

Propuesta de una carta control para algas que afectan las características organolépticas en una fuente de captación

Dalton Guarnizo-Crespo¹; Steve Guarnizo-Crespo²

(Recibido: agosto 05, Aceptado: octubre 28, 2022)

<https://doi.org/10.29076/issn.2602-8360vol6iss11.2023pp30-41p>

Resumen

Los problemas de la calidad del agua y el taponamiento de filtros del proceso de potabilización, es atribuido al crecimiento de microorganismos nocivos de cierto grupo de algas. En septiembre del 2010 en la ciudad de Guayaquil el incremento de la biomasa de las algas pertenecientes a los géneros *Pseudoanabaena*, *Cylindrospermopsis* y *Anabaena*, ocasionó un deterioro en la estética del agua de consumo humano al percibir un olor y sabor a tierra. El presente trabajo identificó 6 grupos más importantes de algas a nivel de clase con 12 familias, 20 géneros y 88 especies hasta el año 2013 distribuidas en la zona de captación frente a la estación de bombeo punto "La Toma" y aguas arriba frente al malecón de Nobol, punto "Nobol". Se evidenció que existe un marcado dominio de clases con relación a la estación del año en el periodo de estudio; la clase *Cyanophyceae* predominó en la época invernal, en dos de los tres años, esta produce alteración en las características organolépticas del agua y por consiguiente una afectación a la estética del agua potable. La clase *Coscinodicyphyceae* predominó en la época de verano con una amplia dominancia que tiene la particularidad de ocasionar taponamiento en las etapas del tratamiento del agua.

Palabras Clave: algas; *anabaena*; *cianophytas*; *fitoplancton*; organolépticas.

Proposal of a control letter for algae that affect the organoleptic characteristics in a catchment source

Abstract

The problems of water quality and the clogging of filters in the purification process are attributed to the growth of harmful microorganisms from a certain group of algae. In September 2010 in the city of Guayaquil, the increase in the biomass of algae belonging to the genera *Pseudoanabaena*, *Cylindrospermopsis* and *Anabaena*, caused a deterioration in the aesthetics of water for human consumption by perceiving an earthy smell and taste. The present work identified 6 most important groups of algae at the class level with 12 families, 20 genera and 88 species up to the year 2013 distributed in the catchment area in front of the "La Toma" point pumping station and upstream in front of the boardwalk. of Nobol, point "Nobol". It was evidenced that there is a marked dominance of classes in relation to the season of the year in the study period and they are; the *Cyanophyceae* class that prevailed in the winter season, in two of the three years, this produces alteration in the organoleptic characteristics of the water and therefore an affectation to the aesthetics of drinking water. The *Coscinodicyphyceae* class, that prevailed in the summer season with a wide dominance that has the particularity of causing clogging in the stages of water treatment.

Keywords: algae; *anabaena*; *cyanophyta*; phytoplankton; organoleptics.

¹Universidad Estatal de Milagro, Ecuador. Email: dguarnizoc@unemi.edu.ec. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8086-7645>

²Universidad Estatal de Guayaquil, Ecuador. Email: steve.guarnizoc@ug.edu.ec. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5212-7116>

INTRODUCCIÓN

El agua es el líquido más abundante de los elementos de nuestro planeta y de vital importancia para la vida humana. Está compuesto de varios elementos químicos y biológicos, dentro de los cuales destaca el Fitoplancton: grupo de microorganismos Fotoautotróficos que poseen estadios vegetativos en sus ciclos de vida, se desarrollan en la zona pelágica del mar, lagos, lagunas y ríos (1).

El Fitoplancton es un grupo de microorganismos fotoautotróficos que poseen estadios vegetativos en sus ciclos de vida y se desarrollan en la zona pelágica del mar, lagos, lagunas y ríos (1) Estas poblaciones de algas cumplen un importante papel en todos los ecosistemas acuáticos, puesto que además de iniciar la transferencia de energía en la cadena trófica, algunas pueden ser consumidoras, por lo cual ocupan diferentes nichos ecológicos (2).

Durante el proceso de la fotosíntesis también se produce la incorporación y liberación de dióxido de carbono (CO₂) en el ecosistema acuático, así como también de oxígeno, lo que incrementa la importancia de estos grupos algales. Las algas son un grupo de aproximadamente cincuenta mil organismos vegetales heterogéneos de preferencia acuática, donde destacan unicelulares de tamaño de 10 μ hasta tamaños que superan los 50 m, estas pueden ser de origen dulceacuícola o de origen marino, también se encuentran en el suelo, en la nieve y sobre la arena del desierto.

Muchas especies de fitoplancton son utilizadas como indicadores de la calidad del agua debido a las características particulares como poseer un ciclo de vida corto y sensibilidad a modificaciones físico- químicas del entorno, especialmente las relacionadas con la eutrofización (enriquecimiento de nutrientes), lo que determina principalmente cambios en la densidad y características organolépticas del agua, que en algunos casos es usada como fuente de captación

para ser potabilizada para consumo humano. Las algas como todo organismo vegetal tienen la propiedad de realizar la fotosíntesis que se encarga de convertir la energía lumínica en energía química la cual es muy necesaria para la síntesis de sus moléculas, otra particularidad que tienen son la variedad de sus colores, estos van de la mano de su pigmento fotosintético que tienen los cromoplastos. El color verde se debe a la clorofila, el pardo a la fucoxantina y rojo a la ficoeritrina.

