

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA NUEVA TECNOLOGÍA  
BASADA EN BIOPELÍCULAS MICROBIANAS PARA  
DETERMINAR LA CALIDAD DE AGUA DE RÍOS”**

Realizado por:

**MARÍA PATRICIA ÁVILA ANDINO**

Director del proyecto:

**Dr. ALBERTO ALEJANDRO AGUIRRE BRAVO**

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Quito, 11 de marzo de 2022

## **DECLARACIÓN JURAMENTADA**

Yo, MARÍA PATRICIA ÁVILA ANDINO, con cédula de identidad # 1202823850, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA

**MARÍA PATRICIA ÁVILA ANDINO**

1202823850

## **DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

““DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA NUEVA TECNOLOGÍA BASADA EN  
BIOPELÍCULAS MICROBIANAS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE AGUA DE  
RÍOS”

Realizado por:

**MARÍA PATRICIA ÁVILA ANDINO**

Como Requisito para la Obtención del Título de: **MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**  
ha sido dirigido por el Dr.

**ALBERTO ALEJANDRO AGUIRRE BRAVO**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

**DR. ALBERTO ALEJANDRO AGUIRRE BRAVO**

TUTOR

# **LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los Profesores Informantes:

**MSc. Katty Coral**

**MSc. Susana Chamorro**

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador

FIRMA

MSc. Katty Coral

FIRMA

MSc. Susana Chamorro

Quito, 11 de marzo de 2022

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerzas por llegar a obtener uno de los anhelos más deseados.

A mi hija y padres, por su amor y apoyo en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mis hermanos, cuñadas, sobrinos y demás familiares por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mis tíos (Manuel y Carlos Ávila), que aunque ellos no comparten conmigo físicamente sé que están espiritualmente junto a mí.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades del GAD Municipal de la ciudad de Milagro en especial al Ing Francisco Asan (Alcalde) y al Ing Stalin Garaicoa (Analista), por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso del trabajo experimental en el rio Milagro.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Internacional SEK de la ciudad de Quito, a todo mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Dr. Alberto Aguirre Bravo, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

## RESUMEN

El problema de estudio se centra en que actualmente la mayoría de técnicas (análisis fisicoquímicos, microbiológicos o bioindicadores) de monitoreo para evaluar la calidad de agua de ríos son en algunos casos costosas, pueden tomar mucho tiempo para ser realizadas y necesitan de personal entrenado para llevarse a cabo. Por tanto, en este trabajo se planteó diseñar y evaluar una tecnología , barata y eficiente, basada en biopelículas microbianas (biodiscos) para determinar la calidad de agua de ríos. La metodología aplicada se centró en tres etapas, la primera consistió en el diseño y montaje de los biodiscos, donde principalmente se describió el proceso de diseño e instalación de biodiscos en tres sectores analizados del río Milagro, posteriormente se realizó un análisis de componentes principales para determinar el grado de asociación entre el crecimiento de biopelículas con variables asociadas a contaminación , y por último se determinó la factibilidad del uso de biodiscos para evaluar la calidad de agua de ríos, a través de las asociaciones encontradas previamente. Los resultados obtenidos demuestran que los biodiscos son adecuados para determinar la calidad del agua de ríos, porque en el análisis de componentes principales se observó una relación entre algunas variables (DQO, DBO5, tensioactivos) asociadas a contaminación de agua y el crecimiento de biopelículas sobre los discos.

**Palabras Claves:** Contaminación de agua, ríos, biodiscos, biopelícula

## **ABSTRACT**

The study problem is centered on the fact that currently most monitoring techniques (physicochemical analysis or bioindicators) to evaluate river water quality are in some cases expensive, can take a long time to be performed and require trained personnel to determine the water quality of a river. Therefore, in this work we set out to design and evaluate an inexpensive and efficient technology, based on microbial biofilms, to determine river water quality. The overall objective of this work was to determine the ability of a biodisc-based technology to assess river water quality. The methodology applied focused on three stages, the first one consisted of the design and assembly of the biodiscs, where the installation process in the three analyzed sectors of the Milagro river was described, Next, an analysis of the association between biofilm growth and variables associated with contamination was carried out, and finally, the feasibility of using biodiscs to evaluate river water quality was determined through the associations found in the biofilm growth in the biodiscs and some variables such as BOD5, COD, sulfates, and fecal coliforms. The results obtained show that the use of biodiscs is adequate to determine water quality, because in the principal component analysis a relationship was observed between some variables (COD, BOD5, surfactants) associated with water contamination and the growth of biofilms on the discs.

**Key words:** Water pollution, rivers, biodiscs, biofilm, biofilm

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN JURAMENTADA.....	2
DECLARATORIA.....	3
LOS PROFESORES INFORMANTES .....	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO .....	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT .....	8
1. INTRODUCCIÓN .....	12
2. HIPÓTESIS.....	13
3. OBJETIVOS.....	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos .....	13
METODOLOGÍA.....	14
ETAPA 1: Diseño y montaje de tecnología basada en biopelícula microbiana .....	14
1.1. Diseño de los biodiscos.....	14
1.2. Montaje de los biodiscos en el río.....	14
ETAPA 2: Análisis de la asociación entre el crecimiento de biopelículas y variables asociadas a contaminación en ríos .....	17
2.1. Caracterización del agua del río Milagro .....	17
2.2. Determinación del crecimiento de la biopelícula microbiana.....	18
2.3. Análisis de componentes principales .....	19
ETAPA 3: Determinación de la factibilidad del uso de biodiscos para evaluar la calidad de agua de ríos .....	19
RESULTADOS .....	20
ETAPA 1: Diseño y montaje de tecnología basada en biodiscos .....	20

