



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN A NIVEL DE LABORATORIO DE LA  
SENSIBILIDAD DE *Spirogyra spp.* & *Chlorella sp.* COMO  
BIOINDICADORES DE SURFACTANTES ANIÓNICOS  
(DETERGENTES)**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES:** KEVIN SEBASTIÁN ZÁRATE CELY

MARÍA EMILIA ANDA MAYORGA

**DIRECTOR:** Ing. JUAN CARLOS GONZÁLEZ GARCÍA, PhD.

Riobamba – Ecuador

2023

**©2023, Kevin Sebastián Zárate Cely; María Emilia Anda Mayorga**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Kevin Sebastián Zárate Cely & María Emilia Anda Mayorga declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 26 de abril de 2023



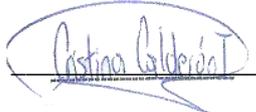
**Kevin Sebastián Zárate Cely**  
**C.I. 230033249-7**



**María Emilia Anda Mayorga**  
**C.I. 185010683-0**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN A NIVEL DE LABORATORIO DE LA SENSIBILIDAD DE *Spirogyra spp.* & *Chlorella sp.* COMO BIOINDICADORES DE SURFACTANTES ANIÓNICOS (DETERGENTES)**, realizado por los señores: **KEVIN SEBASTIÁN ZÁRATE CELY Y MARÍA EMILIA ANDA MAYORGA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Cristina Gabriela Calderón Tapia, MSc. <b>PRESIDENTA DEL TRIBUNAL</b>		2023-04-26
Ing. Juan Carlos Gonzales García, PhD. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-04-26
Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce, MSc. <b>MIEMBRO DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-04-26

## **DEDICATORIA**

A Dios por permitirme culminar una etapa más en mi vida brindándome persistencia y sabiduría. A mi padre Fabián por ser una motivación con sus consejos, apoyo incondicional y ejemplo de superación a lo largo de mi vida, a mi madre Lorena por estar siempre presente en cada momento con su cariño y esfuerzo para salir adelante, a mi novia María Emilia por iniciar y culminar esta etapa junto a mí dándome consejos y estando presente en los buenos y malos momentos siendo un pilar fundamental en mi vida. A mis abuelitos que desde el cielo me han cuidado siempre y me han guiado por un buen camino, a mis hermanos Fabián y Emily por estar presentes en mi vida siendo incondicionales dándome siempre apoyo para salir a delante, a mi tía Yanet por brindarme su apoyo en el transcurso de esta etapa de mi vida. Se los dedico a ustedes en este que es el primer paso en mi vida profesional.

Kevin

A Dios y a mi abuela Elva Dahik que desde el cielo me mantuvieron firme para llegar hasta el final pese a las adversidades. A mis padres Juan Anda y Jenny Mayorga que con su ejemplo, apoyo y consejos me han enseñado el valor del esfuerzo que ha conllevado concluir esta etapa con el fin de seguir mis sueños, a mis hermanas María Grazia y María Isabel que siempre han estado pendiente de mi progreso con sus consejos. A mi novio Kevin que con su incondicional apoyo brindado fue fundamental para concluir este largo camino. A mi tío Fernando y mi abuelo Julio por brindarme su apoyo a lo largo de esta importante etapa.

María

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestras familias por el constante apoyo incondicional a lo largo de nuestra vida universitaria, que impulsó a la culminación de nuestra carrera. A la prestigiosa Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y la Escuela de Ciencias Químicas por los conocimientos impartidos y por la formación como profesionales con valores éticos y morales. Al Ing. Juan Carlos González por el tiempo, comprensión, ideas y apoyo en el desarrollo del trabajo de titulación. A todos los técnicos docentes de la Facultad de Ciencias por la apertura a los laboratorios en donde se desarrolló este trabajo. A todos nuestros amigos incondicionales que han estado presente en esta etapa universitaria.

Kevin & María

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Antecedentes.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Bases Teóricas.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1. Bioindicadores.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1.1. Ventajas y desventajas.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2. Algas como bioindicadores ambientales.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.2.1. Características.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.3. Factores que perturban el desarrollo de las algas.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.3.1. Temperatura.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.3.2. Luz.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.3.3. pH.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.3.4. Suministro de nutrientes.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.4. Chlorella sp.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.5. Spirogyra spp.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.6. Tensoactivos.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.6.1. Propiedades de los tensoactivos.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.6.2. Usos de los tensoactivos en la actualidad.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.6.3. Surfactantes aniónicos.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.6.4. Toxicidad en el ambiente.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.7. Características y propiedades específicas de los surfactantes aniónicos a utilizar en la investigación.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.7.1. Lauril éter sulfato de sodio (SLES).....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.7.2. Ácido dodecilbencenosulfónico.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.7.3. Lauril sulfato sódico (SLS).....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.8. Bioacumulación.....</b>	<b>14</b>