La reproducción de las algas es sexual y asexual, pero en las pluricelulares hay sistemas de reproducción conocidos como alternancia de generaciones; consiste en que después de cada generación cambia el tipo de reproducción, primero por gametos de forma sexual y por esporas en la fase asexual. Las algas pueden tener un efecto negativo en las características del agua, de dos formas; la primera, alterar las características organolépticas, la segunda, producir toxinas que afecten la salud de las personas causándoles en algunos casos diarreas. Ciertas *Cyanophytas* y sus toxinas se encuentran en la lista de contaminantes del agua potable (CCL) en los Estados Unidos de América (3).

Todas las floraciones de algas conocidas como "blooms" representan eventos de multiplicación y acumulación de estos microorganismos libres en todos los sistemas acuáticos y presentan un incremento masivo de su biomasa de una especie o género en particular en un corto tiempo que puede ser horas o días, lo que va de la mano con las condiciones de eutrofización de la zona acuática en que se presenta.

Las floraciones de algas se originan por un sinnúmero de especies pertenecientes a las divisiones *Chlorophyta* (algas verdes), *Pyrrophyta* (dinoflagelados), *Rhodophyta* (algas rojas), *Ochrophyta* (diatomeas) y las *Cyanophytas* (algas verdeazules) (3).

Muchas especies de algas tanto de agua dulce como salobre han reportado floraciones

tóxicas a nivel mundial, entre ellas: *Microcystis* (cianobacteria), *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, *Cylindrospermopsis* y *Nodularia*, ya que producen efectos sobre los organismos debido a las toxinas. Estas floraciones algales nocivas (FAN) representan una amenaza directa para la salud tanto humana como animal (2).

Las FAN representan además un peligro para los ecosistemas acuáticos ya que debido a las toxinas que producen pueden degradar la calidad del agua y asimismo causar gran mortalidad de peces en peligro de extinción (4).

En Ecuador la mayor parte de su desarrollo se cimienta en el Ecosistema Guayas a través de la agricultura, ganadería, acuicultura, pesca, minería, navegación, turismo y asentamientos poblacionales. Desde hace 15 años, en este lugar, se establece la existencia de un elemento enlazante entre las actividades humanas y la naturaleza, el nitrógeno (N), que al fijarse biológicamente a la simbiosis entre un alga (*Anabaena*) y el superorganismo Azolla, en el sistema de arrozales de la Cuenca del río Guayas está destinado a reproducir nuevos paradigmas en el sistema agrícola, alimenticio, de salud, económico y medioambiental del país (5).

Muchas especies de fitoplancton son utilizadas como indicadores de la calidad del agua, debido a características particulares como: el poseer un ciclo de vida corto y sensibilidad a modificaciones físico químicas del entorno, especialmente las relacionadas con la eutrofización (enriquecimiento de nutrientes). Esto determina principalmente cambios en la densidad y características organolépticas del agua, que en algunos casos es usada como fuente de captación para ser potabilizada.

“El agua es vida, el saneamiento de ésta es dignidad” este es el mensaje con que se concluyó la novena edición del Foro Mundial del Agua en Dakar 2022. En primer lugar, garantizar el derecho al acceso al agua y el saneamiento de ésta para toda la población.

Además de garantizar la accesibilidad y resiliencia del agua a futuro, asegurar fondos adecuados y gobernanza inclusiva de los recursos hídricos; y finalmente, la intención de fortalecer la cooperación internacional (6).

La acción fundamental de toda planta potabilizadora es un buen tratamiento de clarificación y desinfección al agua cruda de captación, para que su producto final de entrega a los habitantes cumpla con todos los requisitos específicos incluidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 sexta edición. Si bien la norma no menciona dentro de sus requisitos a las algas como parámetro de estudio sí establece los parámetros de Olor y Sabor con “no objetable” como Límite máximo permitido (7).

En Ecuador, el Río Daule es la principal fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Guayaquil, que consume 970 000 m³ de agua diarios. La concesionaria de agua potable Interagua tiene 4 estaciones de bombeo y su capacidad instalada es de 1'950.000 m³ por día, cuenta con 3 plantas de tratamiento que están ubicadas en el km. 26 vía Daule, campamento La Toma (8).

En el 2010, el agua potable en la ciudad de Guayaquil presentó un alto grado de algas presentes en el río Daule, y la producción de agua se ha visto afectada en su olor y sabor. Según la documentación revisada se encuentran varios trabajos referentes al tema y son los siguientes:

Canino (3). Algas de interés sanitario, abundancia, y diversidad en sistemas de potabilización de agua. Actualmente existen registros de problemas de algas en las Plantas Potabilizadoras, que se presentan principalmente como un taponamiento en los filtros durante el proceso; los problemas actuales consisten en que no se cuenta con la identificación de las algas para aplicar tratamientos específicos para su control.

Guarnizo (9). Elaboración de un Sistema Estadístico de Control de las Algas que Deterioran las Propiedades Organolépticas

del Agua de Consumo en la Zona de Captación de Agua Potable Para la Ciudad de Guayaquil. Romanelli (10). Agua con algas: una medida del "desequilibrio" del consumidor. Es precisamente la contaminación del lago con algas lo que ha afectado la calidad del agua suministrada, y constituye el tema de análisis en este trabajo

Gamón Olmo (11). Estudio de la problemática organoléptica en aguas potables asociadas a proliferaciones de algas en las fuentes de abastecimiento. Aplicación al caso de la ETAP el Realón en Picassent (Valencia). La geosmina y el 2-metil-isoborneol (2-MIB) son los compuestos de mal sabor más comunes que se pueden encontrar en las fuentes de agua cruda. Estos son ciertamente difíciles de eliminar mediante un tratamiento de agua convencional.