ETAPA 2: Análisis de la asociación entre el crecimiento de biopelículas y variables asociadas a contaminación en ríos .....	20
2.1. Caracterización del agua del río Milagro .....	20
ETAPA 3: Determinación de la factibilidad del uso de biodiscos para evaluar la calidad de agua de ríos .....	24
DISCUSIÓN .....	24
CONCLUSIONES.....	26
RECOMENDACIONES .....	27
Bibliografía.....	28
ANEXOS .....	30

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Materiales usados en la fabricación de los biodiscos .....	14
<b>Tabla 2</b> Límites máximos permisibles de parámetros fisicoquímicos para evaluar la calidad de agua para consumo humano, riego y conservación de fauna acuática, de acuerdo con la normas de calidad de agua de la Secretaria de Estado de Medio Ambiente y recursos naturales.....	20
<b>Tabla 3</b> Parámetros analizados e índice de calidad de agua determinado para los 3 sitios de muestreo en el río Milagro.....	21
<b>Tabla 4</b> Cálculo de superficie biopelícula.....	33
<b>Tabla 5</b> Volumen de biopelícula Estero las Damas .....	33
<b>Tabla 6</b> Cálculo de la superficie biopelícula.....	33
<b>Tabla 7</b> Volumen de biopelícula Entrada a la Agraria.....	33
<b>Tabla 8</b> Cálculo de la superficie biopelícula.....	33
<b>Tabla 9</b> Volumen de biopelícula del Camal .....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Mapa del río Milagro .....	14
<b>Figura 2</b> Instalación del biodisco en el Estero las Damas .....	15
<b>Figura 3</b> Implantación del biodisco en el sector del Camal.....	16
<b>Figura 4</b> Implantación de biodisco en el Sector la Agraria .....	16
<b>Figura 5</b> Imagen para determinar los pixeles y sacar la superficie de la biopelícula .....	18
<b>Figura 6</b> Unidades del eje Y .....	22
<b>Figura 7</b> Análisis de componentes principales .....	23

## **1. INTRODUCCIÓN**

El desarrollo del trabajo se centró en el diseño y evaluación de una nueva tecnología basada en películas microbianas para determinar la calidad de agua de ríos. En la actualidad no existen muchas técnicas para realizar un monitoreo constante de la calidad de agua de río, sobre todo técnicas baratas y rápidas que indiquen como se encuentra la calidad de agua de un río. Una alternativa para evitar estos problemas es el uso de bioindicadores para evaluar la calidad de agua de ríos, dentro de estos bioindicadores se encuentran el uso de biopelículas.

En la actualidad en el cantón Milagro no se ha realizado un estudio de las biopelículas microbianas que se hayan usado como bioindicadores de calidad de agua y de acuerdo con la revisión bibliográfica no se ha encontrado reportes o estudios similares. Cabe mencionar que esta clase de estudios requiere del uso de equipos simples y relativamente económicos como los biodiscos.

El tema de la contaminación de las aguas es un tema de trascendencia por los efectos que generan al ambiente, donde se han empleado el uso de bioindicadores y medición de varios parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para estimar la calidad de agua de un río. Estos análisis muchas veces son costosos y llevan tiempo realizarlos; sin embargo, la tecnología basada en biodiscos aplicada en el presente trabajo es barata y cualquier persona lo puede realizar.

Esta tecnología es apropiada puesto que se puede monitorear el crecimiento de las biopelículas microbianas en biodiscos y asociarlas con algunas variables tales como DBO<sub>5</sub>, DQO, sulfatos, coliformes fecales, entre otros para determinar la calidad de agua de una río.

## **2. HIPÓTESIS**

Una tecnología basada en biopelículas microbianas permite evaluar la calidad de agua de ríos.

## **3. OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Determinar la capacidad de una tecnología basada en biopelículas microbianas para evaluar la calidad de agua de ríos.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Diseñar una tecnología basada en biopelículas microbianas (biodiscos) que permita evaluar la calidad de un agua de río
- ✓ Analizar la asociación del crecimiento de biopelículas en el biodisco con variables relacionadas a contaminación de aguas de río (DBO5, DQO), a fin de poder asegurar que el crecimiento de biopelículas se relaciona con dichas variables asociadas a contaminación de aguas.
- ✓ Determinar si la tecnología en base a biopelículas microbianas desarrollada en este trabajo es apta para evaluar la calidad de agua de ríos.

## METODOLOGÍA

### ETAPA 1: Diseño y montaje de tecnología basada en biopelículas microbianas

#### 1.1. Diseño de los biodiscos

El trabajo de investigación se centró en el diseño y evaluación de una nueva tecnología basada en biodiscos aplicada en el río Milagro, en donde se ubicaron biodiscos. Los biodiscos tuvieron un diámetro de 3.5 cm.

El material empleado en la elaboración de los biodiscos se describe en la tabla 1.

