el Ministerio de Protección social, indica el índice de riesgo de calidad del agua para consumo humano (IRCA), al cual se le asignara un puntaje de riesgo contemplado en la tabla 2, de acuerdo con cada característica, ya sea física, química y microbiológica, por su no cumplimiento en los valores ya establecidos según la resolución.²³

5. Marco teórico:

5.1 Algas

Las algas agrupan una gran cantidad de organismos que suelen ser difíciles de clasificar. Las algas anteriormente eran clasificadas como vegetales fotosintéticos, encontrándose cerca de forma evolutiva a los hongos, pero según los avances científicos y profundizando en su bioquímica, genética, filogenia y fisiología, se concluye que se trata de un grupo heterogéneo con vías evolutivas diferentes. Aquí podemos contemplar diferentes tipos de algas o vías evolutivas, como las algas rojas o rodófitos, las algas pardas o feófitos y las algas verdes o clorofitos. Es así como las plantas pasan a estar clasificadas dentro del reino protista.

Las algas buscan hábitats que puedan cumplir con condiciones de iluminación y humedad suficiente, es así como podemos encontrarlas en ambientes de agua dulce o agua marina, en suelos húmedos y algunas que pueden llegar a resistir muy bajas temperaturas se pueden encontrar en la nieve o dentro del hielo.

Dentro de otra de sus clasificaciones podemos observar las algas de tipo unicelular mejor conocidas como microalgas y multicelulares o macroalgas, pero todas se alimentan a través de la superficie y también toman nutrientes del medio acuoso.

La estructura de las algas macroscópicas, dado que viven y se sustentan por el agua, no tienen tejidos verdaderos, es decir que no presentan raíces, tallos, hojas o flores, como las plantas que se ven en la tierra o que son llamadas plantas superiores, a diferencia de estas pueden presentar estructuras que se asemejan, algunas pueden desarrollar rizoides o hapterios que le ayudan a la fijación en el fondo, cauloides que se parecen a los tallos y filoides que son similares a las hojas²³.

La reproducción de las algas puede ser tanto sexual (gametos) como asexual (esporas).

La reproducción asexual, al igual que con la multiplicación vegetativa implica la creación de un nuevo individuo idéntico al original. Este tipo de reproducción implica una división mitótica pero que puede llegar a variar según la especie. La reproducción asexual para las algas unicelulares, suelen dividirse en dos y son capaces de producir esporas, llevando así a la germinación y producción de un nuevo ejemplar. Por otro lado, para las algas pluricelulares, se habla de un proceso de fragmentación, por el cual aparecen nuevas algas también idénticas al alga original.

En la reproducción de tipo sexual, a diferencia de la reproducción asexual este es un proceso en el que se origina un nuevo individuo completamente distinto, mediante tres fases de reproducción, inicialmente se presenta la plasmogamia o fusión de las células reproductivas o gametos, a continuación la cariogamia o fusión de los gametos para dar como resultado un cigoto y finalmente terminar con un proceso de meiosis o recombinación cromosomático que da como resultado nuevos gametos para la

siguiente reproducción.

Las algas además cuentan con una gran diversidad de ciclos vitales cuyas diferencias se encuentran sobre todo durante la meiosis, dependiendo también del tipo de células que se produzcan o bien si durante el ciclo hay uno o más estados de vida libre.

Se encuentran tres ciclos, el primero es el ciclo monogenético haplofásico, este se presenta durante la germinación del cigoto, el segundo es el ciclo monogenético diplofásico que se da como resultado dos gametos haploides y por último el ciclo digenético haplodiflofásico que consta de dos fases, una en la que el gametofito produce gametos durante la meiosis y la segunda fase comienza cuando el esporofito produce esporas durante la meiosis²⁴.

5.1.1 Macroalgas

Dentro del grupo de las algas encontramos a las macroalgas, las cuales se caracterizan por ser pluricelulares y le aportan ciertos beneficios a la hora de la purificación e identificación de sustancias que afecten a su entorno. Este tipo de algas no pertenece al reino vegetal debido a sus diferencias morfológicas, bioquímicas y fisiológicas con las plantas más complejas que se encuentran dentro de la naturaleza, sobre todo en la superficie terrestre, aun así existen similitudes evolutivas, fisiológicas y bioquímicas entre una especie del género *Chlorella* la cual es un alga unicelular planctónica marina y una *Sequoia* gigante, que una siendo una macroalga clorofita y la otra una Rodofita, viven en el mismo hábitat y a veces es difícil de distinguirlas morfológicamente.

Dentro del término “algas” encontramos a los grupos de vegetales con fotosíntesis oxigénica que además precisas de una elevada humedad o una inmersión permanente en agua, aquí se incluye a los tres grupos más grandes de macroalgas marinas, siendo una de estas las algas Feofitas que componen los bosques submarinos de hasta 50 metros de altura, también se incluyen las Rodofitas y Clorofitas.²⁵

Las macroalgas marinas son muy similares a las plantas terrestres por ser también organismos fotosintéticos, productores de oxígeno y biomasa de los cuales llegan a depender otros seres vivos de la cadena alimenticia presentes en el agua, como por

generar condiciones donde ellos habitan, tales como servir de sustrato o preparar el sustrato y micro condiciones con otros seres pueden adherirse o encontrar un refugio. Además de su importancia como alimento y los productos que se pueden obtener de ellas, forman una parte importante del paisaje acuático. El grupo de macroalgas está formado de una gran diversidad de especies que han sido distinguidas por su color como algas verdes, pardas y rojas²⁶

Además de lo anterior, los grupos de macroalgas a menudo responden a cambios en condiciones del ambiente, haciendo una nueva función como indicadores de otros procesos en desarrollo. La respuesta puede llegar a ser directa como, por ejemplo, el enriquecimiento de nutrientes por fugas en la agricultura, como también indirectas debido a la desaparición dramática de la cobertura de algas, esto como consecuencia de la sobrepesca o la pérdida de especies que son claves en este ecosistema.