Almache & Andrango (12). Análisis experimental del control de algas en aguas de embalse mediante ondas electromagnéticas. Se aborda una forma alternativa de combatir el problema de algas y cianobacterias presentes en el agua de embalse empleando ondas electromagnéticas con frecuencia variable, para lo cual, se crea un prototipo que permite generar un campo magnético variable con una frecuencia de 30 Hz hasta 10 KHz.

El presente trabajo busca proponer una nueva metodología de elaboración de una carta control con los datos mínimos de conteo de algas del grupo o género que afecten la calidad del agua para evitar problemas futuros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales empleados en la recolección, análisis y métodos estadísticos utilizados para la realización de esta investigación se describen a continuación.

Fase 1-Área de estudio

El área de estudio comprende una parte del cauce del río Daule, a la altura de la zona de captación, punto "La Toma" (Estación

de Bombeo, Coordenadas UTM 0612990; 9781174), ubicado en el km 26 vía a Daule, y el segundo punto a 10 km aguas arriba punto "Nobol" frente al malecón del cantón Nobol (Coordenadas UTM 0610363; 9782414).

Fase 2-Materiales y muestreo

El estudio abarca un muestreo rutinario de análisis de algas, uno diariamente en la Planta de INTERAGUA y otro mensualmente tanto en la zona de captación de agua para potabilizar como a 10 km aguas arriba.

El muestreo se comenzó desde septiembre de 2010 y se utilizó un bote para ir por el río Daule y ubicar el primer punto frente a la zona de captación de la Planta La Toma (km 24) al que se denominó punto "La Toma", para luego dirigirse 10 km aguas arriba frente al malecón de Nobol (Km. 37), a este punto se le llamó punto "Nobol".

Los frascos de muestreo que se utilizaron para la recolección de la muestra fueron de vidrio ámbar, lavados y secados en estufa para eliminar cualquier contaminación con microorganismos que pueden producir resultados errados.

El volumen de muestra que se recolectó fue de 1 litro para cada punto, estas muestras se preservaron con hielo y se trasladaron al INP (Instituto Nacional de Pesca) para su respectivo análisis cualitativo y cuantitativo de todas las algas encontradas teniendo cuidado en que las muestras cumplan con la temperatura de preservación recomendada < 6 ° C (Standard Methods, 2017).

Otro muestreo que se realiza diariamente para el análisis cualitativo y cuantitativo es a la muestra de agua cruda que es bombeada del río Daule y llega a la planta por una tubería la cual se deposita en una cámara llamada cámara de admisión.

Fase 3-Análisis de laboratorio

Para poder llevar a cabo esta investigación se necesitó subcontratar al INP (Instituto Nacional de Pesca) específicamente al área de proceso IRBA. Por tratarse de una toma

de muestra simple y directa, es decir que no se usó redes planctónicas, se procedió a preservarlas con lugol y la cuantificación se realizó con cámaras de sedimentación de 10 cm³ de capacidad, siguiendo el método Utermohl, en un microscopio invertido, obteniéndose los resultados en cel L⁻¹. La unidad de conteo para las *Cyanophytas* unicelulares fue la célula mientras que las multicelulares se cuantifican por colonias o filamentos, según el caso.

Para la identificación taxonómica de las especies, se siguieron los trabajos de varios autores Komárek, (13); Biicudo y Menezes, (1); Sant'Anna et al., (14); Cronberg, (15); Echenique, (16).

El Laboratorio de INTERAGUA (LI) realiza los análisis de algas más frecuentemente, cuando el fenómeno de afloramiento de *Cyanophytas* se presenta por la presencia de las especies *Anabaena* de vida libre como un indicador directo del olor y sabor a tierra en el agua. En este caso los análisis se realizan diariamente y si no se encuentra se puede realizar semanalmente.

El análisis de las muestras recolectadas por el LI se inicia en la cámara de admisión en un microscopio binocular, utilizando una celda de conteo Sedgwick-Rafter para determinar de esta manera qué géneros y cuántos se encuentran en 1 mL de agua. Se homogeniza la muestra y con una pipeta volumétrica de 1 mL se transfiere con cuidado la muestra a una celda. Previamente se coloca el cubreobjetos de forma diagonal dejando que ingrese despacio por una esquina el agua hasta que se llena totalmente la celda y el cubreobjetos toma una posición igual que la celda, de esta manera se evita que se formen burbujas en la celda.

Una manera eficaz de observar las algas es dejando reposar 15 minutos la muestra en la celda para que se logre sedimentar la materia orgánica particulada en suspensión. Las observaciones se realizan en objetivos 10x y el conteo es en toda la celda haciendo un barrido total de los campos, esto se debe

a que las muestras no son muy concentradas en lo que refiere a fitoplancton.