**Tabla 1.** Materiales usados en la fabricación de los biodiscos

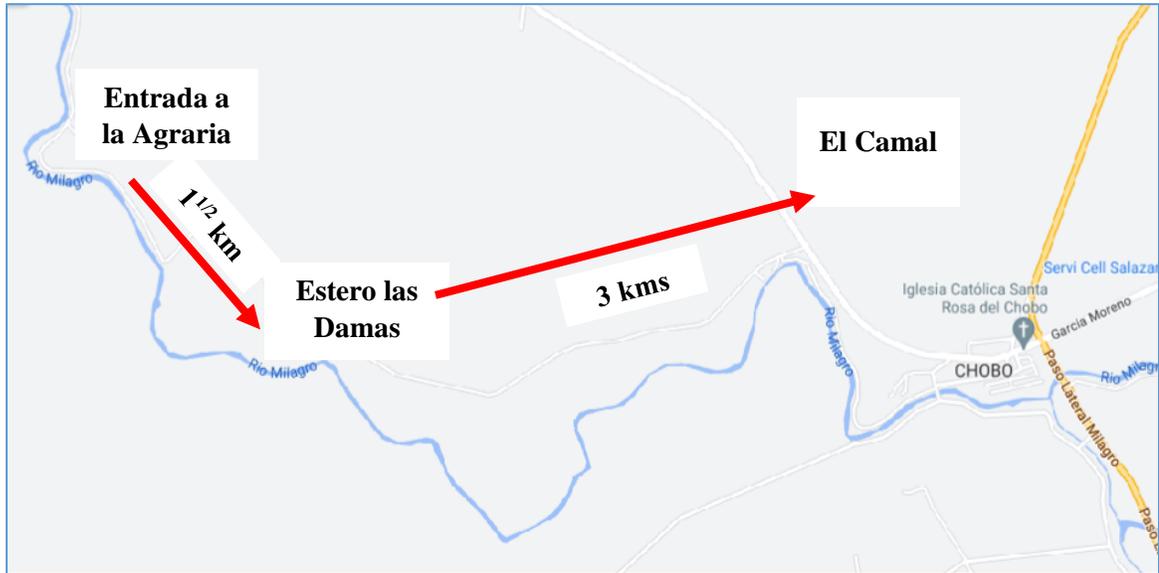
Detalle	Cant.
<b>Recursos materiales:</b>	
Trozos de madera (utilizada para la construcción de los tres biodiscos)	27
Franela (color rojo)	1
Esponjas	3

Elaborado por: La Autora

#### 1.2. Montaje de los biodiscos en el río

Dentro del proceso de montaje de los biodiscos se usó al río Milagro como caso de estudio para evaluar la capacidad de los biodiscos y así determinar la calidad de agua de río, seleccionando tres lugares estratégicos como fueron el Estero las Damas, Entrada a la Agraria y el Camal. Para obtener resultados favorables se instaló 1 biodisco por cada sector y fueron ubicados en las orillas del río (Ver Figura 1).

Figura 1 Mapa del río Milagro



Fuente: (Mapa google, 2022)

Los biodiscos instalados estuvieron en contacto con el agua a través de una tela color roja sumergida en el río conectándose con el centro del disco. Cabe mencionar que mediante la franela ingresa el agua al biodisco y de esta manera poco a poco se fue formando la biopelícula sobre el disco (Ver Figura 2,3,4).

**Figura 2** Instalación del biodisco en el Estero las Damas



**Figura 3.** Instalación del biodisco en el sector del Camal



**Figura 4.** Instalación del biodisco en el Sector la Agraria



Los biodiscos fueron monitoreados por 30 días, en el transcurso de todo ese tiempo se formó biopelícula microbiana sobre los discos.

## **ETAPA 2: Análisis de la asociación entre el crecimiento de biopelículas y variables asociadas a contaminación en ríos**

### **2.1. Caracterización del agua del río Milagro**

Con el objetivo de determinar la calidad del agua de río donde estuvieron instalados los biodiscos se realizó una caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de los 3 sectores del río a los 30 días de la instalación de los biodiscos. Dicha caracterización sirvió para calcular índices de calidad de los 3 sectores del río Milagro.

Las muestras de agua de la sección del río en donde estaban instalados los biodiscos fueron llevadas al laboratorio ELICROM Cía.Ltda. Para el cálculo del Índice de Calidad de agua se utilizó la ecuación establecida por (Coral Carrillo, 2021):

$$IC = \left( \frac{\frac{Ca}{Cma} + \frac{Cb}{Cmb} + \dots \dots \dots \frac{Cn}{Cm_n}}{n} \right)$$

**IC** = índice de calidad del agua

**Ca** = concentración existente del contaminante a

**Cb** = concentración existente del contaminante b

**Cma** = concentración máxima admitida del contaminante a

**Cmb** = concentración máxima admitida del contaminante b

**Cmb** = concentración máxima admitida del contaminante b

**n** = número de contaminantes considerados

Para la interpretación del valor del índice de calidad de agua se estableció una escala de valoración del índice de calidad de agua, donde <1 representa condiciones óptimas, >1 calidad de agua mala, =1 calidad de agua regular.