5.1.1.1. División de macroalgas

- Chlorophyta o algas verdes, están representadas principalmente por algunas algas clasificadas como cosmopolitas, por ejemplo, *Enteromorpha spp.* El endemismo de estas ha crecido considerablemente a medida que se han encontrado especies que se extienden a lo largo de las costas de Perú, Ecuador y sus alrededores. Se distinguen también otros géneros que son comunes en otras costas como *Boodlea*, *Dictyosphaeria*, *Halimeda*, *Microdictyon*, *Neomeris*, *Siphonocladus*, *Udotea* y *Valonia*.
- Heterokontophyta o algas pardas, estas conforman un grupo de interés ecológico, tienen un alto nivel de endemismo, de las cuales se encuentran concentradas dos de las once familias, las *Dictyotaceae* y *Sargassaceae*. Estas algas al ser unas de las más grandes en el mundo se han demostrado que funcionan también como microhábitats y proveen indicadores químicos para el establecimiento de algunas larvas en peces e invertebrados, por lo que también podría esperarse que jueguen también un papel clave para los ecosistemas marinos.
- Rhodophyta o algas rojas, estas constituyen el grupo más diverso de macroalgas y están representadas por más de 250 taxones. Estas también presentan un alto valor de endemismo entre las especies, algunos géneros que son endémicos son

Phycodrina (*Delesseriaceae*), *Drouetia* (*Faucheaceae*), *Laurencia* (*Rhodomelaceae*), *Lithophyllum* (*Corallinaceae*) y *Prionitis* (*Halymeniaceae*). La familia más grande sobre todas las otras es *Corallinaceae*, esta es representada por casi 50 especies calcáreas y es una de las familias más difíciles de identificar²⁷

5.1.2 Microalgas

Las microalgas son conocidas como organismos de tipo unicelular perteneciente al grupo de los eucariotas y fotosintéticos, se caracterizan por la producción primaria dentro de la cadena trófica, siendo ésta la principal productora de materia orgánica. Estos organismos, como su nombre lo menciona, son muy pequeños, encontrándose entre 5 y 50 µm lo que los hace fácilmente digeribles y una fuente de alimento para muchos otros organismos.²⁸

Este tipo de algas se puede clasificar por sus características respecto a su obtención de energía y alimento. Entre ellas encontramos el grupo de las fotoautótrofas, las cuales obtienen su energía mediante luz solar y se alimentan mediante la materia inorgánica que se encuentra en sus alrededores. También encontramos las microalgas fotoheterótrofas que al igual que las anteriores obtienen su energía por la luz solar pero su alimentación se da gracias a compuestos orgánicos siendo esta su fuente de carbono, y por último las microalgas mixotróficas cuyos procesos pueden ser tanto fotoautótrofos como fotoheterótrofos. Algunas de las microalgas, más características de este último grupo son las *Spirulina platensis* y *Chlamydomonas reinhardtii*²⁹

Existen microalgas que dependiendo del tipo de hábitat en el que se encuentran, son más comunes que otras, pero presentan las características de alimentación y absorción de energía.

En agua fresca crecen algunas microalgas, dependiendo también de sus factores bióticos y abióticos con intercambios cíclicos que no se cierran completamente, pueden expandirse por diferentes hábitats naturales, desarrollando así formas variadas de acuerdo con su territorio y su adaptación a este, por ejemplo, algunas de ella se desarrollan en ecosistemas acuáticos con características fisicoquímicas particulares, como las *Coccomonas* sp. y *Hydrurus* sp., que habitan en aguas con alto contenido de calcio. En otro tipo de aguas que son más ricas en nutrientes predominan

microalgas como Volvocales, Chlorococcales y Euglenoficeas. Dentro de otro ecosistema, encontramos los lóuticos, que poseen la característica de estar en constante movimiento, por lo que se puede generar una oxigenación constante, además de que se puede renovar continuamente los nutrientes, en estos ecosistemas se puede tener la presencia de *Fragilaria* sp., *Amphora* sp, *Cocconeis* sp., *Spirogyra* sp., *Tribonema* sp., entre otras. Por último, en ríos y arroyos la flora fitoplanctónica es bastante diversa, aquí predomina algas clorofitas, diatomeas y rodofíceas como, *Ulothrix* sp., *Spirogyra* sp., *Achnanthes* sp., entre otras ³⁰

Dentro de este grupo encontramos las microalgas perifíticas que representan a una comunidad con una gran variabilidad espacial en cuanto a biomasa y composición, aunque no mantienen a lo largo del año un tamaño que sea considerable de su población, esto puede ser debido a una perturbación en el ecosistema que llega a modificar su estructura. Estas microalgas se encuentran en todos los ecosistemas acuáticos, aunque se logra destacar mayormente en quebradas y ríos, ya que al haber corrientes poblaciones como el plancton se encuentra más bajo.³¹

5.1.2.1 Perifiton

Es un conjunto de organismos que se encuentran adheridos a sustratos sólidos como pueden ser rocas o vegetación que se encuentran en los cuerpos de agua. En este grupo se pueden incluir bacterias, cianobacterias, algas, protozoarios y hongos que cumplen un rol importante en procesos de mineralización de materia orgánica que se encuentra disuelta, transforma estructuras inorgánicas en orgánicas y digiere compuestos como el nitrógeno y fósforo durante el ciclo de nutrientes³²

Una de las cualidades que presenta este grupo de organismos frente a análisis de comportamiento ambiental, es su rápida respuesta a los cambios ambientales por su ciclo de vida corto. Estos cambios alteran directamente la estructura de y causa un efecto en el interés socioeconómico del sistema acuático, ante todo por su papel como productor primario.