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	15
2.1.	<b>Localización del estudio</b> .....	15
2.2.	<b>Población de estudio</b> .....	15
2.3.	<b>Tamaño de la muestra</b> .....	16
2.3.1.	<i>Spirogyra spp.</i> .....	16
2.3.2.	<i>Chlorella sp.</i> .....	16
2.4.	<b>Técnicas de recolección de datos</b> .....	17
2.4.1.	<i>Identificación de los surfactantes aniónicos a utilizar</i> .....	17
2.4.2.	<i>Materiales</i> .....	17
2.5.	<b>Diseño del experimento</b> .....	17
2.5.1.	<i>Diseño para Chlorella sp.</i> .....	18
2.5.2.	<i>Diseño para Spirogyra spp.</i> .....	18
2.6.	<b>Recolección de las muestras</b> .....	19
2.6.1.	<i>Spirogyra spp.</i> .....	19
2.6.1.1.	<i>Método</i> .....	19
2.6.2.	<i>Chlorella sp.</i> .....	19
2.7.	<b>Caracterización de las especies</b> .....	19
2.7.1.	<i>Método</i> .....	19
2.7.2.	<i>Materiales necesarios para la identificación</i> .....	20
2.7.3.	<i>Equipo para identificar</i> .....	20
2.8.	<b>Procedimiento para el cultivo y adaptabilidad de las algas</b> .....	20
2.8.1.	<i>Método</i> .....	20
2.8.2.	<i>Materiales necesarios para el cultivo</i> .....	20
2.9.	<b>Suministro de nutrientes</b> .....	21
2.9.1.	<i>Método</i> .....	21
2.10.	<b>Control de variables</b> .....	21
2.10.1.	<i>Método</i> .....	21
2.11.	<b>Adición de surfactantes aniónicos</b> .....	21
2.11.1.	<i>Método</i> .....	21
2.11.2.	<i>Dosis para Chlorella sp.</i> .....	23
2.11.3.	<i>Dosis para Spirogyra spp.</i> .....	24
2.12.	<b>Determinación de la bioacumulación</b> .....	24
2.12.1.	<i>Bioacumulación en Spirogyra spp.</i> .....	24

2.12.1.1.	<i>Método</i> .....	25
2.12.2.	<i>Bioacumulación en Chlorella sp.</i> .....	25
2.12.2.1.	<i>Método</i> .....	26
2.13.	<b>Tratamiento del agua utilizada en el estudio</b> .....	26
2.13.1.	<i>Método</i> .....	26
2.14.	<b>Modelo estadístico</b> .....	27

### CAPÍTULO III

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	28
3.1.	<b>Identificación de las especies</b> .....	28
3.2.	<b>Resultados de los surfactantes aniónicos a utilizar</b> .....	29
3.3.	<b>Resultados de la fase de adaptabilidad de las algas</b> .....	31
3.3.1.	<i>Control de variables en Spirogyra spp.</i> .....	31
3.3.2.	<i>Control de variables en Chlorella sp.</i> .....	38
3.4.	<b>Resultados de la dosificación con los surfactantes aniónicos</b> .....	43
3.4.1.	<i>Dosificación en Spirogyra spp.</i> .....	43
3.4.2.	<i>Dosificación en Chlorella sp.</i> .....	72
3.5.	<b>Resultados de las observaciones morfológicas</b> .....	76
3.6.	<b>Resultados de los análisis de bioacumulación</b> .....	89
3.6.1.	<i>Resultados en Chlorella sp.</i> .....	89
3.6.2.	<i>Resultados en Spirogyra spp.</i> .....	89
3.7.	<b>Resultados del tratamiento de aguas utilizado en el estudio</b> .....	89
3.8.	<b>Resultados de los análisis estadísticos</b> .....	90
3.8.1.	<i>Resultados para Chlorella sp.</i> .....	90
3.8.2.	<i>Resultados para Spirogyra spp</i> .....	91
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	92
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	93
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Concentraciones y dosis para <i>Chlorella sp.</i> .....	23
<b>Tabla 2-2:</b>	Concentraciones y dosis para <i>Spirogyra spp.</i> .....	24
<b>Tabla 3-2:</b>	Grado colorimétrico .....	27
<b>Tabla 1-3:</b>	Identificación morfológica de <i>Spirogyra spp.</i> .....	28
<b>Tabla 2-3:</b>	Clasificación taxonómica de <i>Spirogyra spp.</i> .....	28
<b>Tabla 3-3:</b>	Identificación morfológica de <i>Chlorella sp.</i> .....	29
<b>Tabla 4-3:</b>	Clasificación taxonómica de <i>Chlorella sp.</i> .....	29
<b>Tabla 5-3:</b>	Resultados de la encuesta realizada .....	30
<b>Tabla 6-3:</b>	Control de variables antes de la dosificación con los tensoactivos aniónicos .....	31
<b>Tabla 7-3:</b>	Control de variables al momento de la dosificación con los tensoactivos aniónicos .....	32
<b>Tabla 8-3:</b>	Control de variables transcurrido 120 horas de la dosificación con los tensoactivos aniónicos .....	33
<b>Tabla 9-3:</b>	Medición de variables antes de la dosificación con los tensoactivos aniónicos en <i>Chlorella sp.</i> .....	38
<b>Tabla 10-3:</b>	Control de variables al momento de la dosificación con los tensoactivos aniónicos en <i>Chlorella sp.</i> .....	39
<b>Tabla 11-3:</b>	Control de variables transcurrido 120 horas de la dosificación con los tensoactivos aniónicos en <i>Chlorella sp.</i> .....	40
<b>Tabla 12-3:</b>	Dosificación del surfactante aniónico Lauril Sulfato Sódico (SLS) a concentración de 10 ppm.....	44
<b>Tabla 13-3:</b>	Dosificación del surfactante aniónico Lauril Sulfato Sódico (SLS) a concentración de 20 ppm.....	47
<b>Tabla 14-3:</b>	Dosificación del surfactante aniónico Lauril Sulfato Sódico (SLS) a concentración de 30 ppm.....	50
<b>Tabla 15-3:</b>	Dosificación del surfactante aniónico Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES) a concentración de 10 ppm.....	53
<b>Tabla 16-3:</b>	Dosificación del surfactante aniónico Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES) a concentración de 20 ppm.....	56
<b>Tabla 17-3:</b>	Dosificación del surfactante aniónico Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES) a concentración de 30 ppm.....	59
<b>Tabla 18-3:</b>	Dosificación del surfactante aniónico Ácido Dodecibenceno Sulfónico (ADS) a concentración de 10 ppm.....	62