En caso de encontrarse una biomasa de algas muy grande se procederá contando solo 5 campos elegidos al azar. La fórmula utilizada para calcular la cantidad de fitoplancton, por género y mililitro es la siguiente:

$$\text{Cantidad de fitoplancton (cel./ML.)} = C \times 10000$$

$$A \times D \times F$$

Dónde:

C= número de microorganismos contados

A= Área de un campo en mm²

D= Profundidad de un campo (profundidad de la celda en mm)

F= Número de campos contados

Fase 4-Análisis Estadístico

Se aplicó un ensayo estadístico basado en el cálculo del Percentil a 100 datos tomados de los análisis rutinarios desde marzo del 2013, aplicando la curva normal de Gauss y el 95% de confiabilidad, en los cuales se evidenció sabor-olor a tierra en las muestras de agua. Con estos datos se calculó el promedio (6) una desviación estándar (DS=9, 2DS=18), una mínima de (-12), una máxima de 24 y un Percentil de 24.

Con los datos calculados se establecieron; tablas, gráficos y una carta control para el género *Anabaena* de vida libre la cual se va abasteciendo con los datos de análisis rutinarios que se realicen al agua cruda en la cámara de admisión de la planta.

Para el cálculo de la frecuencia relativa (Fi) se utilizó la siguiente fórmula:

$$Fi = (n/N) * 100$$

Donde:

n= número de veces en que aparece en los 4 meses

N= número total de meses

Para el cálculo de la abundancia relativa (AR) se utilizó la siguiente fórmula:

$$AR = (n/N) * 100$$

Dónde:

n= número de células de la especie

N= biomasa total de especie

Una vez detallado los elementos y variables estadísticos procedemos a obtener los resultados obtenidos.

RESULTADOS

De acuerdo al desarrollo de la investigación se obtuvieron los siguientes resultados. Se identificaron seis Phylum de algas a nivel de Clase que incluyen: *Cyanophyceae*, *Coscinodicyphyceae*, *Bacillariophyceae*, *Dynophyceae*, *Zygnemaphyceae* y *Chlorophyceae*. Dentro de estas clases se ubicaron 12 familias, 20 géneros y 88 especies.

Los grupos de algas a nivel de Phylum se pueden agrupar en 3 importantes que van expresados por los géneros más representativos y dominantes para formar un catálogo de algas endémicas del sector; esta información va a ayudar para la identificación en el análisis rutinario que realiza el laboratorio.

Dentro de los 3 grupos más importantes *Cyanophytas*, *Chlorophytas* y *Ochrophyta*, que se identificaron en el punto La Toma, en

el año 2010 entre septiembre y diciembre las especies más frecuentes (100%) fueron *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Nitzschia longissima*, *Scenedesmus quadricauda*.

En el punto Nobol, en el año 2010 entre septiembre y diciembre las especies más frecuentes (100%) fueron *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Alaucoseira granulata*, *Nitzschia longissima* y *Polmyxus coronalis*.

Los resultados obtenidos en abundancia relativa porcentual de las especies más importantes encontrados en los puntos La Toma (T) y Nobol (N), durante los últimos 4 meses del 2010 son los siguientes: *Cylindrospermopsis raciborskii* (6.61%-T), (20.8%- N), *Pseudanabaena limnetica* (9.11%-T), (8.9%-N), *Alaucoseira granulata* (2.85%-T), (2.40%-N) y *Polmyxus coronalis* (18.56%-T), (4.20%-N), *Nitzschia longissima* (45.22%-T), (45%-N), *Nitzschia acicularis* (7.86%-T), (5.70%-N), *Scenedesmus quadricauda* (2.62%-T) (1.10%-N) y *Scenedesmus bijugus* (1.03%-T) (1.50%-N), la información se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Porcentaje de Abundancia Relativa de las especies más importantes encontradas en los puntos La Toma y Nobol, año 2010

Punto de muestreo	Ciabiphytas		Diatomeas				Clorophytas	
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	<i>Alaucoseira granulata</i>	<i>Polmyxus coronalis</i>	<i>Nitzschia longissima</i>	<i>Nitzschia acicularis</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Scenedesmus bijugus</i>
La Toma	6,61%	9,11%	2,85%	18,56%	45,22%	7,86%	2,62%	1,03%
Nobol	20,80%	8,90%	2,40%	4,20%	45,00%	5,70%	1,10%	1,50%

Los géneros más importantes encontrados en los puntos La Toma (T) y Nobol (N), en el año 2011 son los siguientes: *Cylindrospermopsis* (33.46%-T), (30.05%-N), *Anabaena* (1.34%-T), (0.79%-N), *Cyclotella*

(16.9%-T), (2.83%-N) y *Polmyxus* (30.00%-T), (47.22%-N), *Nitzschia* (4.42%-T), (1.86%-N), *Scenedesmus* (3.27%-T) (4.20%-N). La información se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Porcentaje de Abundancia Relativa de las especies más importantes encontradas en los puntos La Toma y Nobol, año 2011

Punto de muestreo	Ciabiphytas		Diatomeas			Clorophytas
	<i>Cylindrospermopsis</i>	<i>Anabaena</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Polmyxus</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Scenedesmus</i>
La Toma	33,46%	1,34%	16,9%	30,00%	4,42%	3,27%
Nobol	30,05%	0,79%	2,83%	47,22%	1,87%	4,20%

Los géneros más importantes encontrados en los puntos La Toma (T) y Nobol (N), en el año 2012 son los siguientes: *Cylindrospermopsis* (42.44%-T), (41.87%-N), *Anabaena* (0.94%-T), (1.69%-N),

