

VARIABILIDAD EN LAS CONCENTRACIONES DE FITOPLANCTON Y COLIFORMES TOTALES COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MILAGRO EN ECUADOR

VARIABILITY IN THE CONCENTRATIONS OF PHYTOPLANKTON AND TOTAL COLIFORMS AS INDICATORS OF THE WATER QUALITY OF THE MILAGRO RIVER IN ECUADOR

María Elena Cevallos Cabrera ¹

Ingeniera Ambiental. Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2512-7396>. Correo: maria.cevallosc@ug.edu.ec

Wilson Orlando Pozo Guerrero ^{2*}

Biólogo. Doctor en Ciencias. Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8229-7527>. Correo: wilson.pozog@ug.edu.ec

Rosa Sigüencia García ³

Bióloga, Magister. Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0330-3767>. Correo: rosa.sigüenciag@ug.edu.ec

Genoveva Dominga Torres Muñoz ⁴

Bióloga, Magister. Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8213-3602>. Correo: genoveva.torrem@ug.edu.ec

Diana Margarita Acosta Jaramillo ⁵

Ingeniero Agrónomo, Magister. Estación Litoral Sur, Instituto de Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7340-723X>. Correo: diana.acosta@iniap.gob.ec

* Autor por correspondencia: wilson.pozog@ug.edu.ec

Resumen

La finalidad de este estudio fue determinar la variabilidad en las concentraciones de fitoplancton y coliformes totales como indicadores de la calidad de agua en el río Milagro debido a la evidente contaminación por medio de descargas de aguas residuales domésticas al río sin previo tratamiento. Se establecieron cuatro estaciones de muestreo, dos en la zona rural de la ciudad de Milagro y dos en la zona urbana con incidencia de descargas de aguas residuales municipales en los meses de junio y julio de 2018. Se determinó que existe variabilidad temporal en la concentración de coliformes totales y fitoplancton siendo esta mayor en el mes de julio para ambos indicadores en todas las estaciones. Se identificaron las especies más abundantes como la *Flagilaria longissima*; indicadora de Eutrofización, que es propia de aguas continentales con un alto contenido de materia orgánica. Se determinó una baja biodiversidad de especies y altas concentraciones de coliformes totales. Se concluyó que la calidad de agua del río Milagro no es apta para consumo humano ni para uso recreacional, por lo que se propuso medidas que mejoren la calidad de agua en este cuerpo hídrico.

Palabras clave: aguas residuales; biodiversidad; coliformes totales; contaminación; fitoplancton.

Abstract

*The purpose of this study was to determine the variability in the concentrations of phytoplankton and total coliforms as indicators of water quality in the Milagro River due to the evident contamination through domestic wastewater discharges into the river without prior treatment. Four sampling stations were established, two in the rural area of the city of Milagro and two in the urban area with an incidence of municipal wastewater discharges in the months of June and July 2018. It was determined that there is temporal variability in the concentration of total coliforms and phytoplankton, being higher in the month of July for both indicators in all stations. The most abundant species were identified as the *Flagilaria longissima*; Eutrophication indicator, which is typical of continental waters with a high content of organic matter. A low biodiversity of species and high concentrations of total coliforms were determined. It was concluded that the water quality of the Milagro River is not suitable for human consumption or recreational use, therefore, measures were proposed to improve the water quality in this body of water.*

Keywords: biodiversity; phytoplankton; pollution; total coliforms; wastewater.

Fecha de recibido: 26/10/2022

Fecha de aceptado: 28/12/2022

Fecha de publicado: 30/12/2022

Introducción

En el planeta existen 1386 millones de km³ de agua aproximadamente, el 97.5% es agua salada y el 2.5% es agua dulce, es decir un aproximado de 35 millones de km³. Sn embargo, de esta cantidad solo el 30% es apta

para el consumo humano, debido a que 70% restante se encuentra como glaciares, nieves o hielo (CONAGUA, 2016).

Se considera que América Latina y el Caribe son una de las regiones que tienen mayor disponibilidad de recursos hídricos, aproximadamente un 33% de los recursos de agua dulce a nivel mundial. Se ha determinado que la precipitación media anual es 1600 ml y la escorrentía es $400000 \text{ m}^{3\text{s}^{-1}}$ por lo que la disponibilidad de agua per cápita por año es de 22000 m^3 (BID, 2018).

El objetivo 7 de desarrollo sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) establece garantizar la sostenibilidad del ambiente, por lo que dentro de sus metas está la sostenibilidad en el consumo y el correcto saneamiento del agua para consumo humano, esto implica la protección de los cuerpos hídricos de contaminantes de origen antrópico, principalmente de material fecal (CONAGUA, 2016).

Debido a la limitada disponibilidad de agua para consumo humano, se debe considerar a los cuerpos de agua como principal interés de estudio, con la finalidad de establecer indicadores que permitan conocer el estado de los recursos hídricos en el planeta, y según estos resultados implementar medidas que permitan un mejoramiento de la calidad del agua; para valorar y evaluar la calidad de agua existen diferentes metodologías como la comparación de las variables con normativas vigentes, Índice de Calidad de Agua (ICA) y modelación (Castro et al., 2014).

El agua en estado puro compuesta por dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno, esta composición puede ser influenciada por diferentes factores naturales y antropogénicos; por lo general, las actividades humanas son las que más afectan a la calidad de agua de un cuerpo hídrico, por ejemplo, la introducción de agentes biológicos mediante las aguas residuales no tratadas, el agua de lluvia que influyen a la calidad de agua debido a que las gotas de lluvia traen consigo gases disueltos y restos de sustancias minerales (Boyd, 2008).

La introducción de un proceso externo en el agua puede alterar la composición o el estado natural de un cuerpo hídrico, en consecuencia, la utilidad de este recurso es reducida para cualquiera de sus usos por los efectos que puede causar en la salud humana o en el ecosistema (Oficina Internacional del Trabajo, 2012).