## 2.2. Determinación del crecimiento de la biopelícula microbiana

La estimación del crecimiento de la biopelícula se determinó usando la superficie y el espesor de la biopelícula formada en cada uno de los biodiscos instalados en los sectores analizados (Ver figura 5)

**Figura 5.** Imagen para determinar los pixeles y sacar la superficie de la biopelícula



Elaboración propia

### Volumen biopelícula

$$\text{Volumen biopelícula} = \text{Superficie de biopelícula} * \text{Espesor biopelícula}$$

### **2.3. Análisis de componentes principales**

Para determinar si los biodiscos pueden ser utilizados para evaluar la calidad de agua de ríos se intentó encontrar relaciones entre el crecimiento de la biopelícula en los biodiscos con variables asociadas a contaminación de agua de río a través de un análisis de componentes principales. Para realizar el análisis de componentes principales se utilizó la información del crecimiento de la biopelícula microbiana en los discos y valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Milagro (en los 3 sitios estudiados) asociados a contaminación de agua de río (DBO5, DQO, sulfatos, coliformes fecales).

#### **ETAPA 3: Determinación de la factibilidad del uso de biodiscos para evaluar la calidad de agua de ríos**

De acuerdo con los resultados obtenidos, en base a las asociaciones encontradas entre el crecimiento de la biopelícula en los biodiscos y algunas variables asociadas (DBO5, DQO, sulfatos, coliformes fecales) a contaminación de agua de río se evaluó la factibilidad de poder usar los biodiscos como medio de evaluación y/o monitoreo del agua de ríos.

## RESULTADOS

### ETAPA 1: Diseño y montaje de tecnología basada en biodiscos

En el proceso de diseño de los biodiscos no se tuvo ningún tipo de inconveniente puesto que los materiales se pudieron adquirir sin novedades. En cuanto a la instalación de los biodiscos en los sectores analizados (Estero las Damas, Entrada a la Agraria y el Camal).

### ETAPA 2: Análisis de la asociación entre el crecimiento de biopelículas y variables asociadas a contaminación en ríos

#### 2.1. Caracterización del agua del río Milagro

Para caracterizar el agua del río Milagro se consideraron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados en los tres sectores mencionados (Estero las Damas, Entrada a la Agraria y el Camal). A continuación se presenta una tabla en la cual se identificaron los límites máximos permisibles que deben tener las aguas de un río de acuerdo con los parámetros antes mencionados (Ver Tabla 2).

**Tabla 2** Límites máximos permisibles de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para evaluar la calidad de agua para consumo humano, riego y conservación de fauna acuática, de acuerdo con Tulsman Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes : recurso agua

	DQO	DBO5	Sulfatos	Coliformes Fecales
<b>Unidad de concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.</b>	mg/l	mg/l	mg/l	nmp/100 ml
<b>Límite máximo permisible para preservar fauna</b>	40	20	400	600
<b>Límite máximo permisible para agua de riego</b>	500	250	400	1000
<b>Límite máximo permisible para agua de consumo humano</b>	500	2	250	2000

Fuente: (Tulsman Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes : recurso agua, 2018)

Usando los valores de los parámetros fisicoquímicos determinados en los 3 sectores del río y los valores de límites máximos permisibles indicados anteriormente, se procedió a determinar el índice de calidad de agua para los 3 sectores del río Milagro. En la tabla 3 se

indican los valores del índice de calidad de agua para los 3 sectores analizados del río Milagro, donde se aprecia que los 3 sectores del río presentan mala calidad de agua; sin embargo, el sector del Estero Las Damas fue el sitio que presentó el mayor grado de contaminación (mayor valor de índice de calidad de agua).

**Tabla 3.** Parámetros analizados e índice de calidad de agua determinado para los 3 sitios de muestreo en el río Milagro

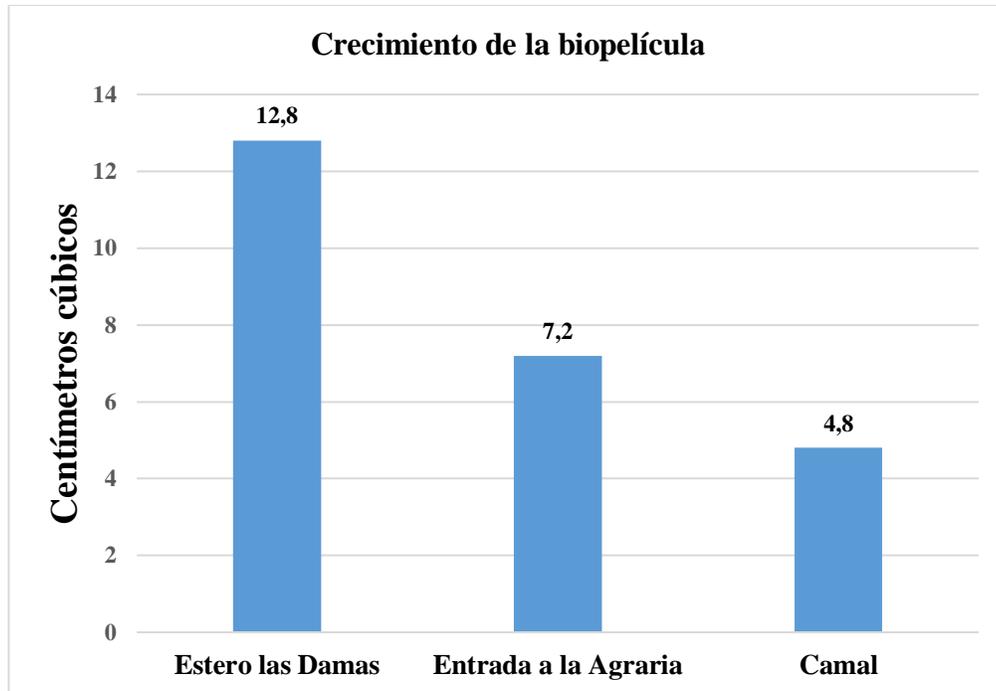
	DQO mg/l	DBO5 mg/l	Sulfatos mg/l	Coliformes Fecales nmp/100 ml	Índice de calidad de agua usando límites máximos permisibles para preservar fauna	Índice de calidad de agua- límites máximos permisibles- agua de riego	Índice de calidad de agua- límites máximos permisibles- agua de consumo de humano	Interpretación del índice de calidad de agua para preservar fauna, riego y consumo humano
<b>Sitio 1 Estero las Damas</b>	68	10,08	9	28000	9,779	28,199	19,212	Agua mala
<b>Sitio 2 Río Milagro - Entrada a la Agraria</b>	31	4,02	20	8200	2,939	8,328	6,252	Agua mala
<b>Sitio 3 Río Milagro - Después del Camal</b>	28	3,36	20	17000	5,850	17,119	10,316	Agua mala