Oscillatoria (0.52%-T), (0.56%-N), *Cyclotella* (2.71%-T), (3.55%-N) *Polmyxus* (27.53%-T), (16.82%-N), *Nitzschia* (3.75%-T), (7.10%-N), y *Scenedesmus* (1.46%-T) (6.93%-N), la información se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje de Abundancia Relativa de las especies más importantes encontradas en los puntos La Toma y Nobol, año 2012

Punto de muestreo	Ciabiphytas			Diatomeas			Clorophytas
	<i>Cylindrospermopsis</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>Anabaena</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Polmyxus</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Scenedesmus</i>
La Toma	42,44%	0,52%	0,94%	2,71%	27,53%	3,75%	1,46%
Nobol	41,87%	0,56%	1,69%	3,55%	16,82%	7,10%	6,93%

Los géneros más importantes encontrados en los puntos La Toma (T) y Nobol (N), en el año 2013 son los siguientes; *Cylindrospermopsis* (15.89%-T), (19.12%-N), *Anabaena* (0.55%-T), (0.49%-N), *Oscillatoria* (0.78%-T), (0.49%-N), *Cyclotella* (10.92%-T),

(4.20%-N) *Polmyxus* (17.07%-T), (21.64%-N), *Gymnodinium* (10.54%-T) (19.33%-N), *Nitzschia* (5.37%-T), (5.67%-N), y *Scenedesmus* (1.57%-T) (0.14%-N), la información se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Porcentaje de Abundancia Relativa de las especies más importantes encontradas en los puntos La Toma y Nobol, año 2013

Punto de muestreo	Ciabiphytas			Diatomeas				Clorophytas	
	<i>Anabaena</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>Cylindrospermopsis</i>	<i>Polmyxus</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Gymnodinium</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Scenedesmus</i>	<i>Ulothrix</i>
La Toma	0,55%	0,78%	15,89%	17,07%	10,92%	10,54%	5,37%	10,39%	1,57%
Nobol	0,49%	0,49%	19,12%	21,64%	4,20%	19,33%	5,67%	7,77%	0,14%

Biomasa de las algas encontradas

En lo referente a la densidad celular de las algas encontradas en las zonas del proyecto se encontró que el grupo con mayor variedad de especies es el de *Ochrophyta* en todos los años de estudio.

En los últimos 4 meses del año 2010 que comenzó el problema de olor y sabor a tierra en el agua, las algas del grupo *Cyanophytas* a la cual pertenecen los géneros que ocasionan estos eventos ocupan el segundo lugar en cuanto a densidad celular presentando en La Toma 1 380 000 cel. L-1 y la mayor densidad la presentó el grupo *Ochrophyta* con 6 790 000 cel.L-1. En la Tabla 5 se encuentran los resultados de las densidades correspondientes a los grupos de algas en el año 2010 tanto en el punto La Toma como Nobol.

Tabla 5. Densidad celular (cel.L-1) de los grupos de algas encontrados en los puntos de estudio, año 2010

Punto de muestreo	Ciabiphytas	Diatomeas	Clorophytas
La Toma	1380000	6790000	610000
Nobol	2350000	4890000	650000

Durante el año 2011 el grupo de *Cyanophytas* obtuvo una concentración de células en el punto Nobol de 3 190 000 cel.L-1. La mayor concentración celular la tuvo el grupo de *Ochrophyta* con 6 310 000 cel.L-1 en el mismo punto. En la Tabla 6 se encuentran los resultados de las densidades correspondientes a los grupos de algas en el año 2011 tanto en el punto La Toma como Nobol.

Tabla 6. Densidad celular (cel.L-1) de los grupos de algas encontrados en los puntos de estudio, año 2011

Punto de muestreo	Ciabiophytas	Diatomeas	Clorophytas
La Toma	1810000	3170000	220000
Nobol	3190000	6310000	750000

En el año 2012 la mayor concentración de células la tienen dos grupos, el *Phylum Ochrophyta* en el punto La Toma con 4 720 000 cel.L-1 y las Cyanophytas con 4 540 000 cel.L-1. En la Tabla 7 se encuentran los resultados de las densidades correspondientes a los grupos de algas en el año 2012 tanto en el punto La Toma como Nobol.

Tabla 7. Densidad celular (cel.L-1) de los grupos de algas encontrados en los puntos de estudio, año 2012

Punto de muestreo	Ciabiophytas	Diatomeas	Clorophytas
La Toma	4540000	4720000	330000
Nobol	2610000	2060000	680000

En el año 2013 la mayor concentración de células la tiene el grupo, *Ochrophyta* en el punto La Toma con 8 280 000 cel. L-1 y en el punto Nobol con 9 470 000 cel.L-1. En la Tabla 8 se encuentran los resultados de las densidades correspondientes a los grupos de algas en el año 2013 tanto en el punto La Toma como Nobol.

Tabla 8. Densidad celular (cel.L-1) de los grupos de algas encontrados en los puntos de estudio, año 2013

Punto de muestreo	Ciabiophytas	Diatomeas	Clorophytas
La Toma	2360000	8280000	2010000
Nobol	3070000	9470000	1740000

Distribución de la biomasa algal en la época climática de cada año de estudio

La distribución de las algas en las épocas de invierno y verano fue diferente para cada año lo que se debe a la irregularidad de la época invernal, por lo que, una vez realizado la identificación y conteo, se graficó para hacer comparaciones de los géneros más representativos que se presentaron en cada época.