<b>Tabla 19-3:</b> Dosificación del surfactante aniónico Ácido Dodecilbenceno Sulfónico (ADS) a concentración de 20 ppm.....	65
<b>Tabla 20-3:</b> Dosificación del surfactante aniónico Ácido Dodecilbenceno Sulfónico (ADS) a concentración de 30 ppm.....	68
<b>Tabla 21-3:</b> Blancos para <i>Spirogyra spp.</i> .....	71
<b>Tabla 22-3:</b> Dosificación del surfactante aniónico Lauril Sulfato Sódico (SLS).....	72
<b>Tabla 23-3:</b> Dosificación del surfactante aniónico Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES).....	73
<b>Tabla 24-3:</b> Dosificación del surfactante aniónico Ácido Dodecilbenceno Sulfónico (ADS) .	74
<b>Tabla 25-3:</b> Blancos para <i>Chlorella sp.</i> .....	75
<b>Tabla 26-3:</b> Resultados para determinar la morfología antes y después del tratamiento de <i>Spirogyra spp.</i> mediante el microscopio compuesto con cámara a 40 x de aumento .....	76
<b>Tabla 27-3:</b> Resultados para analizar la morfología antes y después del tratamiento de <i>Chlorella sp.</i> mediante el microscopio compuesto con cámara a 40 x de aumento.....	82
<b>Tabla 28-3:</b> Parámetros del agua .....	90

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1:</b>	<i>Chlorella sp.</i> observada a 40x.....	8
<b>Ilustración 2-1:</b>	<i>Spirogyra spp.</i> Observada a 40x .....	9
<b>Ilustración 3-1:</b>	Fórmula química SLES.....	12
<b>Ilustración 4-1:</b>	Fórmula química ADS .....	13
<b>Ilustración 5-1:</b>	Fórmula química SLS .....	13
<b>Ilustración 1-2:</b>	Ubicación de los laboratorios.....	15
<b>Ilustración 2-2:</b>	Diseño para <i>Chlorella sp.</i> .....	18
<b>Ilustración 3-2:</b>	Diseño para <i>Spirogyra spp.</i> .....	18
<b>Ilustración 1-3:</b>	Control de Temperatura en el estudio con los surfactantes aniónicos. ....	35
<b>Ilustración 2-3:</b>	Control de pH en el estudio con los surfactantes aniónicos .....	35
<b>Ilustración 3-3:</b>	Control de la conductividad (mS/cm) en el estudio con los surfactantes aniónicos.....	36
<b>Ilustración 4-3:</b>	Control de los Sólidos Totales Disueltos (g/L) en el estudio con los surfactantes aniónicos .....	37
<b>Ilustración 5-3:</b>	Control de Temperatura en el estudio con los surfactantes aniónicos .....	41
<b>Ilustración 6-3:</b>	Control del pH en el estudio con los surfactantes aniónicos. ....	42
<b>Ilustración 7-3:</b>	Control de la Conductividad (mS/cm) en el estudio con los surfactantes aniónicos.....	42
<b>Ilustración 8-3:</b>	Control de TDS (g/L) en el estudio con los surfactantes aniónicos.....	43