Elaboración propia

## 2.2. Determinación del crecimiento de la biopelícula

De acuerdo con los sectores analizados, en cuanto a la biopelícula microbiana se observó un crecimiento mayor en el sector del Estero las Damas con un volumen de 12.8 cm<sup>3</sup> que es casi el doble de los otros dos sectores (Entrada a la Agraria y el Camal). (Ver figura 6)

**Figura 6** Crecimiento de la biopelícula microbiana en los tres sectores analizados



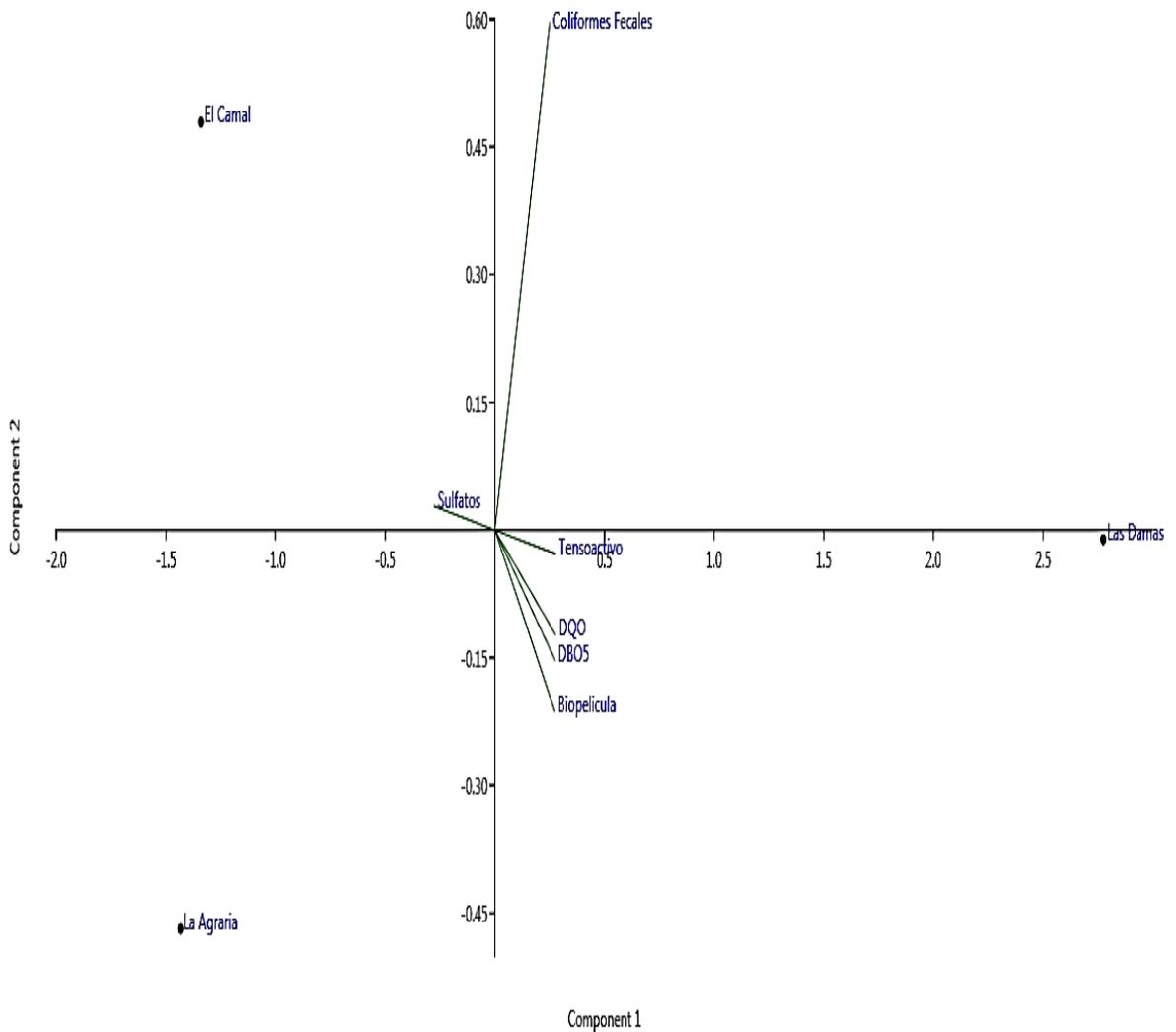
Elaboración propia

### 2.3. Análisis de componentes principales

Dentro del análisis de los componentes principales se observó una relación bastante estrecha entre el crecimiento de la biopelícula y otras variables que están asociadas a contaminación ambiental, tales como DQO, DBO5, y en cierto grado con la concentración de tensoactivos. En el análisis de componentes principales también se aprecia claramente que el crecimiento de la biopelícula está asociado principalmente a sitios más contaminados del río, esto es evidente en la Figura 7, donde se ve que el Estero Las Damas (el sitio más contaminado) está más relacionado con el crecimiento de biopelícula que otros sitios del río.