Las partículas en suspensión que producen la turbidez y sedimentación en los sistemas hídricos, los nutrientes que causan eutrofización, la disminución de oxígeno disuelto, elementos tóxicos como los metales pesados, pesticidas, sustancias químicas, sustancias acuosas con diferencia de temperatura, son algunos de los factores considerados contaminantes del agua (Boyd, 2008).

Los contaminantes que pueden afectar la calidad de agua de un cuerpo hídrico son: contaminantes orgánicos el exceso de nutrientes, metales pesados, contaminación microbiológica, compuestos tóxicos orgánicos, químicos trazas, partículas suspendidas, desechos nucleares, entre otros (CEPAL, 2002). En América Latina la contaminación por organismos patógenos y orgánica es severa y conlleva un riesgo en la salud humana (Pérez et al., 2020), que pueden ser afectadas por contacto con el agua contaminada para sus actividades

diarias como lavado de ropa, baño, recreación o por ingerirlas directamente; se estima que esta contaminación afecta aproximadamente a un 25% de los tramos de los ríos (UNEP, 2016).

Algunas de las causas de contaminación en los cuerpos hídricos son producto de actividades económicas, como los procesos industriales para la obtención de un producto o la demanda de un servicio o actividades sociales como la demanda de agua potable y su posterior descarga (Barba, 2002). El crecimiento poblacional implica el uso de los recursos naturales, principalmente los recursos hídricos, las poblaciones tienden a asentarse cerca de cuerpos de aguas superficiales, lo que conlleva a la sobreexplotación de este recurso (Valencia & Molina, 2013).

La calidad del agua ha sido importante durante el desarrollo de la humanidad. Sin embargo, no se habían desarrollado formas para evaluarla, por lo que se usaban las propiedades organolépticas para evaluar la calidad del cuerpo hídrico, sin embargo en la actualidad existen diferentes métodos para determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos, lo que conlleva a evaluar la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas, así como la composición y el estado de los organismos acuáticos para determinar la calidad de un cuerpo de agua (Sierra, 2011).

Los organismos biológicos son importantes para determinar el estado y el manejo de un ecosistema acuático, por lo que la presencia o ausencia de algunas especies que se desarrollan bajo ciertas condiciones físicas o químicas será un indicador de la alteración del estado natural de un cuerpo de agua (Instituto de Biología UNAM, 2011).

Los cuerpos hídricos contienen una diversidad de microorganismos, entre ellos los de origen planctónico (fitoplancton y zooplancton) y bacterias. El fitoplancton es el productor primario y base de la cadena trófica, es el organismo más activo en los ecosistemas acuáticos y tiende a ser de gran influencia en la calidad de agua; estos organismos realizan fotosíntesis, son de tamaño microscópicos y se desarrollan en la zona fótica de las columnas de agua algunos ejemplos: dinoflagelados y euglenoides (Oliva et al., 2014), mientras que las bacterias son las encargadas de descomponer la materia orgánica (Álvarez, 2005).

Los coliformes totales son bacterias Gram negativas de forma bacilar que a temperaturas entre 35°C a 37°C fermentan la lactosa y generan ácido y dióxido de carbono, son oxidasas negativas, y producen actividad enzimática β -galactosidasa, dentro de este grupo están presentes la *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella* (Larrea et al., 2013).

Las bacterias coliformes están presentes en las plantas, suelo y animales. la presencia de este grupo de bacteria en el agua es un indicio de que podría existir contaminación por aguas residuales, por lo general, se encuentran en la superficie de los cuerpos hídricos o en los sedimentos (Ramos et al., 2008). Para determinar la calidad microbiológica de los ecosistemas acuáticos, se utilizan las bacterias indicadoras de contaminación fecal y entre las más utilizadas se encuentran los coliformes totales y termo tolerantes (Larrea et al., 2013).

Ecuador cuenta con un total de 740 unidades hidrográficas, la Cuenca del río Guayas cuenta con 419 unidades hidrográficas en las que está incluida el río Milagro; por lo que se ha determinado que la disponibilidad de agua en Ecuador es de 289480 Hm³ por año, esto equivale 21067 m³ de agua al año agua per cápita (CEPAL, 2012).

La calidad de agua en Ecuador se ve afectada principalmente por aguas residuales sin ningún tratamiento a los cuerpos hídricos, la disposición de los residuos sólidos, los agroquímicos y nutrientes provenientes de la escorrentía de suelos agrícolas, a esto se suma el aumento de la población y las actividades industriales (CEPAL, 2012).

En el río Milagro se evidencia la contaminación debido a la descarga de aguas residuales domésticas sin previo tratamiento y los desechos sólidos que se encuentran alrededor de esta unidad hidrográfica, por lo que es importante realizar un estudio basado en la determinación de la diversidad de especies de fitoplancton, las concentraciones de coliformes totales y de parámetros fisicoquímicos en el río Milagro como determinantes de la calidad de agua.

En el cantón Milagro existe una problemática con el sistema de alcantarillado debido a la falta de tratamiento parcial de las aguas residuales domésticas, estas desembocan al Río Milagro, que contienen una alta concentración de contaminantes de origen biológico. Además, este cuerpo hídrico también es influenciado por la actividad agrícola, por lo que, podría existir un exceso de nutrientes producto de la escorrentía de los productos agrícolas al cuerpo hídrico.

Debido a lo mencionado es importante conocer las concentraciones en cuatro puntos del río, dos de estos en la zona urbana donde se descargan las aguas residuales domésticas y dos en la zona rural donde se realiza actividad agrícola. Los parámetros indicadores de calidad de agua son: el fitoplancton como indicador de la biodiversidad y posible exceso de nutrientes, coliformes totales asociadas a la presencia de materia orgánica y parámetros físicos-químicos. El objetivo de la investigación es determinar la variabilidad en las concentraciones del fitoplancton y coliformes totales como indicadores de la calidad del agua del Río Milagro.