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** ENCUESTA PARA DETERMINAR LOS DETERGENTES MAS UTILIZADOS  
EN EL ECUADOR

**ANEXO B:** FOTOGRAFÍAS

**ANEXO C:** RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA  
DETERMINAR LA BIOACUMULACIÓN DE LAS ALGAS

**ANEXO D:** ANÁLISIS ESTADÍSTICO

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la sensibilidad de las algas, *Chlorella sp.* y *Spirogyra spp.* como bioindicadores de la presencia de los surfactantes: Lauril Sulfato Sódico (SLS), Ácido Dodecibenceno Sulfónico (ADS) y Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES), inicialmente se preparó las unidades experimentales para la adaptación y crecimiento de los cultivos de las especies mencionadas, se usó recipientes de PVC de 5 L de capacidad, se garantizó la nutrición y las condiciones ambientales como suministro de luz, temperatura, además, se suministró aire para brindar una adecuada cantidad de O<sub>2</sub>, una vez adaptados los organismos, se agregó a las unidades experimentales tres dosis de surfactantes a concentraciones de 10ppm, 20ppm y 30ppm durante un tiempo de exposición de 120 horas. Se evidenció diferentes niveles de sensibilidad de las especies al contacto con los surfactantes, destacándose cambios fisiológicos y morfológicos tales como, decoloraciones, desprendimiento de filamentos, destrucción de cloroplastos y reducción de la biomasa algal durante el transcurso de la etapa de exposición, en especial en las unidades experimentales 3 las cuales tuvieron concentraciones y dosificaciones mayores en donde mostraron el mayor grado de afectación, concluyéndose que el ADS es el surfactante aniónico más agresivo con las especies ensayadas. Finalmente, se analizó la bioacumulación de los surfactantes, demostrando que en ambas especies el ADS con valores en *Spirogyra spp.* de  $0,430 \pm 0,2471$  mg/L y en *Chlorella sp.* de  $0,108 \pm 0,2471$  mg/L es el que más se bioacumuló. Además, se concluye que *Spirogyra spp.* y *Chlorella sp.* son eficientes bioindicadores de los surfactantes aniónicos ensayados por los claros cambios en repuestas ante los estímulos causados por la exposición. Se recomienda evaluar las cualidades de las dos especies en futuras investigaciones con exposiciones a otras sustancias contaminantes frecuentes, así como, en el tratamiento de aguas contaminadas con detergentes.

**Palabras claves:** <BIOINDICADORES DE SURFACTANTES ANIÓNICOS>, <LAURIL SULFATO SÓDICO (SLS)>, <ÁCIDO DODECILBENCENO SULFÓNICO (ADS)> <LAURIL ÉTER SULFATO DE SODIO (SLES)>, <*Spirogyra spp.*> <*Chlorella sp.*>, <BIOACUMULACIÓN>.

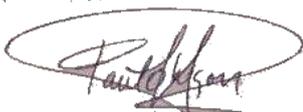


0771-DBRA-UTP-2023

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the sensitivity of algae, *Chlorella* sp and *Spirogyra* spp, as bioindicators of the presence of surfactants: Sodium Lauryl Sulfate (SLS), Dodecylbenzene Sulfonic Acid (ADS) and Sodium Lauryl Ether Sulfate (SLES). Initially, the experimental units were prepared for the adaptation and growth of the crops of the mentioned species; PVC containers of 5 L capacity were used, nutrition and environmental conditions such as light supply and temperature were guaranteed, and the air was supplied. To provide an adequate amount of O<sub>2</sub>, once the organisms had adapted, three doses of surfactants were added to the experimental units at concentrations of 10ppm, 20ppm and 30ppm for an exposure time of 120 hours. Different levels of sensitivity of the species to contact with surfactants were evidenced, highlighting physiological and morphological changes such as discolouration, detachment of filaments, destruction of chloroplasts and reduction of algal biomass during the exposure stage, especially in the experimental units 3, which had higher concentrations and dosages where they showed the highest degree of affectation, concluding that ADS is the most aggressive anionic surfactant with the tested species. Finally, the bioaccumulation of surfactants was analyzed, demonstrating that in both species, the ADS with values in *Spirogyra* spp. of  $0.430 \pm 0.2471$  mg/L and *Chlorella* sp. of  $0.108 \pm 0.2471$  mg/L is the one that most bioaccumulated. Furthermore, it is concluded that *Spirogyra* spp. and *Chlorella* sp. are efficient bioindicators of the anionic surfactants tested due to the evident changes in responses to stimuli caused by the exposure. It is recommended to evaluate the qualities of the two species in future research with exposures to other frequent polluting substances and in the treatment of water contaminated with detergents.

**Keywords:** <ANIONIC SURFACTANT BIOINDICATORS>, <>, <SODIUM LAURYL SULFATE>, <DODECYLBENZENE SULFONIC ACID (ADS)>, <SODIUM LAURYL ETHER SULFATE (SLES)>, <*Spirogyra* spp.>, <*Chlorella* sp.>, <BIOACCUMULATION>.