Por esta razón también llega a ser utilizado como un indicador en la detección de sustancias que llegan a ser contaminantes, para la saturación de oxígeno, mineralización, cambios climáticos, estructurales y sucesionales, igualmente puede llegar a adquirir una mayor resistencia a diferentes sustancias, como lo pueden ser,

fertilizantes, afectando y aumentando su desarrollo y abundancia viéndose directamente en la eutrofización de las aguas. Así mismo esta enlazado a condiciones ambientales, por lo que se esta viendo su uso como indicador biológico en ambientes acuáticos³³

5.2 Contaminantes tóxicos

Las industrias como la agricultura, la minería y la petrolera, son la mayor causa de contaminación debido a que arrojan desechos químicos en las fuentes de agua haciendo que esta no sea potable ni segura para su uso en alimentos o tareas cotidianas. Otras fuentes de contaminación del agua pueden llegar a ser sustancias tóxicas que ocurren de manera natural en la tierra, un ejemplo de esto puede ser el arsénico y los fluoruros. A medida que el agua subterránea se agota, los químicos tóxicos naturales salen a flote lo que hace que sea de mayor riesgo. Estas sustancias ya sea industriales o naturales, generalmente son difíciles de detectar y es aquí donde entran los laboratorios de análisis de aguas.

Con el crecimiento de la industria y la agricultura durante el último siglo, los productos de tipo químico se vuelven de uso diario para la vida cotidiana. Aunque no todos los productos químicos son tóxicos, muchos si causan un efecto sobre las personas y el medio ambiente. Los acueductos y ríos cercanos a zonas industriales y grandes explotaciones agrícolas son los más afectados y donde se llega a observar en mayor porción la contaminación, la producción de petróleo, los derrames químicos y los basureros son también fuentes de contaminación, y suele ser fácil de observar ya sea por la cantidad de desechos que se encuentran a simple vista o los olores que emanan de estos sitios.

No obstante, también existen contaminantes que no se pueden ver u oler de manera sencillas, algunos productos químicos llegan más allá del lugar donde se utilizan, se logran desplazar por medios como el aire, el agua, en los alimentos, hasta en los cuerpos de las personas, animales y peces³⁴

Los contaminantes comunes para las aguas son los compuestos inorgánicos y orgánicos, consecuencia del mal procesamiento de estos dentro de las industrias o de los sectores agrícolas, cabe resaltar que muchos de estos son importantes para la

supervivencia de algunas especies tanto de animales como de plantas, pero a su vez, un exceso es perjudicial para las mismas convirtiéndose así en contaminación.

5.2.1 Contaminantes inorgánicos

Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos en el agua que provienen de industrias, actividades domésticas o agrícolas, también aquellas que son producto de la erosión del suelo, los principales ejemplos de estos son los cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos, también todos aquellos desechos de tipos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno. Por su impacto ambiental son más relevantes aquellas especies solubles, dado que en esta forma las sustancias son más móviles y su alcance tóxico es mayor.

Entre los contaminantes inorgánicos se destacan:

- Iones nitrogenados: Se pueden encontrar como amonio, nitrato y nitrógeno orgánico, típicos de la contaminación agrícola. Los nitritos y el amonio son muy inestables y tienden a oxidarse.
La presencia de cantidades muy altas de estas sustancias en las aguas puede llegar a provocar en los lactantes efectos mortales como la cianosis por la formación de metahemoglobina y en adultos, nitrosaminas que pueden llegar a ser cancerígenas por la reacción de nitratos con aminas y aminoácidos.
- Iones cianuro: Su presencia en el agua puede indicar una contaminación de tipo industrial proveniente de galvanoplastias, altos hornos y coquerías. Su toxicidad es muy elevada.
- Iones sulfato: La contaminación que se da por este compuesto es mayormente gracias a la lluvia ácida, originando así una acidificación del medio acuático provocando graves alteraciones sobre la vida de este, también se puede tener una disminución en el pH, lo que puede llegar a ser devastador para algunas especies acuáticas y semiacuáticas.

- Metales pesados: Aunque muchos de los elementos metálicos son necesarios para el desarrollo de muchos organismos vivos, se debe tener en cuenta que estos en exceso pueden llegar a ser perjudiciales. Entre estos podemos encontrar el azufre, el cadmio, el cobre o el plomo, estos últimos formando complejos estables con los grupos amino y carboxílico, llegando a dificultar los procesos a través de las paredes celulares.³⁵

Un ejemplo claro es la contaminación de agua por plomo. La ley de Agua Potable Segura requiere que la EPA (agencia de protección ambiental) establezca el nivel de contaminantes que se encuentran en el agua potable y que no llegue a causar un efecto en la salud en un margen que sea adecuado de seguridad. Teniendo en cuenta lo anterior, la EPA, logro determinar que el nivel máximo de plomo presente en agua potable debe ser cero, ya que este pertenece al grupo de metales tóxicos que pueden llegar a afectar de forma importante la salud humana, inclusive si es una baja exposición; el plomo es persistente y se bioacumula en el cuerpo durante el tiempo.

Este tipo de contaminación afecta en mayor parte a los niños y bebés, ya que los efectos que causa tanto físicos como de comportamiento se producen en menores niveles de exposición en comparación con los adultos; la dosis que en un adulto puede no ser significativo, en un niño puede ser mortal. Se relacionan a los bajos niveles de exposición daños en el sistema nervioso central y periférico, problemas de aprendizaje, de crecimiento, discapacidad auditiva y hasta problemas de formación y función de los glóbulos. Se recomienda, según la CDC (Centro para el control y prevención de Enfermedades) tomar acciones en salud pública cuando el nivel de plomo en la sangre sea de 5 microgramos por decilitro ($\mu\text{g}/\text{dl}$) o mas³⁶

5.2.2 Contaminantes orgánicos

Los contaminantes orgánicos son un amplio grupo de compuestos químicos que tienen en común que en su composición interviene el carbono.