Materiales y métodos

Área de estudio

El cantón San Francisco de Milagro se encuentra ubicado en la provincia del Guayas, limita al norte con los cantones Alfredo Baquerizo Moreno y Simón Bolívar; al sur con los cantones Yaguachi y Marcelino Maridueña; al este con los cantones Simón Bolívar y Naranjito; y al oeste con el cantón Yaguachi (GAD Milagro, 2015). El Río Milagro atraviesa la zona céntrica del cantón y a sus alrededores se asientan actividades comerciales y de servicio.

Se establecieron cuatro estaciones de muestreos (figura 1). La estación 1 se escogió para conocer la calidad del agua antes de ser afectada por actividades antropogénicas. Este punto se encuentra antes de ser alimentado

por el río Anapoyo. La estación 2 y 3 se encuentran ubicados en el centro de la ciudad, donde se evidencia la presencia de tuberías que contienen aguas residuales municipales. La estación 4 se escogió en la desembocadura del río Milagro, cerca del río Yaguachi para conocer la calidad de agua después de ser afectada por actividades antropogénicas.

De acuerdo con el recorrido previo en el área de estudio se pudo observar que Milagro cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual trata las aguas residuales domésticas de la ciudad, sin embargo, en algunos tramos del río se denotó algunas tuberías de alcantarillado que sus aguas descargan directamente al río. La toma de muestras se realizó durante dos salidas de campo, que fueron realizadas en la segunda semana del mes de junio y julio. Las coordenadas de las estaciones de muestreos fueron tomadas con el sistema de posicionamiento global GPSMAP 62s, las mismas que se encuentran detalladas en la Figura 1:

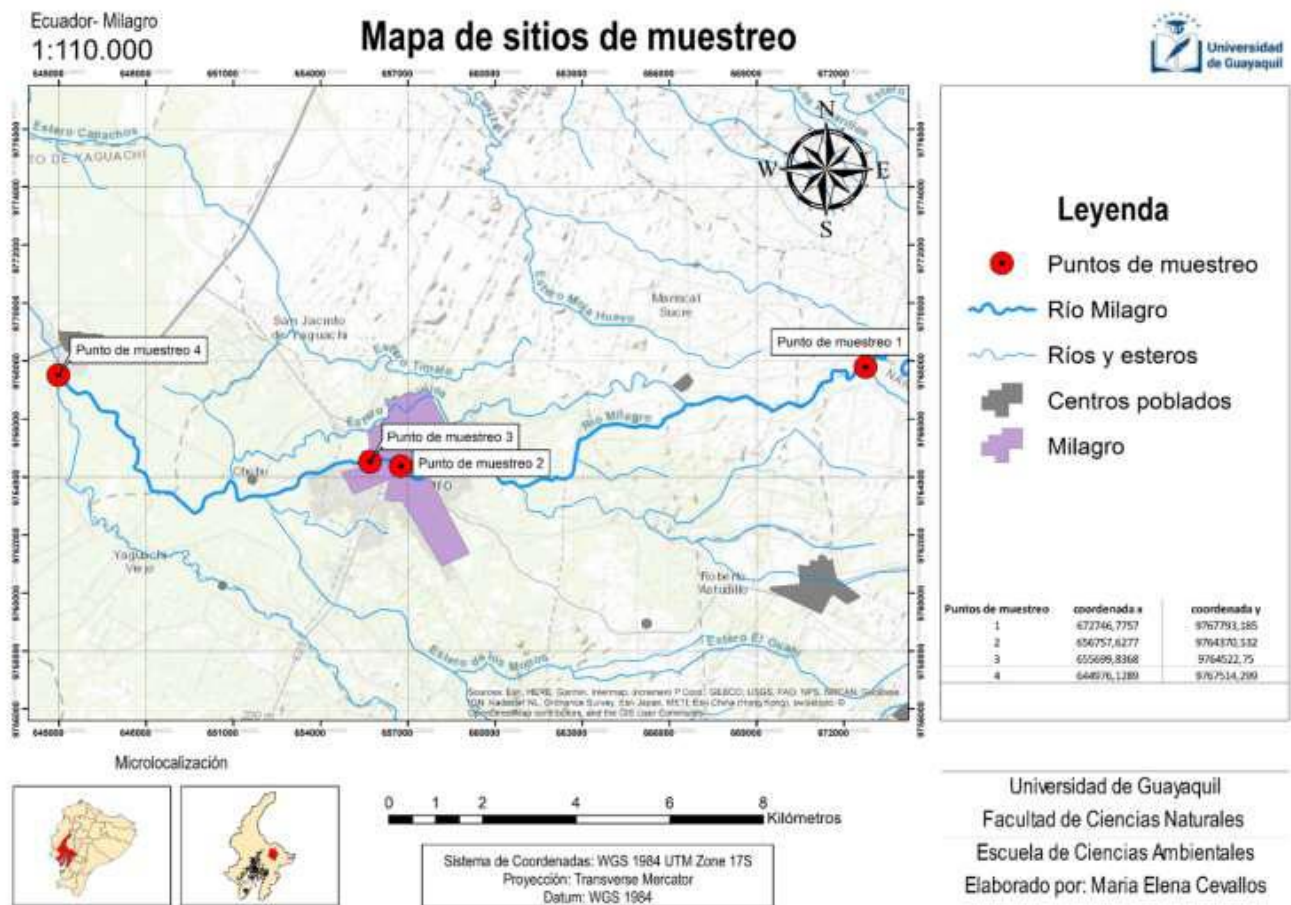


Figura 1. Mapa de ubicación de las estaciones de muestreo. Fuente: elaboración propia.