Año 2011. En el año 2011 los géneros más

representativos que mostraron mayor presencia en la época invernal en los 2 puntos de estudio son los siguientes: *Cylindrospermopsis* (150 000 cel.L⁻¹), *Anabaena* (70 000 cel.L⁻¹), *Polmyxus* (190 000 cel.L⁻¹), en la época de verano hay una mayor biomasa celular en el punto Nobol del género *Polmyxus* (4 780 000 cel.L⁻¹).

Año 2012. En el año 2012 el único género más representativo que mostró mayor presencia en la época invernal es el siguiente; *Polmyxus* (4800 000 cel. L⁻¹), y en la época de verano presentó una alta biomasa celular *Cylindrospermopsis* (1.320.000 cel. L⁻¹)

Año 2013. En este año el único género más representativo que mostró mayor presencia en la época invernal es *Cylindrospermopsis* (1 240 000 cel.L⁻¹) en La Toma, y en Nobol con (1 830 000 cel.L⁻¹) mientras que en verano los géneros con más biomasa son *Cyclotella* (2 550 000 cel.L⁻¹) y *Polmyxus* (1.840.000 cel.L⁻¹).

Estadística de los meses con problemas de olor y sabor a tierra en el agua tratada

Luego de presentarse el problema de olor y sabor a tierra en el agua para consumo en septiembre del 2010 INTERAGUA comenzó a enviar muestras mensualmente de los puntos señalados en el proyecto (La Toma y Nobol) al INP para su análisis cualitativo y cuantitativo. Después de obtener estos resultados y relacionarlos con los eventos que se presentaron en cada año se obtuvieron datos que indican que el género *Anabaena* de vida libre en densidades celulares de 1 840 000 cel.L⁻¹ ocasiona un deterioro en la calidad del agua como es el olor y sabor a tierra.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Ramírez (17) manifiesta que para el control de algas en una planta potabilizadora dependerá de su densidad y cuando su concentración supere 200 UPA/mL (Unidades Patrón de área/mL), además se llevará a cabo un programa

de control mediante el uso de alguicidas o de otro recurso que pueda eliminarlas. La cantidad de estos microorganismos varía según su especie y medida o tamaño. Se debe tener conocimiento de la calidad del agua para poder determinar la presencia de nutrientes en tales cantidades que permita saber si es un factor determinante en el crecimiento anormal de estas algas.

Los resultados de la investigación de este trabajo nos dan una concentración mínima de alerta que es de 20 mg/L. para el género *Anabaena*, principal indicador de olor y sabor a tierra en el agua, en concordancia con Ramírez, se debe también llevar un control de los nutrientes del cuerpo receptor (río), para saber cuándo se pueden estar formando las floraciones algales.

Según Pierotto et al (18) los florecimientos algales en reservorios de agua para abastecimiento representan un riesgo para la salud de las poblaciones abastecidas, debido a la aparición de especies tóxicas, transferencia de olores y sabores desagradables, y posible formación de trihalometanos. En base a nuestros resultados estos problemas se pueden tratar aplicando un residual de cloro, que será calculado por los técnicos de laboratorio en la planta de potabilización, sin embargo, en la sexta edición 2020 de la norma INEN 1108, no se menciona a los trihalometanos, solo se menciona como subproductos de desinfección a. Monocloramina, Bromodichlorometano y Cloroformo (Tabla 9).

Tabla 9. Límites permitidos de subproductos de desinfección en agua para consumo humano.

Parámetro	Límite permitido (mg/L)
Monocloramina	3,0
Biomodichlorometano	0,06
Cloroformo	0,3

Fuente: (7)

Romanelli (10) manifiesta que durante los meses de julio y agosto de 1999, y en abril y mayo de 2000, la ciudad de Bahía Blanca (Buenos Aires-Argentina) sufrió un serio

problema en la calidad del agua corriente de red. Los estudios biológicos sobre el comportamiento de las algas en el embalse y los de carácter técnico-operativo como nuevos sistemas de filtrado, decantación y otros, son soluciones de largo plazo, y tendrían un carácter duradero a través de inversiones. Esta solución debe ser calificada como definitiva pero su concreción requiere de un tiempo prudencial.

Los resultados mostrados en este trabajo permiten soluciones a corto plazo que dan un resultado más efectivo y suelen ser las más sencillas, como es el conteo de algas al microscopio, y de esta manera poder detectar a tiempo la aparición de algas indicadoras de olor y sabor en el agua.

Canino (3) manifiesta que existen registros de problemas de algas en las Plantas Potabilizadoras, que se presentan principalmente como un taponamiento en los filtros durante el proceso; los problemas actuales consisten en que no se cuenta con la identificación de las algas para aplicar tratamientos específicos para su control; por lo tanto en el presente estudio se realizó la identificación de las algas presentes en las fuentes de abastecimiento (Presas); así como en las líneas de conducción que transportan agua de las presas a las plantas y al final se realizó una evaluación de la eficiencia del proceso en una planta potabilizadora con respecto a la eliminación de las algas.

En el presente trabajo de investigación se realizó una identificación actual de las especies de algas presentes en la zona de captación de agua (río Daule) en Guayaquil, para saber cuáles son las especies que ocasionan deterioros en las características organolépticas del agua, como son: olor y sabor. Se concuerda con Canino (3), de que más allá de llevar un control a la fuente de abastecimiento se debe de controlar otras áreas en las cuales se pueden desarrollar algas que pasaron ciertas etapas del proceso y que debido a las condiciones de luz y oxígeno puedan desarrollarse con facilidad.