Estos contaminantes también son compuestos que se encuentran disueltos en el agua

y que provienen de desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo, son desechos humanos y animales, ya sean de restos animales, procesamiento de alimentos, diversos productos químicos industriales de origen natural como todo lo que son aceites, grasa, breas y tinturas, y otros productos químicos sintéticos como las pinturas, herbicidas e insecticidas.

Es importante destacar dentro de estos contaminantes a los plaguicidas, ya que se tratan de agentes que combaten los organismos que atacan a los alimentos y a otros materiales que llegan a ser necesarios para el ser humano, dándole un uso fitosanitario, ganadero, doméstico, ambiental y en la industria alimentaria. Muchos de estos tienen un origen sintético por lo que son difícilmente degradables por los microorganismos y además presenta una amplia toxicidad en los organismos.³⁷

5.3 Métodos de análisis de contaminación

Algunos de los métodos de análisis de contaminación y determinación de sustancias tóxicas en algunas muestras como lo pueden ser las algas son:

- Espectrometría de absorción atómica, es una de las técnicas más usadas sobre todo en la determinación de metales. Esta técnica es ampliamente usada para la industria alimenticia, farmacéutica y ambiental, presenta algo muy particular y es que permite la tamización de la muestra por medio de tres procesos, la espectrometría de absorción por flama, por atomización electrotérmica y por generación de vapores químicos o hidruros. Dentro de estas tres la más utilizada es la técnica por llama, pero esta presenta una baja sensibilidad respecto a las otras dos, por otro lado, la técnica electrotérmica presenta una mayor sensibilidad, pero requiere de una eficiente optimización de la temperatura además de una elección de modificadores químicos adecuados para esta reacción. Por último, la técnica de vapores posee una gran sensibilidad, trabaja por medio de hidruros los cuales son atomizados para su medición, esta técnica se ve restringida para algunos metales que se consideran más difíciles de trabajar.
- Espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo, como tal esta técnica espectral es un método conjunto, esto quiere decir que suele ir de la mano con otros métodos como lo son la espectrometría de masas, la espectroscopia de emisión óptica, entre otros, además esta técnica que consume en exceso el gas

que forma el plasma que generalmente es argón.

- Técnicas fotométricas, esta es una técnica más simple para la determinación de metales pesados en muestras, donde por lo general la prueba consiste en hacer reaccionar los metales en el medio con un agente fotométrico como la ditizona para luego someter el complejo que está formado a un análisis con un fotómetro el cual está a una determinada longitud de onda.

Técnicas electroquímicas, este método consiste en la combinación del método para el pre- enriquecimiento selectivo junto con un método espectroscópico para lograr un análisis cuantitativo y cualitativo de los contaminantes. Este método hasta el momento ha sido uno de los más usados en conjunto con técnicas como absorción atómica, espectrometría, fluorescencia de rayos x, entre otras³⁸

5.4 Procesos de tratamiento de agua para consumo humano

5.4.1 Pretratamiento

En este primer paso se busca la eliminación de sólidos que sean de gran tamaño, mediante el uso de rejillas que realicen la función de filtrado. Luego de este y con la ayuda de un desarenador se separa la arena del agua para evitar que esta pueda llegar a afectar las bombas de la planta de tratamientos de agua. Es importante también en esta etapa una pre-desinfección para destruir algunas sustancias orgánicas. En este paso se evalúa la posibilidad de los análisis pretratamiento para así valorar el nivel de contaminación con el que el agua llega y buscar de manera eficaz su correcto proceso de tratamiento.

5.4.2 Coagulación- floculación

La coagulación se basa en la adición de coagulante que se encargaran de la desestabilización de las partículas coloidales para que puedan ser removidas con mayor facilidad. Este proceso es muy rápido y depende de la concentración de anticoagulante y el pH que se obtenga al final de la mezcla.

La floculación es el proceso mediante el cual las partículas que se encuentran

desestabilizadas chocan entre si aglomerándose. En este proceso se realiza adicionalmente la remoción de turbiedad y color, además de eso se hace una eliminación de bacterias, virus, organismos patógenos que se sean capaz de ser separado en el proceso de coagulación, aquí también se logran eliminar algas y sustancias que pueden producir sabor y olor.

5.4.3 Sedimentación

Es el proceso en el cual las partículas en suspensión que se encuentran en el agua pueden ser removidas debido al efecto de la gravedad; estas partículas son mucho mas densas que el agua y como resultado de este proceso se obtiene un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. Adicionalmente se puede filtrar para conseguir la remoción completa de las partículas.

5.4.4 Filtración

Este proceso consiste en la separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias, virus) a través de un medio poroso. Es la etapa encargada de cumplir con las normas de calidad del agua potable. Desde un punto de vista bacteriológico, los filtros tienen una eficiencia de separación superior al 99%. El tamaño de las partículas, más o menos retenidas en los gránulos del lecho filtrante, varía desde escamas de 1 mm hasta coloides, bacterias y virus de menos de 10⁻³ mm. Si la floculación tiene un volumen superior al de los poros del lecho filtrante, se retendrá en los intersticios del lecho por tamizado; Sin embargo, en el caso de las bacterias, cuyo tamaño es mucho menor que el de los poros, son eliminadas por una serie de fenómenos.

5.4.5 Desinfección del agua

Consiste en la destrucción selectiva de organismos que pueden ser potencialmente infecciosos, por lo que es importante los procesos anteriores a este y lograr una buena eliminación.