Ing. Paul Obregón Mayorga, Mgs.

C.I. 060192712-2

# INTRODUCCIÓN

## Caracterización del Problema

El agua es uno de los recursos más frágiles por la contaminación generada, descargas al sistema hídrico produce una alteración en la vida acuática y disminución de una buena calidad del agua. El tratamiento del agua contaminada o la prevención de la misma representa altos costes de inversión, en pleno siglo XXI existen países en vías de desarrollo que sus pobladores no cuentan con el abastecimiento de agua potable, por la incidencia económica que representa el tratamiento del agua (González Cardona, 2020, pp. 75-104).

La contaminación producida por las espumas en las aguas residuales al ser descargadas en los cuerpos hídricos genera una disminución significativa de la solubilidad del oxígeno disuelto con lo que crea repercusiones en la vida acuática. Los detergentes sintéticos engloban surfactantes aniónicos que tienen poder humectante, emulsionante y espumante. Los que mezclados con otros contaminantes generan impactos ambientales significativos, debido a que la mayoría de detergentes se consideran contaminantes persistentes debido a la difícil degradación bacteriana (Ríos Ruiz, 2014, pp. 2-259).

Conjuntamente pueden llegar a ser captados por el hombre, ya que, los detergentes consiguen degradarse y establecer nuevos componentes que pueden alcanzar a bioacumularse en peces, plantas y organismos que estén presentes. Debido a la biomagnificación por la cadena trófica llegarían a ser consumidos por el hombre generando serias alteraciones, estudios han demostrado que los efectos crónicos de los surfactantes aniónicos pueden generar daños al feto en personas en estado de embarazo, salpullidos, sequedad e irritación en la piel (García et al., 2017, pp. 47-62).

Actualmente los surfactantes aniónicos son utilizados a gran escala para la limpieza doméstica e industrial, los cuales al ser arrojados generan un poder contaminante inhibiendo el proceso fotosintético en la flora y generando afectaciones en tiempos prolongados en la fauna acuática (Ríos Ruiz, 2014, pp. 2-259).

El control en las descargas de aguas residuales en la actualidad ha llevado a que se efectúen diversos análisis para la detección de presencia de contaminantes. Los más utilizados son los químicos por la exactitud de los resultados obtenidos en la medición de las variables analizadas. Por lo consecuente es de suma importancia generar nuevos métodos para comprobar la presencia de contaminantes en el agua, los bioindicadores son una fuerte alternativa por sus bajos costos y resultados eficaces en la detección de contaminación ambiental.

## Justificación

En los últimos años, debido al uso indiscriminado de detergentes en las industrias, han causado un impacto ambiental significativo en varios ecosistemas acuáticos, su concentración en las aguas residuales está aumentando y se produce más espuma. En diferentes cuerpos de agua, el efecto de los tensoactivos y la presencia de fosfatos en las preparaciones detergentes se observa que favorecen la reproducción de algas y microorganismos que consumen el oxígeno disuelto en el agua y por ende afectan la vida acuática. Actualmente se utilizan los bioensayos que son altamente sensibles y menos costosos que los métodos químicos para la determinación de algún xenobiótico o contaminante presente en el agua (Network et al., 2015, pp. 530-550).

Las algas son organismos altamente sensibles a los pequeños cambios que pueden ocurrir en su entorno. Su disponibilidad y abundancia son muy altas, presentes en todos los medios acuáticos y muchos medios terrestres, lo que lo convierte en una herramienta eficaz para la detección de contaminantes por su resistencia y capacidad de acumular grandes concentraciones de compuestos tóxicos, sin afectar su actividad biológica, ya que las algas son más sensibles a ciertos contaminantes como Nitrógeno, Fósforo, Salinidad, detergentes y metales pesados, además de ser accesible en costos y sencillo cultivarlos (Marques y Piheiro, 2017, pp. 76-78).

El género *Spirogyra* son algas muy comunes a nivel mundial, se las puede encontrar en ríos, aguas estancadas y lagunas. De igual manera la microalga *Chlorella sp.* es una de las especies de algas más dominantes en el agua, por su potencial para degradar o absorber diferentes tipos de contaminantes.

Además, estos tipos de alga se han utilizado en investigaciones para la biocaptación de plaguicidas y contaminantes de aguas residuales, lo que ha demostrado ser una alternativa eficaz y económica para detectar y tratar los diferentes contaminantes. El hecho de que sean capaces de capturar compuestos xenobióticos y metales pesados de medio acuoso, podría ser un indicio de su capacidad para capturar otros contaminantes como los tensoactivos, razón por la cual podría ser usado como bioindicador en el caso de que esta absorción produjera cambios fisiológicos y morfológicos en estas algas (Vacca et al. 2017, pp. 93-99).