Análisis cualitativos y cuantitativos realizados

Como parte del análisis cualitativo realizado, para identificar las células de fitoplanctónicas se utilizó un microscopio binocular Laboval 4 usando el objetivo 40x, se tomó una gota de la muestra con una pipeta, se la colocó en el portaobjeto y sobre la gota el cubreobjeto, luego se procedió la identificación según los organismos de fitoplancton por medio de hileras.

En el análisis cuantitativo de fitoplancton se empleó el método de goteo. Se inició realizando el conteo de gotas en 1 ml de la muestra para su posterior uso en la fórmula. Se agregó una gota de la muestra en la porta y sobre la gota el cubreobjeto; se realiza el conteo de las células fitoplanctónicas dividiendo el cubreobjeto en hileras y contando el número de células (García, 2017).

Del mismo modo para el análisis estadístico, los resultados se muestran como promedios y desviación estándar. Con la finalidad de comparar entre las estaciones los diferentes parámetros, se utilizó la prueba de normalidad de Anderson-Darling. Para los parámetros que cumplían con la distribución normal se aplicó una prueba Anova de una vía ($p < 0.05$) y para los no paramétricos la prueba de Kruskal – Wallis. Las gráficas se realizaron con el programa Origin 8.0 y las pruebas estadísticas con el programa Minitab 18. El dendrograma de similitud con el índice de Jaccard se realizó con el programa Past versión 3.20.

Las muestras para el análisis microbiológico fueron recolectadas por triplicado de cada punto en frascos estériles de 250 ml a una profundidad de 30 cm desde la superficie del cuerpo hídrico. Las muestras fueron conservadas a una temperatura de 2 a 8 °C mediante una hielera hasta el momento de su análisis.

Resultados y discusión

Como parte de los análisis cualitativos realizados, se identificaron un total de 7 géneros y 13 especies de fitoplancton, agrupadas según su filum *Cyanobacteria*, *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*. En la tabla 1 se muestra el resultado del análisis de células fitoplanctónicas, a partir de su presencia en las cuatro estaciones durante los meses de junio y julio, clasificadas por filum. En el grupo de las *Cyanobacteria* se identificó 1 género y 1 especie, las *Chlorophyta* 1 género y 1 especie, y *Bacillariophyta* 6 géneros y 10 especies.

Tabla 1. Resultado del análisis cualitativo respecto a la presencia de células fitoplanctónicas en las cuatro estaciones. Fuente: elaboración propia.

Especies	Milagro		Las Piñas		Valdez		Yaguachi	
	Junio	Julio	Junio	Julio	Junio	Julio	Junio	Julio
CYANOBACTERIA								
<i>Oscillatoria sp.</i>			X	X	X		X	
<i>Oscillatoria spiroides</i>					X			
CHLOROPHYTA								

<i>Closterium moniliferum</i>		X						X
<i>Spirogyra sp.</i>		X						
BACILLARIOPHYTA								
<i>Amphipleura pellucida</i>	X	X	X			X		X
<i>Aulacoseira sp.</i>	X							
<i>Pleurosigma rectum</i>	X	X	X					
<i>Diploineis sp.</i>								X
<i>Flagilaria longissima</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Fragilaria sp.</i>					X		X	
<i>Gyrosigma sp.</i>						X	X	X
<i>Navicula phyllepta</i>					X		X	
<i>Navicula sp.</i>	X	X	X					X
<i>Pleurosigma angulatum</i>		X		X	X		X	X
<i>Surirella robusta</i>	X	X		X		X		X
<i>Synedra goulardii</i>					X			
<i>Synedra sp.</i>		X						
<i>Terpsinoë musica</i>		X		X		X		
<i>Thalassiosira subtilis</i>				X		X		
<i>Nitzschia sigma</i>								X

Del análisis realizado para cada filum, se concluye que el más abundante fueron las *Bacillariophyta* en todas las estaciones en los meses de junio y julio. Así mismo, la mayor concentración de células se obtuvo en el mes de julio, en la estación Milagro, la menos abundante en el mes de junio en Yaguachi. En la figura 2 se detalla el porcentaje de la abundancia absoluta de *Cyanophyta* en el río Milagro. Por otro lado, del total de individuos en el grupo de las *Cyanophyta* en el río Milagro la especie *Oscillatoria spiroides* tiene el menor porcentaje de abundancia (figura 3).

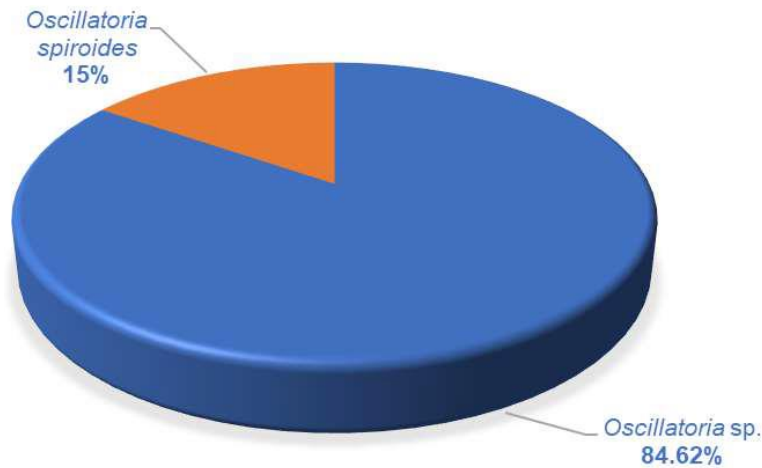


Figura 2. Porcentaje de la abundancia absoluta de *Cyanophyta* en el río Milagro. Fuente: elaboración propia.