La efectividad de este proceso se mide en el porcentaje de organismos muertos

teniendo en cuenta el tiempo, la temperatura y el pH, la resistencia de los microorganismos caria, si las bacterias presentan esporas puede llegar a ser mucho más resistentes, luego de esto la resistencia a los quistes protozoarios, virus entéricos y los coliformes.

5.4.6 Análisis

Una vez que se finaliza el proceso, se realizan diferentes análisis del agua para poder asegurar de que el tratamiento fue completamente exitoso. El agua de consumo humano debe cumplir con características, debe ser incolora, inodora e insípida y cumplir con la reglamentación⁴².

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN ⁻	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Tabla 1. Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana²³

Característica	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1.5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al ³⁺)	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes Totales	15
Escherichia Coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

Tabla 2. Puntaje de riesgo según el Decreto 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial²³

6. Diseño metodológico

6.1 Método de investigación.

Según lo descrito por Artiles et al. En el libro, Metodología de la investigación para las ciencias de la salud, se puede establecer que el método de investigación en este estudio pertenece a la categoría de investigación descriptiva, la cual de un modo sistemático propone la descripción de características de la población, situación o área de interés³⁹.

6.2 Enfoque de la investigación.

La investigación se basa en la detección, obtención y consulta de la literatura pertinente para el problema de investigación, extracción y recopilación de la

información de interés y construcción de un marco teórico completo, de acuerdo con el conocido libro de Hernandez Sampieri⁴⁰, sobre metodología de la información.

6.3 Métodos y procedimientos de la investigación.

En su descripción general para poder diseñar la metodología para un estudio de alcance, los autores Arksey y O'Malley⁴¹ apuntan a unos pasos procedimentales que se tuvieron en cuenta como la identificación de la pregunta de investigación, identificar los estudios más relevantes, la selección de los estudios de inclusión y exclusión y por último la recopilación, resumen e informe de los resultados obtenidos.

Para la recolección de los estudios, se tuvo en cuenta la búsqueda de trabajos de investigación y revisiones literarias en cualquier idioma que aborden directamente el tema de las algas como un potencial sistema de alerta en la captación de contaminación tóxica en la entrada a las plantas de tratamiento de agua potable. El informe de los datos se realizó en forma de matriz donde el tamaño de la muestra es de 50 a 60 referencias, clasificadas por temas centrales como lo son:

- Algas
- Clasificación de algas
- Uso de algas como sistema de alerta
- Plantas de tratamiento de agua potable

7. Resultados y discusión

7.1 Implementación de algas en el proceso de potabilización de aguas

Basado en los estudios revisados sobre algas como indicadores de contaminación, es posible adicionar estos organismos en fases como la sedimentación, adicionándole un tratamiento biológico, donde se pueda analizar el nivel de contaminación toxica presente en el agua antes de un proceso completo de tratamiento. En las fases anteriores a esta donde se hace adición e incorporación de oxígeno, puede contribuir al crecimiento y conservar su viabilidad mientras absorben y procesan los

contaminantes presentes o no en el agua cruda que se está analizando.

Adicional a lo anterior, una de las fases más importantes a las que la implementación de algas puede ser favorable es la etapa de análisis. En esta etapa se busca evaluar el proceso post tratamiento, además como algo complementario un proceso de biorremediación en el que entran las algas y su característica de absorción, para no retirar los contaminantes por completo, pero si de una manera parcial utilizándolo como una fuente de nutrientes para ellas mismas.

7.2 Algas perifíticas como la más ideal para análisis de contaminación

Dentro de las investigaciones relacionadas a las algas como un indicador de contaminación que pueda llegar a relacionarse con el uso de estas dentro de las plantas de tratamiento de agua potable como un sistema de alerta temprana y la evaluación del estado del agua en el ingreso a la planta de tratamiento, se puede destacar que a pesar de que el grupo de organismos utilizados para tareas similares son las macrófitas o macroalgas, ya que presentan una gran capacidad de absorción para su posterior análisis. En comparación y teniendo en cuenta sus cualidades, facilidades de obtención y respuesta a factores ambientales, se considera algunas microalgas destacando las algas perifíticas como una mejor herramienta en el control de ciertas sustancias toxicas que pueden estar presentes en el agua que será luego procesada en la planta de tratamiento. De igual manera no se descarta la posibilidad del uso de ambos grupos para el análisis de contaminación.

Grupo	¿Qué puede indicar?
BACTERIOPLANCTON	La abundancia de bacterioplancton puede indicar contaminación por efluentes industriales y urbanos.
FITOPLANCTON	Las floraciones de fitoplancton indican una alta concentración de nutrientes que puede deberse a contaminación con sustancias orgánicas e inorgánicas efluentes industriales y urbanos y fertilización de cultivos
PERIFITON	El crecimiento del perifiton puede indicar incremento de los nutrientes disponibles como consecuencia de contaminación industrial. Algunas especies, en base a

	la acumulación de metales en sus tejidos, indican contaminación por metales pesados.
MACRÓFITAS	La pérdida de macrófitas puede indicar aumento de la turbidez del agua y algunas especies indican contaminación por metales pesados por acumulación de metales en sus tejidos.

Tabla 3. Grupos biológicos utilizados como indicadores de calidad de aguas ⁴³

El perifiton se caracteriza por su alta sensibilidad a bajas concentraciones de algunas sustancias tóxicas (herbicidas, insecticidas y sustancias radiactivas), así como por la facilidad para obtener sus muestras y el relativo bajo impacto en el ecosistema. Del mismo modo, muchos organismos perifitones tienen ciclos de vida cortos que, junto con su estilo de vida sedentario que se encuentra relacionado con el sustrato, los preparan para responder a los cambios ambientales⁴⁴. Además, la alta biodiversidad que lo compone permite una gama más amplia de respuestas al cambio ambiental. Estas cualidades lo convierten en una importante herramienta de seguimiento y detección.