Esta relación que se ha identificado entre el crecimiento de la biomasa y estas variables asociadas a contaminación ambiental es muy importante porque indica que se puede usar esta estimación del crecimiento de la biopelícula para determinar que el agua de un río se encuentra contaminada o no, es decir, que el encontrar un volumen alto de biopelícula en el disco representaría que el agua de río tiene cierto grado de contaminación, mientras que si se encuentra un volumen bajo de biopelícula esto representaría que el agua de río es un agua poco o nada contaminada. (Ver figura 7)

**Figura 7 Análisis de componentes principales**



### **ETAPA 3: Determinación de la factibilidad del uso de biodiscos para evaluar la calidad de agua de ríos**

Los resultados obtenidos de las asociaciones encontradas entre el crecimiento de la biopelícula y algunas variables asociadas a contaminación de agua en los tres sectores del río Milagro demuestran que sí es posible evaluar la calidad del agua de un río a través del monitoreo del crecimiento de la biopelícula en los biodiscos.

### **DISCUSIÓN**

La evaluación de la calidad de agua de un río se la puede realizar a través del monitoreo del crecimiento de la biopelícula microbiana creciendo sobre biodiscos, de esta manera se podrá saber con mayor precisión el grado de contaminación de un río, es decir, a mayor contaminación del río habrá mayor crecimiento de la biopelícula. El uso de los biodiscos resulta adecuado para determinar la calidad del agua, porque en el análisis de los componentes principales se observa que existe una relación entre las variables asociadas a contaminación de agua (DQO, DBO5 y tensioactivos) con el crecimiento de la biopelícula.

Es importante realizar mejoras en el monitoreo los biodiscos, y así evitar que el nivel de crecimiento de las aguas afecte el desempeño de los biodiscos, como por ejemplo el colocar cámaras de teledetección para determinar con mayor precisión y periodicidad la evolución del crecimiento de las biopelículas microbianas en los biodiscos. Además de ello, los biodiscos deben estar flotando sobre el río, de esa forma se podría evitar que sean afectados por la crecida del río.

Dentro del monitoreo se debe ir midiendo el volumen de la biopelícula (en el caso de que se realice de forma mensual), e ir identificando de acuerdo con el volumen de la biopelícula a qué nivel de calidad de agua corresponde, es decir, se debería realizar una calibración del sistema, en donde se toma agua de distintas procedencias, es decir, limpia, sucia y mala, para

conocer los distintos volúmenes de biopelícula que se obtiene sobre los discos en cada tipo de agua; esta escala de calibración luego podrá ser aplicada dentro del monitoreo real de la calidad de agua de un río y así medir la calidad de agua de un río de una forma más precisa.

En el caso que se requiera realizar un monitoreo trimestral, semestral o anual es necesario que se diseñe un biodisco de mayor diámetro (al usado en este estudio) para que las biopelículas crezcan más, porque de no hacerlo las biopelículas crecerían mucho y no se podrá realizar un monitorio a largo plazo.

## CONCLUSIONES

- Se pudo diseñar y montar biodiscos en tres sectores del río Milagro, lo cual permitió analizar a posteriori la factibilidad del uso de esta tecnología para evaluar y/o monitorear la calidad de agua de ríos.
- A través del análisis de componentes principales se encontró una relación entre el crecimiento de la biopelícula microbiana y los parámetros fisicoquímicos DBO<sub>5</sub>, DQO y tensioactivos, así como entre el crecimiento de la biopelícula y sitios con alta contaminación del río Milagro (Las Damas), todo esto confirma que el crecimiento de la biopelícula puede ser usado como un indicador de la calidad de agua de un río, donde mayores volúmenes de biopelícula se asocian con aguas de río muy contaminadas, mientras que menores volúmenes de biopelícula se asocian con aguas de río con poca contaminación.
- La tecnología de biodiscos implementada en este trabajo puede ser utilizada para evaluar y/o monitorear la calidad de agua de ríos.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar un monitoreo más periódico de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de río, y del crecimiento de las biopelículas en los biodiscos, de tal forma de evaluar con mayor precisión la factibilidad de usar biodiscos para la evaluación de la calidad de agua de ríos.
- Efectuar una comparación de resultados obtenidos en biodiscos en otros ríos del país que se encuentran contaminados para confirmar los resultados que se obtienen con los obtenidos del río Milagro, para tener un mejor comprensión del uso de biopelículas microbianas como indicadores de calidad de agua de río.
- Se recomienda utilizar materiales de mayor durabilidad, resistentes y antioxidantes, que permitan una mejor transferencia de contaminantes desde el agua al biodisco.