Debido a estas características y a las descargas frecuentes tanto de manera doméstica como industrial de detergentes, las altas concentraciones pueden alterar la vida acuática y disminuir la calidad del agua. La percepción del riesgo que supone su presencia en el ambiente es relativamente nueva y no hay suficientes datos para evaluar adecuadamente su impacto. El enfoque que se pretende adoptar en este estudio es evaluar la sensibilidad de estas especies a diferentes concentraciones de surfactantes aniónicos.

Esto permitirá monitorear los cambios en la fisiología y morfología de las algas y determinar cómo afectará la presencia de estos compuestos contaminantes. Si los cambios resultantes son

fáciles de notar, entonces las especies *Spirogyra* y *Chlorella sp.* pueden usarse como bioindicadores de la contaminación de surfactantes aniónicos.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Evaluar en el laboratorio la sensibilidad de las especies *Spirogyra spp.* y *Chlorella sp.* como bioindicadores de surfactantes aniónicos (detergentes).

### **Objetivos específicos**

- Cultivar las dos especies de algas considerando los factores ambientales y nutricionales, equivalentes a los de su hábitat.
- Observar la morfología, fisiología de las algas antes y después del tratamiento.
- Realizar ensayos en laboratorio para estimar la tolerancia de las algas frente a distintas concentraciones de surfactantes aniónicos: Lauril Sulfato Sódico, Ácido Dodecilbenceno Sulfónico y Lauril Éter Sulfato de Sodio.
- Determinar la posible bioacumulación de surfactantes aniónicos en *Spirogyra spp.* y *Chlorella sp.*

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Antecedentes

Los peces han servido para identificar una buena calidad del agua por su dominancia y abundancia en el medio acuático, por lo que la acumulación de los mismos se considera un buen ambiente para la proliferación de todos los organismos. Por lo contrario, si existe disminución o enfermedades en los peces se debe a que el agua presenta contaminantes que alteran la vida de los organismos acuáticos (Tagliaferro, 2020, pp. 2012-2018).

Existen bioindicadores efectivos que se utilizan para detectar la presencia de contaminantes en el agua, los cuales son: algas, moluscos, peces, entre otros. Gran cantidad de investigaciones se han realizado con microalgas utilizándose contaminantes como: metales pesados, parámetros de calidad del agua y plaguicidas. Las algas tienden a bioacumular elementos presentes en los medios donde se desarrollan, sustituyendo gran cantidad de biomasa seca, debido a las condiciones o factores en los que se exponen (Herrera-paz et al., 2015, pp. 25-40).

En una revisión más dirigida en 2006, Narsi R. Bishnoi, Rajender Kumar, Sunil Kumar, Suman Rani, en la India; llevaron a cabo un examen sobre la biosorción de Cr III de arreglos acuosos, utilizando biomasa de algas de *Spirogyra spp.* Esta alga se utilizó como un biosorbente barato y competente para la extracción de Cr (III) de un arreglo acuoso (Bishnoi et al., 2007, pp. 142-147).

En el año 1998, un estudio realizado por Carmen Riva, David López y Laura Fabián determinaron dos especies de algas unicelulares: *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus subspicatus*, que fueron expuestas durante 72 horas a cinco definiciones de pesticidas comerciales. Los resultados del ensayo mostraron que *Chlorella vulgaris* era más delicada a los pesticidas que *Scenedesmus subspicatus* (Riva et al., 1998, pp. 25-29).

Algunos estudios realizados en campo han demostrado que la capacidad de absorción de contaminantes de *Chlorella sp.* y *Spirogyra* son extremadamente buenas, debido a que se han hecho evaluaciones en los parámetros fisicoquímicos como el DBO<sub>5</sub>, DQO, NKT y fosfatos, y después del tratamiento con las algas mostraron una reducción significativa en los parámetros (Ortiz-Villota et al., 2018, pp. 173-176).

## **1.2. Bases teóricas**

### **1.2.1. *Bioindicadores***

Los bioindicadores ambientales son todos los organismos vivos los cuales, gracias a sus características ecológicas, cuentan con una elevada sensibilidad a los diferentes cambios ambientales que se dan en la naturaleza. Estos bioindicadores están equipados para responder a la presencia de colecciones de impurezas. Posteriormente, los biomarcadores naturales son quizás de los dispositivos de trabajo más ampliamente involucrados en los programas de biomonitorización, que permiten ser conscientes en el caso de que haya un riesgo de contaminación en los diferentes ecosistemas del planeta, tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos y aéreos (Network et al., 2015, pp. 530-550).

La capacidad de respuesta de los bioindicadores depende de muchos factores, algunos de estos son:

- Las Condiciones ambientales, debido a que las variaciones climáticas pueden afectar potencialmente las condiciones de reproducción o de supervivencia.
- Composición genética del organismo, porque influye directamente en la conciliación de nuevos aspectos en los cambios generados, ya que estos pueden favorecer o no al organismo.