La biomasa de perifiton generalmente está influenciada por actividades antropogénicas. Un aumento en los nutrientes disponibles de la contaminación agrícola, animal e industrial fomenta el desarrollo de perifiton. En otro sentido, medidas que produzcan una reducción de la transparencia del agua al reducir la intensidad de la luz que llega al sustrato pueden afectar a su desarrollo.

Al igual que algunos tipos de macrófitos, el perifiton tiene la capacidad de acumular altas concentraciones de metales pesados como el mercurio⁴⁵. El estudio de los niveles de metales pesados enriquecidos con perifiton es útil para detectar la contaminación industrial de las aguas.

El monitoreo de comunidades y especies de macrófitas, es utilizado sobre todo en la identificación o en la evaluación de la densidad de algunas de estas para hallar diferencias en la calidad de ecosistemas en torno a la contaminación que puede estar presente⁴⁶. Ciertas macroalgas son tolerantes a la acumulación de metales pesados en sus tejidos, como es el caso de, cadmio, mercurio y plomo u otras sustancias que pueden tornarse tóxicas como los pesticidas⁴⁷ que pueden llegar a ser consecuencias

de efluentes industriales y sistemas agroindustriales.

8. Conclusión

Es importante evaluar las diferentes fases de tratamiento de agua potable, tener en cuenta los puntos de implementación de algas como indicador de contaminación para tener un análisis pre y post tratamiento, para conseguir un mejor resultado en el proceso y hacer de este mas seguro.

El uso de las algas como un indicador en la fase después de la sedimentación, nos otorga una primera vista de la calidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento y con ello se le puede realizar un proceso más específico teniendo en cuenta los resultados. Por otro lado, en la fase de análisis, el uso de igual manera de las algas nos determina que tan eficiente fue el proceso completo de tratamiento y si el agua resultante de este es apta para consumo humano y no presenta valores de riesgo en cuanto a sustancias toxicas, esto sumado a los ya indicadores presentes dentro de las plantas de tratamiento de agua potable para determinación de otros agentes que se puedan encontrar en este producto.

Las algas en la actualidad han mostrado un papel importante en el análisis de contaminación por sustancias toxicas derivadas de la industria, su alta capacidad de bioadsorción, el cual es un proceso que logra captar iones metálicos, gracias a la propiedad que diferentes biomasas tanto vivas como muertas tienen para luego así enlazarlas y acumular diferentes contaminantes mediante diversos mecanismos. Además de aplicar materiales de bajo costo provenientes de las algas ha sido analizada para en un futuro remplazar los métodos convencionales de remoción de contaminantes como los metales pesados, entre ellos, el cromo, níquel, cadmio, plomo y mercurio, que tienen una alta toxicidad y son difíciles de eliminar.⁴⁸

También se destaca que factores como el pH, la temperatura y las concentraciones que se encuentran de los contaminantes pueden influir en el proceso; es por esto que

las algas perifíticas al mostrar variabilidad en estos factores de una manera más rápida, ya que presenta una corta vida, puede ser un buen indicador de contaminación, puesto que es sensible a ciertos cambios y responde con mayor rapidez a un gran rango de tensesores.⁴⁹ Estas condiciones tan específicas permite que se haga uso como indicador de alteración de aguas.⁵⁰

Referencias bibliográficas

1. Reyes YC, Vergara I, Torres OE, Díaz-Lagos M, González EE. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo [Internet] 2016 [Citado 27 oct 2021]; 16 (2), pp. 66-77. Disponible en: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5447
2. González CA, Vallarino A, Perez JC, Low AM. Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental. INECC. 2014. Volumen (1): 24-25
3. Vásquez G, Castro G, González I, Pérez R, Castro T. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. ContactoS [Revista en Internet] 2006 [Acceso 27 de agosto de 2015]; (60): 41–8. Disponible en: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n60ne/Bio-agua.pdf>
4. Ríos-Tobón S, Agudelo-Cadavid RM, Gutiérrez-Builes LA. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Rev. Fac. Nac. Salud Pública, 2017; 35(2): 236-247. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf>
5. Plaza J. Remoción de metales pesados empleando algas marinas. UNLP [Internet] 2012 [Citado 27 oct 2021]; 18-19 Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2770/Documento_completo_.pdf?sequence=17

6. Altamar JE, Gaitán SI. Determinación de bioacumulación de plomo, cobre y zinc en dos macroalgas y un pasto marino, en la región de Santa Marta (Colombia), UNIMAGDALENA [Internet] 1996 [Citado 26 sep 2021]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/270125984.pdf>

7. Luján A. Las algas, indicadores de la calidad del agua, Interciencia, UNRC [Internet] 2000 [Citado 26 sep 2021];4(4). Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/agua_cono_sur_de_america/20-algas.pdf

8. Ospina A., Peña EJ. Alternativas de monitoreo de calidad de aguas: Algas como bioindicadores, Acta NOVA [Internet] 2004 [Citado 26 sep 2021];2(4). Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/287301071.pdf>

9. Calva LG., Torres R. Macroalgas y pasto marino, útiles bioindicadores de contaminación por hidrocarburos fósiles en sistemas acuáticos, ContactoS [Internet] 2008 [Citado 29 sep 2021]; 68: 38-46. Disponible en: <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n68ne/algas.pdf>

10. Herrera-Paz DL., Nuez D., Valero-Rodríguez JM. Comunidades de algas como bioindicadores de calidad ambiental en la costa rocosa del mediterráneo (S. E, Península Ibérica), Rev. de cs. [Internet] 2017 [Citado 30 sep 2021]; 19(1):25-40. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcien/v19n1/v19n1a02.pdf>

11. Huovinen P., Gómez I. Algas en ecotoxicología: Hacia el desarrollo de microbioensayos, IDEAL [Internet] 2017 [Citado 26 sep 2021]. Disponible en: <https://www.centroideal.cl/wp-content/uploads/2017/11/Rev-VD27-IDEAL.pdf>