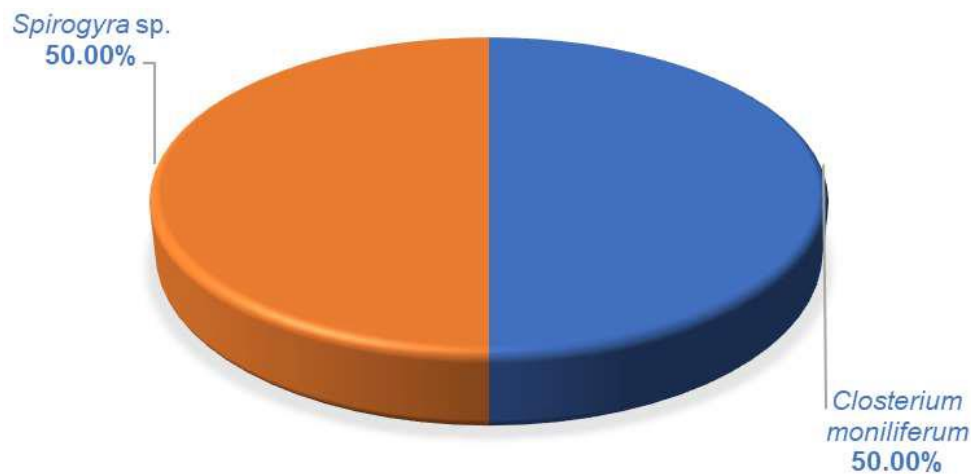


Figura 3. Porcentaje de la abundancia absoluta de *Chlorophyta* en el río Milagro. Fuente: elaboración propia.

Por último, del total de individuos en el grupo de las *Chlorophyta* en el río Milagro las especies *Closterium moniliferum* y *Spirogyra sp.* tienen el mismo número de individuos y su presencia solo se observó en la estación Milagro. Además, el grupo de las *Bacillariophyta* es el más abundante (figura 4), del número total de individuo de este filum, la *Flagilaria longissima* es la que tiene el mayor porcentaje de abundancia y las de menor porcentaje *Aulocoseira sp.*, *Diploineis sp.*, *Synedra goulardii*.

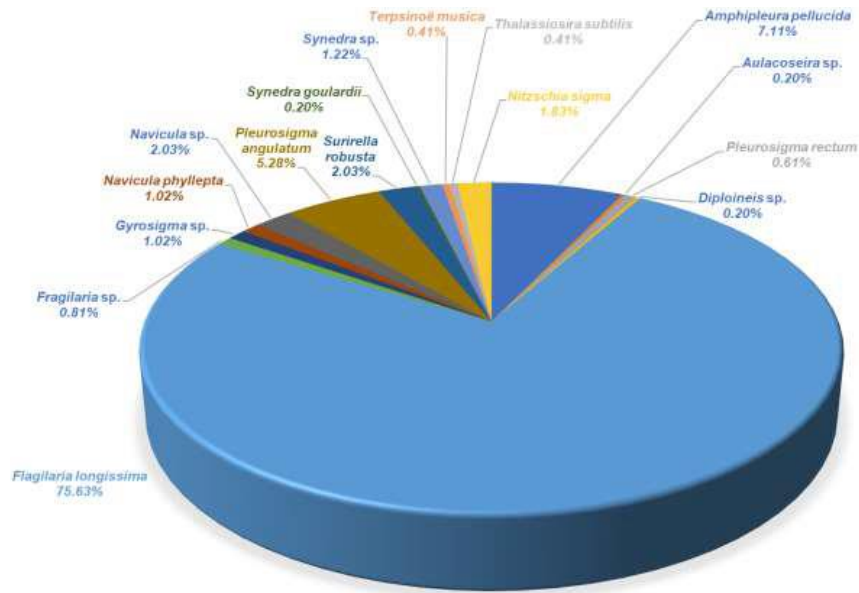


Figura 4. Porcentaje de la abundancia absoluta de Bacillariophyta en el río Milagro. Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, las mayores concentraciones de coliformes totales se observaron en la estación Las Piñas y Valdez (figura 5), en los meses de julio y junio; en las estaciones Milagro y Yaguachi en el mes de junio no se detectó concentraciones de coliformes, sin embargo, en el mes de julio si existió la presencia de coliformes totales. El contenido de coliformes totales en Las Piñas no se evidencio diferencias significativas entre los meses de junio y julio ($F= 0.11$; $p=0.752$), tampoco para Valdez ($F=2.88$; $p=0.165$). En Milagro y Yaguachi si existen diferencias significativas entre los meses de junio y julio ($H=4.35$; $p=0.037$).