## BIBLIOGRAFÍA

- Baque, L. (2020). *Estudio de calidad de agua mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos en el río buenos aires, jipijapa*. Manabí. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2768/1/BAQUE%20SOLEDISPA%20LILIBETH%20PAOLA.pdf>
- Barceló, & López. (2019). *Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes*. Obtenido de [https://fnca.eu/phocadownload/P.CIENTIFICO/inf\\_contaminacion.pdf](https://fnca.eu/phocadownload/P.CIENTIFICO/inf_contaminacion.pdf)
- Carrasco, Caballero, Cabrera, & Lema. (2020). *Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en sitios de interés turístico de la provincia de Pastaza, Amazonía Ecuatoriana*. Ecuador. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/2021/4028>
- Castellón, J. J., Bernal, R., & Hernández, M. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Universidad Autónoma de Yucatán*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46750924004.pdf>
- Correa, & Mocha. (2021). *Tratamiento de aguas residuales mediante biodiscos en la planta de beneficio Reina del Cisne el Parche-Portovelo*. Cuenca-Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20119/1/UPS-CT009044.pdf>
- Fernández. (2019). Características de las aguas residuales. Obtenido de <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/29/29021/propiedadesfisicasyquimicas.ppt>
- Ferratori. (2019). *La calidad del agua*. Obtenido de [https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3\\_part2.\\_Libro\\_blanco\\_del\\_agua.pdf](https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3_part2._Libro_blanco_del_agua.pdf)
- Forero, G. (2015). *Caracterización físico-química y microbiológica del agua del río Soacha, Cundinamarca, Colombia*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5628810.pdf>

- Jacobo, F. d. (2018). Aguas residuales urbanas y sus efectos en la comunidad de Paso Blanco, municipio de Jesús María, Aguascalientes. *Revista de El Colegio de San Luis*, 8(16). Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-899X2018000200267](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-899X2018000200267)
- Marín, J. C., Chinga, C. A., & Velásquez, A. I. (2015). *Tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de pescado en reactores anaeróbicos discontinuos*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/911/91139263003.pdf>
- Mass, K. R., & Medrano, Y. (2018). *Tratamiento de aguas residuales a partir de digestión anaerobia*. San Buenaventura Cartagena. Obtenido de [http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/2362/1/Tratamiento%20de%20aguas%20residuales\\_Karen%20Mass%20Manga\\_USBCTG\\_2014.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/2362/1/Tratamiento%20de%20aguas%20residuales_Karen%20Mass%20Manga_USBCTG_2014.pdf)
- Mendoza, E., Boza, J., & Escobar, H. (2019). *Educación ambiental y la práctica de valores de los estudiantes universitarios*. Quevedo. Obtenido de <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Cognosis/article/view/1837/2033>
- Menéndez, & Dueñas. (2020). *Criterios de diseño y escalado de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales*. La Habana. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382020000200064](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382020000200064)
- Morote, Á. F., & Hernández, M. (2017). EL Uso de aguas pluviales en la ciudad de alicante. de viejas ideas a nuevos enfoques. *Murcia, España*, 7-25. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/407/40754638001.pdf>
- Peña, S., Mayorga, J., & Montoya, R. (2018). *Propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Yaguachi (Ecuador)*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5075/507557606007/507557606007.pdf>
- Ríos, S., Agudelo, R., & Gutiérrez, L. (2017). *Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf>

# ANEXOS

## Anexo 1: Tabla con resultados de laboratorio

### ORDEN DE TRABAJO OT-M-1975-21

## 1 INTRODUCCION

Se solicitó realizar el servicio de mediciones para el proyecto: "Diseño de tecnología para monitorear la calidad de agua del río milagro en el cantón san francisco de Milagro provincia del Guayas" con los equipos detallados en el numeral 3 de este documento, paralo que ELICROM Cía.Ltda., presentó una propuesta técnica económica C-KB-0838-21, la cual fue aprobada generando la orden de trabajo No OT-M-1975-21.

La ejecución de esta orden de trabajo fue coordinada por la Ing. Tatiana Game, Coordinadora Técnica del Laboratorio de Medio Ambiente de ELICROM, quien asignó a Mario Rodríguez - Analista Laboratorio Aguas quien lideró todas las operaciones de coordinación, preparación, muestreo y análisis.

Las mediciones fueron llevadas a cabo el 1 de noviembre al 1 de diciembre del 2021, con el respectivo apoyo y supervisiónde Ing. María Patricia Ávila Andino.

### 1. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

<u>Parámetro</u>	<u>Documento de Referencia</u>
ACEITES Y GRASAS	SM 5520 G, HACH 10300, PEE.EL.039.
COLIFORMES FECALES	SM 9221 B, SM 9221 E SM 9221 E, PEE.EL.096.
COLIFORMES TOTALES	SM 9221 B, SM 9221 E, PEE.EL.097.
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	SM 5210B, PEE.EL.030.
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	SM 5220 D, HACH 8000, PEE.EL.026.
PH	SM 4500 H+ B, NTE INEN 2325, PEE.EL.021.
SULFATOS	SM 4500 Sulfato, HACH 8051, PEE.EL.038.
TENSOACTIVOS	SM 5540 C, HACH 8028, PEE.EL.050.