12. Sarmiento ML. Microalgas como indicadores biológicos del estado trófico de las ciénagas de Malambo y Santo Tomas, en el departamento del Atlántico, UTADEO [Internet] 2017 [Citado 29 sep 2021]. Disponible en: https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/3137/D_OCUMENTO%20TESIS.pdf?isAllowed=y&sequence=1
13. Ruiz LS. Presencia de metales en algas asociadas al ecosistema de manglar en el sector de Pianüita (Bazán, Bocana) Bahía de Buenaventura, Valle del Cauca- Colombia, UAO [Internet] 2019 [Citado 28 sep 2021]. Disponible en: https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11292/T08661.pdf;jsessionid=29D_A7808D217761A9A9F5984261A6A47?sequence=5
14. Universidad de Playa Ancha. Algas: bioindicadores de contaminación y cambio climático, UPLA [Internet] 2020 [Citado 29 sep 2021]. Disponible en: <https://www.upla.cl/noticias/2020/05/12/algas-bioindicadoras-de-contaminacion-y-cambio-climatico/>
15. Alave HB. Evaluación del perifiton como indicador de calidad de agua en el embalse Cerro Blanco de la empresa prestadora de servicios de Tacna. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. [Internet]2018[Citado 10 sept 2022] Disponible en: <http://redi.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3580>
16. Ortiz LD. Comunidad fitoplanctónica, perifítica y parámetros fisicoquímicos como indicadores de la calidad del agua de la reserva el santuario Tausa, Cundinamarca, Colombia. Universidad El Bosque. [Internet] 2017 [Citado 18 sept 2022] Disponible en: <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/6066>
17. Montoya Y, Aguirre N. Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. Gestion y Ambiente. [Internet] 2013 [Citado 16 sept 2022] (16)3: 91-117. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169429726007.pdf>

18. Ingelink. Plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) [Internet] 2021 [Citado 28 oct 2021]. Disponible en: <https://ingelink.net/planta-de-tratamiento-de-agua-potable/>
19. Peñalver PL. Protejamos nuestras redes (II): sistema de alerta y medición en de contaminación. iAgua Magazine [Internet] 2018 [Citado 28 oct 2021]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/pedro-luis-penalver-martinez/protejamos-nuestras-redes-ii-sistema-alerta-y-medicion-linea>
20. García JM., Sarmiento LF., Rodriguez MS., Porras LS. Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña, Revisión corta. UGCiencia [Internet] 2017 [Citado 29 sep 2021]; 23, 47-62. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwimqYHCqafzAhVPSTABHdcbBoIQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fistas.ugca.edu.co%2Findex.php%2Fugciencia%2Farticle%2Fdownload%2F659%2F1174%2F&usg=AOvVaw3GRQ2Gy7Md-z45GBoxQTnY>
21. Robledo D. Las algas marinas como bioindicadores de calidad ambiental y su uso en estudios ecotoxicológicos, libro bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental [Internet] 2014 [Citado 30 sep 2021]; 1(26): 543-552. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/273775057_Las_algas_marinas_como_bioindicadores_de_calidad_ambiental_y_su_uso_en_estudios_ecotoxicologicos
22. Ministerio de Ambiente. Decreto 1575, 9 de mayo 2007, Minambiente

[Internet] 2007 [Citado 26 sep 2021]. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Di_sponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf

23. Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 2115, 22 de junio 2007, Minvivienda [Internet] 2007 [Citado 24 sep 2022]. Disponible en: <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>

24. Consejo superior de investigaciones científicas. El mar a fondo, las algas. [Internet] [Citado 20 abr 2022] Disponible en: https://elmarafons.icm.csic.es/wp-content/uploads/2018/04/guía-didáctica-algas_red.pdf

25. Acosta MB. Reproducción de las algas, Técnica en jardinería y recursos naturales y paisajísticos. Ecología verde. [Internet] 2021 [Citado 24 abr 2022] Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/reproduccion-de-las-algas-3437.html#:~:text=Reproducción%20asexual%20de%20las%20algas,-Al%20igual%20que&text=Esta%20reproducción%20asexual%20en%20las,y%20produzcan%20un%20nuevo%20ejemplar.>

26. García G, Martel A. Usos y aplicaciones de macroalgas, microalgas y cianobacterias en agricultura ecológica. Instituto de algología aplicada, universidad de Las palmas de Gran Canaria [Internet] [Citado 20 abr 2022] Disponibles en: <https://fci.uib.es/Servicios/libros/conferencias/seae/Usos-y-aplicaciones-de-macroalgas-microalgas-y.cid221515>

27. Silva C. Capítulo 1: Algas verdes, Capitulo 2: Algas pardas, Capitulo 3: Algas rojas Géneros de algas marinas tropicales de México. Las prensas de ciencia [Internet] 2007 [Citado 20 abr 2022]; 1(1). Disponible en: https://fcoherb.fciencias.unam.mx/publicacionesparaportal/Publicaciones/Algas_verdes.pdf