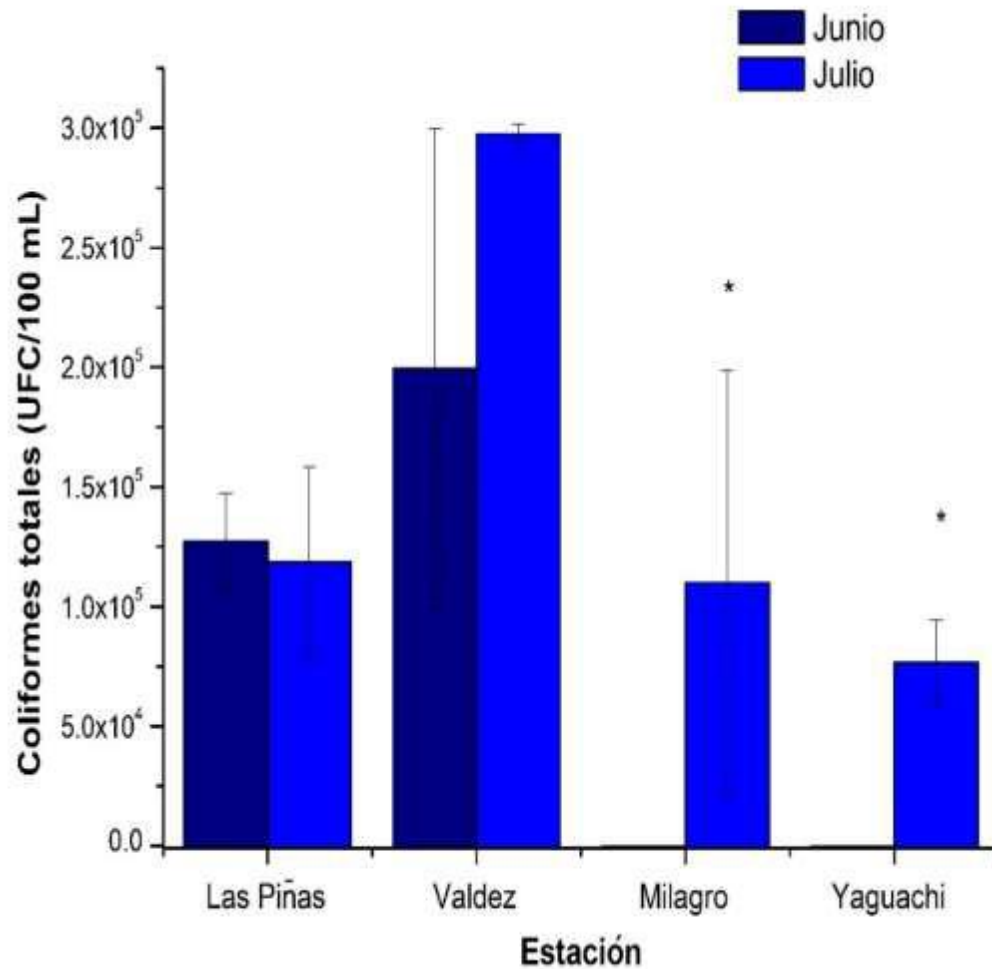


Figura 5. Concentración de coliformes totales en el río Milagro, en los meses de junio y julio. Fuente: elaboración propia.

Con respecto al pH existen diferencias significativas en el mes de junio entre las estaciones presentando un mayor pH las estaciones Las Piñas y Valdez (7.5) y el menor pH en Milagro (7.2) ($H=9.35$; $p=0.025$). En el mes de julio el mayor pH se presentó en Yaguachi (7.6) y el menor en Milagro (7.4) ($H=8.63$; $p=0.034$) (ver tabla 2).

Tabla 2. Resultados del pH. Fuente: elaboración propia.

	Junio		Julio	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Milagro	7.2	0	7.37	0.06
Las Piñas	7.5	0	7.47	0.06

Valdez	7.5	0	7.53	0.06
Yaguachi	7.3	0	7.67	0.12

Además, respecto a la temperatura, en el mes de junio esta varía en Yaguachi 26° C, mientras que en las otras estaciones fue de 25°C, pero las diferencias no son significativas ($H=6.23$; $p= 0.101$), al igual que en el mes de julio donde el rango de temperatura se mantuvo en 23°C – 24°C.

Existe una correlación inversamente proporcional entre la abundancia de fitoplancton y la temperatura ($H= - 0.644$; $p=0.024$) (ver tabla 3).

Tabla 3. Resultados de la temperatura. Fuente: elaboración propia.

	Junio		Julio	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Milagro	25	0	24	0
Las Piñas	25	0	24	0
Valdez	25	0	23	0
Yaguachi	26	0	24	0

Por último, en la turbidez en el mes de junio y julio se observaron diferencias entre las estaciones, siendo menos turbia en Milagro (55 cm y 54 cm) y más turbio en Yaguachi (44 cm y 43 cm) ($H=9.35$; $p=0.025$), respectivamente, al igual que en el mes de julio ($H=10.38$; $p=0.016$). En el mes de julio se presentó una correlación entre la abundancia de fitoplancton y la turbidez ($r= 0.918$; $p= 0.000$) de donde a mayor turbidez mayor concentración de fitoplancton (ver tabla 4).

Tabla 4. Resultados de la transparencia. Fuente: elaboración propia.

	Junio		Julio	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Milagro	55	0	54	0
Las Piñas	50	0	50	0
Valdez	50	0	49	0
Yaguachi	44	0	43	0

Debido a los resultados obtenidos, se propone las siguientes medidas para mejorar la calidad de agua del río Milagro, que posibilite minimizar la contaminación:

- Realizar tratamiento a las aguas residuales municipales, mediante la implementación de una planta de tratamiento que abastezca todas las redes de alcantarillado, eliminando la principal fuente de contaminación.
- Regular las conexiones a las redes de alcantarillado de las viviendas en el área urbana, es decir conectarse al alcantarillado que corresponde a las aguas servidas.

- Identificar otras fuentes de contaminación, como actividades que no estén reguladas y que descarguen sus residuos al río como camales en los que la actividad de faenamiento genera muchos residuos de origen orgánico.
- Implementación de islas flotantes con especies de *Azolla Caroliniana* y *Eichhornia crassipes* que eliminan coliformes totales.
- Realizar análisis microbiológicos semestrales, en la época lluviosa y seca de calidad de agua.

Se evidenció que existe variabilidad temporal en la concentración de coliformes totales y fitoplancton siendo esta mayor en el mes de julio para ambos indicadores en todas las estaciones. También se observó variabilidad espacial, encontrándose mayores concentraciones de coliformes totales en las áreas urbanas, como consecuencia del vertido de aguas residuales sin tratamiento.