### 2. EQUIPOS UTILIZADOS

<u>CODIGO</u>	<u>NOMBRE</u>	<u>MARCA</u>	<u>MODELO</u>	<u>SERIE</u>	<u>FECHA CADUCIDAD</u>	<u>Nº CERTIFICADO</u>
EL.EM.047	ESPECTROFOTOMETRO	HACH	DR 5000	1442632	2022-05-04	CC-1275-002-21
EL.EM.072	SONDA DE PH	HACH	PHC101	13330256804 3	2022-06-29	CC-2416-053-21
EL.EM.145	ESPECTROFOTOMETRO	HACH	DR6000	1646668	2022-05-04	CC-1275-001-21
EL.ET.006	INCUBADORA	POL-EKO	ST4	S04BF120967	2022-01-11	CC-0040-004-21
EL.ET.023	BALANZA ANALITICA	SARTORIUS	ED224S	28910964	2022-01-08	CC-0040-001-21
EL.ET.068	ESTUFA	POL-EKO	SLN 115 ECO	SN1EF121210	2021-12-17	CC-4401-011-20
EL.ET.185	INCUBADORA	POL-EKO APARATURA	CLN 32 STD	CN32SF1709 98	2022-01-20	CC-0040-020-21

#### 4. TABLA DE RESULTADOS

Los resultados a continuación son comparados directamente con el límite superior o inferior de acuerdo con la norma aplicada, a diferencia de la conformidad que se detalla en los informes que se basa en la declaración de la regla de decisión aplicada por el cliente o por parte de Elicrom.

Locación/ puesto / muestra	Parámetro	Resultado	Unidad	Referencia	Evaluación
Disco	COLIFORMES TOTALES	1.60 E+05	NMP/g		
Estero Las Damas	ACEITES Y GRASAS	< 6.5	mg/L	menor o igual a 0.3	NO CUMPLE
	PH	7.29	U pH	mayor o igual a 6.5 y menor o igual a 9	CUMPLE
	TENSOACTIVO S	0.032	mg/L	menor o igual a 0.5	CUMPLE
	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	10.08	mg/L	menor o igual a 20	CUMPLE
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	68	mg/L	menor o igual a 40	NO CUMPLE
	SULFATOS	29	mg/L		
	COLIFORMES TOTALES	7.30 E +04	NMP/100 mL		
	COLIFORMES FECALES	2.80 E+04	NMP/100 mL		
Río Milagro - Entrada a la Agraria	ACEITES Y GRASAS	< 6.5	mg/L	menor o igual a 0.3	NO CUMPLE
	PH	7.51	U pH	mayor o igual a 6.5 y menor o igual a 9	CUMPLE
	TENSOACTIVO S	< 0.009	mg/L	menor o igual a 0.5	CUMPLE
	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	4.02	mg/L	menor o igual a 20	CUMPLE
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	31	mg/L	menor o igual a 40	CUMPLE

Locación/ puesto / muestra	Parámetro	Resultado	Unidad	Referencia	Evaluación
	SULFATOS	20.0	mg/L		
	COLIFORMES TOTALES	9.40 E+03	NMP/100 mL		
	COLIFORMES FECALES	8.20 E+03	NMP/100 mL		
Río Milagro - Después del Camal	ACEITES Y GRASAS	< 6.5	mg/L	menor o igual a 0.3	NO CUMPLE
	PH	7.43	U pH	mayor o igual a	CUMPLE
				6.5 y menor o igual a 9	
	TENSOACTIVO S	< 0.009	mg/L	menor o igual a 0.5	CUMPLE
	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	3.36	mg/L	menor o igual a 20	CUMPLE
	DEMANDA QUÍMICA DE	28	mg/L	menor o igual a 40	CUMPLE
	OXÍGENO				
	SULFATOS	20	mg/L		
	COLIFORMES TOTALES	2.20 E+04	NMP/100 mL		
	COLIFORMES FECALES	1.70 E+04	NMP/100 mL		

Autor: Debora Haydee  
Vega Matias

Atentamente  
Karla Daniela Bustamante Jimenez  
Tel: 042282007 Ext: 111 Cel: 0989618094 (Llamada y WhatsApp)

**Anexo 2.** Cálculos del volumen de la biopelícula y del volumen.

**Tabla 4** Cálculo de superficie biopelícula

Superficie de biopelícula	
Pixel	311
Cm	8
Pixel	156
Cm	4
<b>Total</b>	<b>32</b>

Elaboración propia

**Tabla 5** Volumen de biopelícula Estero las Damas

Volumen biopelícula			
Volumen biopelícula	=	Superficie de biopelícula	* Espesor bioplástico
Volumen biopelícula	=	32 <sup>2</sup>	0,2
Volumen biopelícula	=	64	0,2
<b>cm<sup>3</sup></b>	=	12,8	

Elaboración propia

**Tabla 6** Cálculo de la superficie biopelícula

Superficie de biopelícula	
Pixel	256
Cm	6
Pixel	110
Cm	3
<b>Total</b>	<b>18</b>

**Tabla 7** Volumen de biopelícula Entrada a la Agraria

Volumen biopelícula			
Volumen biopelícula	=	Superficie de biopelícula	* Espesor bioplástico
Volumen biopelícula	=	18 <sup>2</sup>	0,2
Volumen biopelícula	=	36	0,2
<b>cm<sup>3</sup></b>	=	7,2	

**Tabla 8** Cálculo de la superficie biopelícula

Superficie de biopelícula	
Pixel	220
Cm	6
Pixel	120
Cm	2
<b>Total</b>	<b>12</b>

**Tabla 9** Volumen de biopelícula del Camal

Volumen biopelícula			
Volumen biopelícula	=	Superficie de biopelícula	* Espesor bioplástico
Volumen biopelícula	=	12 <sup>2</sup>	0,2
Volumen biopelícula	=	24	0,2
<b>cm<sup>3</sup></b>	=	4,8	