Arán et (19) manifiestan que los embalses son reservorios de agua utilizados para satisfacer las necesidades de la sociedad y la eutrofización de éstos es un problema muy frecuente. Frente a casos de eutrofización, es fundamental la evaluación de la calidad de agua a través del monitoreo, interpretación y reporte de los resultados. Para ello se formulan Índices de Calidad de Agua (ICA), expresiones simples de una combinación de parámetros, que se resumen en un número, rango, descripción verbal o color.

De acuerdo con lo manifestado, también se debe de evaluar los índices de calidad de cada fuente de abastecimiento, si bien lo efectúa el laboratorio, se debe realizar un análisis más profundo sobre la data almacenada en los controles diarios, semanales y mensuales para ver el ICA en relación al tiempo. Si bien es importante conocer qué tipo de algas se encuentran en los sitios o reservorios de captación, estos organismos están estrechamente ligados a condiciones físicas y químicas del agua, como son oxígeno y temperatura, los cuales deben ser monitoreados de manera periódica, para tenerlos como indicadores de crecimiento de algas.

Según Gamón Olmo (11) la geosmina y el 2-metil-isoborneol (2-MIB) son los compuestos de mal sabor más comunes que se pueden encontrar en las fuentes de agua cruda. Estos son ciertamente difíciles de eliminar mediante el tratamiento de agua convencional, siendo su umbral de percepción extremadamente bajo uno de sus aspectos más desafiantes. A pesar de que los problemas de sabor y olor no preocupan a la salud humana, despiertan las sospechas de los clientes sobre la seguridad del agua, desviando a los consumidores de su uso

En relación con lo manifestado, si se puede tratar el sabor y olor en el agua de abastecimiento, con métodos como el carbón activado, de esta manera evitar que los clientes tengan sospechas sobre la estética del agua, para esto se debe tener un

control en los afloramientos de algas nocivas en la zona de captación y un análisis de metabolitos.

Tabla 10. Metabolitos algales producidos por cianobacterias y sus olores descriptores

Metabolito Alga	Especie	Olor
Beta-ciclocitral	<i>Microcystis aequiaginata</i>	Humo de tabaco
Geosmina	<i>Anabaena circinalis</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Anabaena shermantzevi</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Lyngbya aestuarii</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Oscillatoria tenuis</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Oscillatoria variabilis</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Oscillatoria agardhii</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Oscillatoria cortiana</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Oscillatoria splendida</i>	Tierra-moho
2-metilisoborneo	<i>Lyngbya crytovaginata</i>	Tierra-moho
2-metilisoborneo	<i>Oscillatoria curviceps</i>	Tierra-moho
2-metilisoborneo	<i>Oscillatoria tenuis</i>	Tierra-moho

Fuente: (9)

Los resultados de la investigación evidencian que se puede llevar un control regular (diario) de contaje de algas en los meses donde según el histórico de datos, las algas del género *Anabaena* y *Cylindrospermopsis* comenzaron a presentarse en poca cantidad y fueron aumentando cada día. Con la carta de control estadístico se puede prevenir y tomar acciones en el tratamiento del agua en la planta "La Toma".

Las técnicas estadísticas aplicadas en la investigación nos ayudaron a poder tener una base de datos actualizada de todas las especies que se encuentran en la zona de captación, identificarlas y conocer cuál es su rol en el ecosistema. El grupo de mayor importancia fue el de las *cyanophytas*, debido a que en este hay géneros que causan el olor y sabor a tierra en el agua.

Ciertos autores como Montañó (20) hacen un buen uso de una especie como la *Anabaena azollae* en la fijación del nitrógeno de la planta azolla de manera orgánica para el cultivo de arroz, sí que esta afecte la estética del agua en la zona de captación. Los análisis de las muestras de agua en los dos puntos nunca

mostraron a esta especie como causante del problema de olor y sabor.

Almache & Andrango (12) manifiestan que se crea un prototipo que permite generar un campo magnético variable con una frecuencia de 30 Hz hasta 10 KHz, este campo se somete directamente a muestras de agua contaminada con algas verdes y cianobacterias, observando que a una frecuencia de 1000 Hz y un tiempo de 3 horas para algas de tipo *Euglenas* y *Closteriums* y 20 horas para cianobacterias y algas Eudorinas, se obtienen resultados positivos como la pérdida de movimiento, cambio de forma y explosión de los microorganismos, en el caso de las cianobacterias se puede observar la desintegración y decoloración de la colonia bacteriana, además microscópicamente se puede observar que las algas de tipo *Euglenas*, *Closteriums* y *Eudorina* explotan liberando su contenido interno.

De acuerdo con lo manifestado, es una buena técnica para el control de algas, sin embargo, está limitada al tipo de cuerpo de agua, ya que el Río Daule tiene sus cambios de flujo y reflujos que, en muchas ocasiones, están ligados a los cambios climáticos o estaciones de invierno y verano, además sigue siendo la forma más rápida de saber que concentración de algas están ingresando a la planta el conteo diario por microscopio.