También se determinó que no existe correlación entre la abundancia de fitoplancton y la concentración de coliformes totales por lo que cada indicador debe estudiarse individualmente. En este sentido, la mayor biodiversidad de fitoplancton se encontró en la estación Yaguachi y Milagro, mientras que la menor biodiversidad en Las Piñas y Valdez, esto se debe a que las primeras zonas se encuentran en el área urbana donde se refleja las descargas de aguas residuales con altas concentraciones de nitrógeno, fósforo y materia orgánica, que estimulan el crecimiento de las microalgas invasoras. Es por ello, que la mayor concentración de células por metro cúbico en el mes de junio se reflejó en las estaciones Las Piñas y Valdez, sin embargo, son las estaciones con menor diversidad, lo cual quedó demostrado con el análisis de correlación lineal, donde se evidenció que a mayor abundancia menor diversidad.

Aunque las estaciones Las Piñas y Valdez tienen mayor abundancia de células fitoplanctónicas, las estaciones Yaguachi y Milagro poseen mayor biodiversidad, esto es un indicador de que las condiciones ecológicas en el río Milagro son mejores en las zonas rurales. Las concentraciones de células por metro cúbico de fitoplancton fueron mayores en todas las estaciones en el mes de julio en comparación al mes de junio, lo que coincide con el aumento de la turbidez en todas las estaciones. En el mes de julio, las células fitoplanctónicas aumentaron considerablemente, la mayor concentración se reflejó en la estación Milagro, esta estación se encuentra en la zona rural, en la que se presentan cultivos de cacao y banano, lo que conlleva al uso de fertilizantes, que pueden llegar al río por escorrentía o infiltración desde los sistemas de riego, lo que aumenta los nutrientes en el agua y por ende la población algal.

Por otro lado, el orden de predominancia de fitoplancton clasificada por filum en río Milagro fue *Bacillariophyta*, *Cyanophyta* y *Chlorophyta*; este orden contrasta con el encontrado en la cuenca baja del río Lurín por Vélez-Azañero et al. (2016), en el que la presencia y la predominancia en esta área es *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, *Cyanobacteria*, *Euglenophyta* y *Xanthophyta*, sin embargo en ambos cuerpos hídricos encontramos que el filum más abundante es *Bacillariophyta* que según Necchi (2016) es debido a que las diatomeas son frecuentemente dominantes en los ecosistemas acuáticos y participan en los procesos del ciclo del carbono por medio de la actividad fotosintética.

La *Flagilaria cf. longissima* es una de las especies más abundante en todas las estaciones muestreadas con un porcentaje de abundancia de 75.63%, este patrón también en el sistema fluvial de la provincia de Los Ríos, donde Prado et al. (2010) afirma que este organismo representa 92.8 % del total de la densidad fitoplanctónicas, mayor a esta investigación.

La abundancia de esta especie según Prado et al., (2010) en el río Caracol, en las zonas La Playa del Muerto es de 3166.8×10^3 cel/m³ e Higuierilla 3184.0×10^3 cel/m³ en el mes de julio del 2009, por lo que se asocia a esta especie a cuerpos hídricos con exceso de materia orgánica o en proceso de eutrofización, en el río Milagro la abundancia es menor (122.160×10^3 cel/m³). La segunda especie más abundante en el río Milagro es la *Amphipleura pellucida*, Garrido et al. (2012) afirman que esta es una especie que vive en aguas alcalinas, con contenido medio a alto de materia orgánica y contenido bajo a moderado en nutrientes.

Otro género que se encontró en altas concentraciones *Oscillatoria* sp. que según Mur et al. (1999) tiene una tasa de crecimiento vinculada con la disponibilidad de luz, es decir, es inversamente proporcional, lo que se relaciona en la estación Yaguachi en el mes de junio en la que la turbidez es mayor y existe una menor concentración de *Oscillatoria* sp, es decir, en el mes de julio la turbidez es menor y la concentración de la microalga es mayor. Sin embargo, en la estación las Piñas se presentó igual turbidez, pero en el mes de julio la tasa de crecimiento aumentó.

Según Garrido et al. (2012) la *Nitzschia sigma* se desarrolla en la zona bentónica, aguas alcalinas y con un contenido moderado de materia orgánica y un ambiente eutrófico, es decir alto en nutrientes, esto se afirma en la estación Yaguachi, en el mes de julio donde aumentó el contenido de células fitoplanctónicas, los coliformes totales y el pH.

De acuerdo con Crettaz et al. (2014) basándose en la biodiversidad de Shannon – Weaver, los criterios de calidad de agua se clasifican en: regular – pobre (1 – 3; 1- 2) y muy mala (< 1 ; 0 - 1); de acuerdo con esto en las estaciones Milagro y Yaguachi en los meses de junio y julio la calidad de agua es regular – pobre, en la estación Las Piñas en los dos meses es muy mala y en Valdez es regular-pobre y mala.

Por otro lado, en los meses de junio y julio los coliformes totales fueron mayores en las estaciones Las Piñas y Valdez, comprobando la hipótesis de la evidente contaminación bacteriana debido a la presencia de tuberías que descargan aguas residuales domésticas. La estación Valdez tiene mayor concentración en comparación a Las Piñas debido a que existe un mayor número de tuberías de descargas de aguas negras. Los coliformes totales en el mes de junio en las estaciones Las Piñas y Valdez sobrepasan los criterios de calidad en agua para fines recreativos de contacto primario establecidos en el Anexo VI del TULSMA (6366.67 y 9983.33 veces) y en julio en las estaciones Las Piñas, Valdez, Milagro y Yaguachi (5933.33, 14883.33, 5500.00 y 3833.33 veces).