#### **1.2.1.1. *Ventajas y desventajas***

Ventajas:

- Costos accesibles.
- Son sensibles a cambios o perturbaciones que pueden responder al instante.
- Están en la tierra históricamente
- Su presencia abarca casi todos los sistemas acuáticos.
- Determinan presencia de contaminación (García et al., 2017, pp. 47-62).

Desventajas:

- La información es cualitativa, lo cual genera más incertidumbre, sin embargo, si se utilizan índices biológicos se obtendrá mejores datos.
- No brindan medidas exactas al ser información cualitativa.
- Pueden tener presencia de contaminación.

- El muestreo implica mayor tiempo.
- Para la caracterización taxonómica se requiere equipos que permitan una correcta identificación (García et al., 2017, pp. 47-62).

### **1.2.2. Algas como bioindicadores ambientales**

Los bioindicadores ideales son especies que, por lo general, son sencillas de notar, reunir y percibir, y que son lo suficientemente abundantes como para permitir la realización de pruebas continuas.

Los grandes bioindicadores son, en su mayoría, seres vivos visibles de forma natural, con una portabilidad restringida y una circulación realmente amplia, que para ser útiles y dar datos precisos deben tener algunas cualidades excepcionales, por ejemplo, no ser difíciles de reunir y medir, estar conectados con el impacto que se quiere mostrar y tener datos biológicos adecuados sobre ellos (Herrera-paz et al., 2015, pp. 25-40).

Los atributos fisiológicos los convierten en criaturas ideales como bioindicadores, ya que ciertas especies son extremadamente delicadas a los herbicidas y los metales, mientras que otras son profundamente abiertas a amplios alcances de variedad en los componentes del agua como los suplementos (Calderón-Delgado et al., 2020, pp. 225-234).

El grupo de las algas responde en general a los efectos antropogénicos, como la sobreabundancia de suplementos y sustancias contaminantes, lo que las convierte en grandes indicadores de los cambios en la calidad del agua. Las propensiones a la conexión de la mayoría de las especies implican que se ven directamente afectadas por los cambios físicos y de compuestos en la sección de agua; como fabricantes esenciales son delicados a las toxinas que no tienen impacto en las formas de vida heterotróficas, y se prueban con facilidad (Liu et al., 2020, p. 122556).

#### **1.2.2.1. Características**

Un indicador debe responder rápidamente a la degradación ambiental, pero también debe dar datos biológicos que puedan ser inmediatamente analizados e interpretados para determinar su capacidad de tolerancia (García et al., 2017, pp. 47-62).

Las últimas investigaciones han descubierto cualidades explícitas específicas para indexar estas plantas como indicadores naturales como son:

- Los efectos son rápidos porque sus periodos de vida son breves.
- Por ser productores primarios tienen alta sensibilidad a los contaminantes presentes en los medios.
- Los muestreos son relativamente sencillos en comparación con otros organismos.

- Los cambios ambientales se ven rápidamente en poblaciones de algas debido a que las breves etapas de crecimiento permiten evidenciar cambios fisiológicos como decoloraciones, entre otros aspectos (Network et al., 2015, pp. 530-550).

### **1.2.3. Factores que perturban el desarrollo de las algas**

#### **1.2.3.1. Temperatura**

La temperatura influye en la respiración y la fotorrespiración más notablemente que en la fotosíntesis. Para el desarrollo del crecimiento de las algas, la temperatura ideal se encuentra entre 20 y 24 °C, pero esta condición fluctúa en función del medio.

No obstante, esta condición varía dependiendo del medio de vida y de la especie utilizada. En general, los cultivos de algas soportan temperaturas en el rango de 16 y 27 °C, donde a temperaturas inferiores a 16 °C, el desarrollo del crecimiento disminuye.

Las temperaturas inferiores a 16 °C disminuyen el desarrollo, mientras que una temperatura superior a 35 °C es mortal para un cultivo.

La temperatura y la luz están conectadas; la temperatura ideal para la fotosíntesis es cuando la fuerza de la luz aumenta. La temperatura también influye en la accesibilidad de suplementos (Calderón-Delgado et al., 2020, pp. 225-234).

#### **1.2.3.2. Luz**

La luz se considera una de las principales variables para el desarrollo fotosintético del crecimiento de algas, ya que aborda el punto de energía para la fotosíntesis. Una célula en condiciones de luz restringida se desarrollará lentamente, en cualquier caso, deben evitarse las potencias lumínicas extremadamente altas, ya que inhiben el desarrollo de las algas. Para los cultivos de algas, se puede utilizar luz falsa, luz diurna o ambas (Ortiz-Villota et al., 2018, pp. 173-176).