La carta control empleada en el trabajo de investigación, resalta la importancia estadística que se debe emplear en los resultados obtenidos diariamente en campo, de esta manera se puede llevar un control más preciso y a corto plazo de lo que puede estar pasando en el cuerpo de agua, y dar soluciones rápidas antes de que pueda suceder un evento negativo en cuanto a la estética del agua potable como producto final del proceso.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos provenientes del río Daule se determinaron dos grupos de algas dominantes: las diatomeas

y las cianofitas. En el año 2013 se presentó la más alta densidad celular en relación a los otros años la cual fue de 9 470 000 cel.L⁻¹ y que corresponde a las Diatomeas en el punto Nobol, lo que indica que hay un gran aporte de nutrientes en dicha zona y que se debe a las poblaciones asentadas a las riberas del cauce del río y a los desarrollos agrícolas y ganaderos de las cuencas respectivas. A partir de la carta control obtenida de los datos históricos y del cálculo del percentil se pudo determinar el valor máximo y de alerta para tomar correcciones inmediatas al proceso de tratamiento, agregando carbón activado como medida de acción efectiva; sin embargo, con el solo hecho de que aparezcan las algas *Anabaena Sp.* en cualquier época del año en concentraciones muy pequeñas es señal de estar alerta. Los factores climáticos juegan un papel importante en el crecimiento de estos organismos; cuando el invierno es fuerte los géneros de *Cianophytas* se presentan en mayor concentración debido a la escorrentía de tierras fertilizadas y aporte de efluentes no tratados. En cuanto a las toxinas de las algas aún no se ha establecido el mecanismo que las produce, siendo necesario mencionar que la toxicidad de un organismo depende de las variedades y no de las especies, así como también que esta situación es muy variable en el tiempo y depende también de las condiciones ecológicas y fisiológicas existentes.

REFERENCIAS

1. Biicudo C, Menezes M. Géneros de algas de aguas continentales do Brazil. Textos RAe, editor. Sao Carlos. Brazil.: Chave para identicao e descricoes; 2006.
2. Annadotter H, G. Cronberg R, Nystrand , Rylander R. Endotoxins from cyanobacteria and gram-negative bacteria as the cause of an acute influenza-like reactions after inhalation of aerosols: EcoHealth 2; 2005.
3. J. CG. Algas de interés sanitario, abundancia, y diversidad en sistemas

- de potabilización de agua: Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil; 2011.
4. Wilde SB, Murphy. TM, Hope. CP, Habrun. SK, Kempton. J, Birrenkott. A, et al. Avian vacuolar myelinopathy linked to exotic aquatic plants and a novel cyanobacterial species: *Environmental Toxi*; 2005.
 5. Montaña M. Ecosistema Guayas (Ecuador): Recursos, Medio Ambiente y Sostenibilidad en la perspectiva de Conocimiento Tropical, Tesis Doctoral, Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente España: Universidad Miguel Hernández de Elche; 2011.
 6. El Ágora. Madrid, diario del agua. Novena edición del Foro Mundial del Agua en Dakar.; 2022.
 7. INEN. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, NTE INEN 1108.
 8. Disponible GÓ. INTERAGUA. Modelo de Gestión Operador Privado – Regulador Estatal. 21er. Seminario Internacional-Servicios Públicos- Agua Potable y Saneamiento.
 9. Guarnizo. D. Elaboración de un Sistema Estadístico de Control de las Algas que Deterioran las Propiedades Organolépticas del Agua de Consumo en la Zona de Captación de Agua Potable Para la Ciudad de Guayaquil. Guayaquil: Espol; 2016.
 10. 2000 RR. Agua con algas: una medida del “desequilibrio” del consumidor. Buenos Aires-Argentina.: Bahía blanca; 2000.
 11. A. Gamón. O. Estudio de la problemática organoléptica en aguas potables asociadas a proliferaciones de algas en las fuentes de abastecimiento. Aplicación al caso de la ETAP el Realón en Picassent. Valencia; 2017.
 12. Almache P. J , E. AC. Análisis experimental del control de algas en aguas de embalse mediante ondas electromagnéticas; 2020.
 13. Komárek J, E. Planktic morphospecies of the cyanobacterial genus *Anabaena*=subg. *Dolichos* – 1. part: coiled types. 7th ed. Zapomélava: Fottea, Olomouv; 2007.
 14. Sant’Anna C, Azevedo M, Aguajaro L, Carvalho M, Carvalho L, Souza. Rd. Manuel Ilustrado para identificação contagem de cianobacterias Planctônicas de Aguas Continentais Brasileiras Río de Janeiro- Brazil: Editora intercienca; 2006.
 15. Cronberg. G. PhotoGuide to Cyanobacteria IOC-Danida Advanced Workshop on HAB. Workshop IV: Cyanobacteria: University of Copenhagen- Sweden. Sweden.: University of Copenhagen- Sweden.
 16. Echenique R. Fitoplancton de la laguna Vitel (Buenos Aires, Argentina). La Plata-Argentina: Bo. Soc. Argent. Bot.
 17. J. R. Fitoplancton en Agua Dulce Colombia - Medellín: Universidad de Antioquia: Primera edición ed.; 2000.
 18. Pierotto M, Daga C, Rincón A, Prósperi C. Algas de interés sanitario en embalses del centro-oeste de la provincia de Córdoba Argentina Córdoba- Argentina; 2014.
 19. Arán D, Degano MF, Rodríguez MI. Estudio preliminar paleolimnológico del Embalse San Roque Córdoba- Argentina: 3er Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos; 2016.
 20. M. M. Ecosistema Guayas (Ecuador): Recursos, Medio Ambiente y Sostenibilidad en la perspectiva de Conocimiento Tropical, Tesis Doctoral, Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente España: Universidad Miguel Hernández de Elche; 2011.