Los coliformes totales en el mes de junio en las estaciones Las Piñas y Valdez (3183.33 y 4991.67 veces) sobrepasan los criterios calidad de agua para fines recreativos de contacto secundario establecidos en el Anexo VI del TULSMA y en julio las estaciones Las Piñas, Valdez, Milagro y Yaguachi (2966.67, 7441.67, 2750.00

y 1916.67 veces). Según Robinson (2015), en el río Quevedo las concentraciones de coliformes totales se encuentran en un rango de 192.500 NMP/ 100mL a 920 NMP/100mL, menores a las del presente trabajo, lo que implica que el río Milagro se encuentra más contaminado.

El pH en los meses de junio y julio fue alcalino, valores que oscilan entre 7.2 –7.67, en el último mes hubo un ligero aumento de pH, en cuanto en la temperatura en el mes de julio disminuyó, es decir, hay una relación inversamente proporcional entre estos parámetros.

Conclusiones

Se determinó que existe variabilidad temporal en la concentración de coliformes totales y fitoplancton siendo esta mayor en el mes de julio para ambos indicadores en todas las estaciones. En general la biodiversidad fue baja en todas las estaciones de muestreo. La mayor biodiversidad se observó en Yaguachi (zona rural) y la de menor biodiversidad en Las Piñas (zona urbana).

La especie con mayor abundancia en todas las estaciones en los meses de junio y julio fue *Flagilaria longissima*, indicadora de eutrofización. Las concentraciones de coliformes totales superan los límites máximos permisibles establecidos en el Anexo VI del TULSMA para aguas de uso recreacional para contacto primario y secundario en el mes de junio en las estaciones Las Piñas y Valdez, mientras que en el mes de julio superan en todas las estaciones.

La determinación de la biodiversidad en el río Milagro clasifica la calidad de agua como regular – pobre y muy mala. Por todo ello, se realizó la propuesta para mejorar la calidad de agua en el Río Milagro, con base en los resultados obtenidos.

Referencias

- Álvarez, S. (2005). La descomposición de materia orgánica en humedales : la importancia del componente microbiano. *Ecosistemas*, 14(2), 17–29. <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Alvarez-2005.pdf>
- Barba, L. (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. Universidad Del Valle, 48. <https://doi.org/http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/conceptos.pdf>
- BID. (2018). *Proceso regional de las Américas foro mundial del agua 2018*.
- Boyd, C. (2008). Water quality. (Springer, Ed.), Technical English for Geosciences (2nd ed. 20). Auburn. <https://doi.org/10.1201/NOE0849396274.ch324>
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111–124. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- CEPAL. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. *Ingeniare Revista chilena de ingeniería* (Vol. 17). Santiago de Chile. <https://doi.org/10.3989/arbor.2000.i653.1000>

- CEPAL. (2012). Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador. Diagnóstico de la información estadística del agua. <https://silo.tips/download/diagnostico-de-las-estadisticas-del-agua-en-ecuador-informe-final>
- CONAGUA. (2016). México 2016 (2016th ed.). http://201.116.60.25/publicaciones/eam_2016.pdf
- Crettaz, M., Juárez, R., Aguer, I., & Borro, E. (2014). Aplicación de índices de calidad de agua en un arroyo pampeano utilizando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. *Biología Acuática*, (30), 93–105.
- GAD Milagro. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón San Francisco de Milagro. <http://sni.gob.ec/planes-de-desarrollo-yordenamiento-territorial>
- García, D. (2017). Análisis semi-cuantitativo mediante el método de goteo de Semina (UNESCO 1978).
- Garrido, J., João, C., & Pérez, A. (2012). Id-Tax. Catálogo y claves de identificación de organismos fitobentónicos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). Madrid. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Instituto de Biología UNAM. (2011). Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). (G. de la L. Espino, S. Hernández Pulido, & J. L. Carbajal Pérez, Eds.).
- Larrea, J., Rojas, M., Romeu, B., Rojas, N., & Heydrich, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 44(3), 24–34. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181229302004>
- Mur, L., Skulberg, O., & Utkilen, H. (1999). Cyanobacteria in the environment. In I. Chorus & J. Bartram (Eds.), *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management* (p. 30). <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.089>
- Necchi, O. (2016). River algae. *River Algae*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-31984-1>
- Oficina Internacional del Trabajo. (2012). Control de la contaminación ambiental. In *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/uguayaquilsp/detail.action?docID=3204445>
- Oliva, M., Godínez, J., & Zúñiga, C. (2014). Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 54–61. <https://doi.org/10.7550/rmb.32706>
- Pérez, A. D. R. R., Pérez, J. F. R., & Zayas, J. C. B. (2020). Prescripción en ancianos multimórbidos y polimedicados de un consultorio, Cienfuegos 2019. *Revista de Información científica para la Dirección en Salud. INFODIR*, (32).
- Prado, M., Bucheli, R., & Calderón, G. (2010). Composición, distribución y abundancia del plancton en sistemas fluviales de la provincia de Los Ríos-Ecuador. *Boletín Científico Y Técnico*, 20(6), 1–52.

- Ramos, L., Vidal, L. A., Vilardy, S., & Saavedra, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 87–98.
- Robinson, R. (2015). Caracterización de la calidad del agua para consumo doméstico del río Quevedo en el cantón Quevedo, provincia de Los Ríos. Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/12122>
- Sierra, C. (2011). Calidad del agua: evaluación y diagnóstico. Disponible en <https://ebookcentral.proquest.com>
- UNEP. (2016). A snapshot of the world's water quality: towards a global assessment. Nairobi. <https://doi.org/978-92-807-3555-0>
- Valencia, L., & Molina, R. (2013). *Gestión del agua: un reto gubernamental*. (M. Porrúa, Ed.) (1st ed.). <https://ebookcentral.proquest.com>
- Vélez-Azañero, A., Lozano, S., & Cáceres-Torres, K. (2016). Diversidad de fitoplancton como indicador de calidad de agua en la cuenca baja del río Lurín, Lima, Perú. *Ecología aplicada*, 15(2), 69-79.