- 28.** Garske L. Macroalgas marinas. Estación científica Charles Darwin [Internet] 2015 [Citado 20 abr 2022] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/265522793_MACROALGAS_MARI_NAS
- 29.** Candela O. Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica. Universidad Nacional [Internet] 2016 [Citado 11 abr 2022] Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/12170/91541023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 30.** Ruiz A. Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente. Tesis de grado. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia [Internet] 2011 [Citado 11 abr 2022] Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12831/Ruiz%20Martinez%20Ana%20-%20Tesina%20Fin%20Master%20-%202011.pdf?sequence=1>.
- 31.** Gómez L. Microalgas: aspectos biológicos y biotecnológicos. Revista Cubana de Química [Internet] 2007 [Citado 11 abr 2022]; 19 (2). Disponible en: http://www.researchgate.net/publication/268424391_MICROALGAS_ASPECTOS_ECOLGICOS_Y_BIOTECNOLGICOS.
- 32.** Sampieri RH, et al. Metodología de la investigación. McGRAW-HILL. 2014; Volumen (6)
- 33.** Wetzel, RG. Limnology. Lake and River Ecosystems. 3ra edición. Academic Press. [Libro] 2001 [Citado 18 sept 2022] 1006 pp.
- 34.** Oliveros AM. El perifiton como bioindicador de calidad de agua, una

herramienta y estrategia en la gestión ambiental del caño Quenane. Universidad de Los Llanos- [Internet] 2016 [Citado 15 sept 2022] Disponible en:

<https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/1203/RUNILLANOS%20M-GES%200046%20EL%20FITOPERIFITON%20COMO%20BIOINDICADOR%20DE%20CALIDAD%20DE%20AGUA%20C%20UNA%20HERRAMIENTA%20Y%20ESTRATEGIA%20EN%20LA%20GESTION%20DEL%20CAÑO%20QUENANE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

35. Conant J, Fadem P. Capítulo 5: Problemas de salud por el consumo de agua no potable y capítulo 16: Contaminación tóxica del agua. Guía comunitaria para la salud ambiental. Berkeley: Hesperian; 2011. Disponible en: https://es.hesperian.org/hhq/A_Community_Guide_to_Environmental_Health:Contaminación_tóxica_del_agua

36. Sanchón MV. Contaminación del agua. Salud pública y AP de salud. [Internet] 2017 [Citado 24 abr 2022] Disponible en: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/965/course/section/1090/Contaminacion%2520del%2520agua.pdf>

37. Vera, MS. Impacto del glifosato y algunos de sus formulados comerciales sobre el perifiton de agua dulce. Acta Toxicol Argent. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires, Argentina [Internet] 2011 [Citado 16 sept 2022]; 19(2): 87-88. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262653339_Impacto_del_glifosato_y_algunos_de_sus_formulados_comerciales_sobre_el_perifiton_de_agua_du
lce

38. Pabón SE, Benítez R, et al. Contaminación del agua por metales pesados,

métodos de análisis y tecnologías de remoción, revisión bibliográfica. Scielo. [Internet] 2021 [Citado 24 abr 2022]: 4(27). Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009

39. Levac D, Colquhoun H, O'Brien K. Scoping studies: advancing the methodology. Implementation Science [Internet] 2010 [Citado 27 oct 2021] Disponible en: <https://implementationscience.biomedcentral.com/articles/10.1186/1748-5908-5-69>

40. Chulluncuy NC. Tratamiento de agua para consumo humano. Ingeniería Industrial [Internet] 2011 [Citado 18 sept 2022]; 29:153-170. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428495008.pdf>

41. Achá, D. Bioacumulación de mercurio y metilmercurio en biofilms de algas, en dos zonas con distinto estado trófico del lago Titicaca. Coloquio internacional sobre la contaminación actual e histórica en los ecosistemas acuáticos Andinos. Universidad Mayor de San Andrés [Internet] 2016 [Citado 17 sept 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/304584115_International_colloquium_on_current_and_ancient_contamination_in_Andes_aquatic_ecosystems_Coloquio_internacional_sobre_la_contaminacion_actual_y_historica_en_los_ecosistemas_acuaticos_Andinos_Colloque

42. Gil M, Soto A, et al. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y

posibles tratamientos. Producción + limpia [Internet] 2012 [Citado 20 abr 2022]; 7(2): 52-73. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>

43. Paris, C, Hadad, H, et al. Eficiencia de dos macrofitas flotantes libres en la absorción de metales pesados. *Limnetica* [Internet] 2005 [Citado 16 sept 2022]; 24(3-4): 237-244. Disponible en: <http://www.limnetica.net/documentos/limnetica/limnetica-24-2-p-237.pdf>
44. Artiles L, Otero J, Barrios I. Metodología de la investigación para ciencias de la salud. La Habana: Ciencias Médicas. 2008; Volumen (14): 67
45. Pérez, DJ, Okada, E, Menone, ML, Costa, JL. Can an aquatic macrophyte bioaccumulate glyphosate? Development of a new method of glyphosate extraction in *Ludwigia peploides* and watershed scale validation. *Chemosphere* [Internet] 2017 [Citado 17 sept 2022] 185: 975-982. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517311451>
46. Arcos MP, Avila SL, Estupiñan SM, Gomez AC. *Rev Nova* [Revista en Internet] 2005 [Citado en 16 sept 2022]; (3): 1-116.
47. Aguas Urbanas. Monitoreo biológico de calidad de agua. [Internet] 2018 [Citado 17 sept 2022] Disponible en: <http://www.aguasurbanas.ei.udelar.edu.uy/index.php/2018/11/14/monitoreo-biologico-de-calidad-de-agua/>
48. EPA. Información básica sobre el plomo en el agua potable. [Internet] 2022 [Citado 18 sept 2022] Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-plomo-en-el-agua-potable>
49. Tejada-Tovar C, Villabona-Ortiz A, Garces-Jaraba L. Adsorción de metales

pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnología* [Internet] 2015 [Citado 16 sept 2022]; (18)34. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010

50. Andreu E, Camacho A. Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar. Madrid- España:Ministerio del Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Secretaria General del Medio Ambiente [Libro] 2003 [Citado 16 sept 2022] 226

51. Naundorf, G. Las comunidades microbianas, fitoplanctónicas y perifíticas en ecosistemas acuáticos. Universidad del Cauca. Material del Curso Biota Acuática I. Popayán, Colombia [Internet] 2002 [Citado 16 sept 2022].