#### **1.2.3.3. pH**

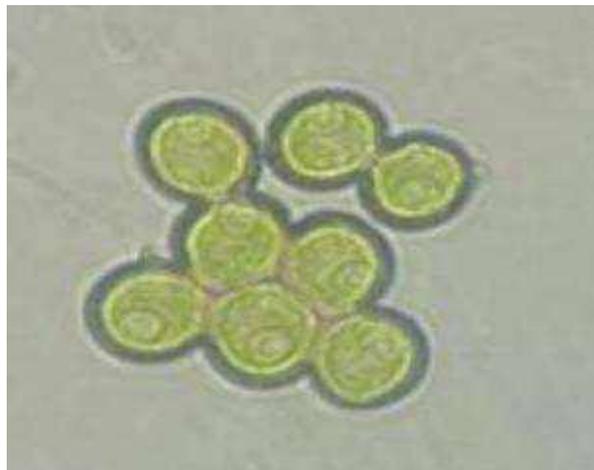
En los niveles básicos de pH, la accesibilidad del CO<sub>2</sub> puede ser restrictiva para el desarrollo y la fotosíntesis de las algas. El rango de pH ideal para la mayoría de las sociedades de algas se encuentra en algún lugar en el rango de 7 y 9, con los lados superiores de 8,2 a 8,7 son generalmente adecuados. El pH ideal en la forma de vida se mantiene en general mediante la circulación de aire utilizando aire mejorado con CO<sub>2</sub> (Pérez-madruga et al., 2020, p. 21).

#### 1.2.3.4. *Suministro de nutrientes*

Para garantizar el desarrollo ideal del cultivo, los suplementos deben ser suministrados en cantidades suficientes. Los requisitos de los nutrientes varían mucho de una especie a otra y, dentro de cada especie, varían en función de las distintas circunstancias naturales. El macronutriente más importante es el carbono, que constituye la mitad de la biomasa de las algas, la principal fuente de carbono es el dióxido de carbono.

En general, los nutrientes que ofrecen un compromiso decente en el desarrollo del crecimiento de las algas son: nitrógeno, fósforo y potasio; componentes significativos que animan el desarrollo y mejoran la floración (Pérez-madruga et al., 2020, p. 21).

#### 1.2.4. *Chlorella sp.*



**Ilustración 1-1:** *Chlorella sp.* observada a 40x

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

*Chlorella vulgaris* es una microalga unicelular de forma esférica, su tamaño oscila alrededor de 2-10  $\mu\text{m}$  y no tiene flagelos. Los cloroplastos le dan el tono verde, los mismos que son responsables de la fotosíntesis, así como respecto a su forma redonda. Pertenecen a la familia Oocytaceae presente en la tierra desde el Precámbrico y son especies cosmopolitas de agua dulce (Coronado-reyes et al., 2022, pp. 1-11).

Se reproduce de manera acelerada, ya que necesita el carbono que adquiere de la fotosíntesis, agua, luz y cantidades de minerales. Debido a su rápido desarrollo, se está estudiando la posibilidad de utilizarlo para producir biodiésel. Contiene muchas proteínas, betacaroteno y nutrientes B (B1, B2, B6 y B12). Se utiliza para hacer complementos alimenticios, contra la maduración de artículos de restauración y para la desintoxicación de metales pesados (Pérez-madruga et al., 2020, p. 21).

### 1.2.5. *Spirogyra spp.*



**Ilustración 2-1:** *Spirogyra spp.* Observada a 40x

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

*Spirogyra spp.* es un alga verde filamentosa que se la puede identificar fácilmente en ríos, arroyos y también en aguas estancadas. Las células tienen forma de cilíndrica, son de una a varias veces más largas que gruesas y se unen de principio a fin en fibras uniseriadas y no ramificadas de longitud indeterminada. Pertenecen a la familia Zygnemataceae filamentosa que está generalmente difundida en todo el mundo (De oliveira et al., 2017, pp. 2113-2117).

Se rellena largamente por división celular. En el momento en que se consolidan algunos crecimientos de las algas, las fibras estructuran masas parecidas al algodón, que flotan en el agua y pueden verse a simple vista. La reproducción asexual se produce por discontinuidad de las fibras. También puede reproducirse de manera sexual (Herrera-paz et al., 2015, pp. 25-40).

Hay tipos de Spirogyra que presentan separación sexual y en la generación se acercan unos a otros para entrelazarse. A través del puente formado, la sustancia de una fibra pasa a la siguiente y produce otro individuo, que crea cuando las circunstancias ecológicas son ideales. Cuando no hay separación sexual entre los individuos, 2 células de una fibra similar se unen para dar lugar al desarrollo de un nuevo individuo (Herrera-paz et al., 2015, pp. 25-40).

### 1.2.6. *Tensoactivos*

Los tensoactivos son moléculas naturales que ajustan los poderes superficiales o la fascinación existente entre las partículas de una sustancia fluida en la superficie de contacto con un sólido; en otras palabras, disminuyen la tensión superficial.

Los tensoactivos tienen 2 secciones que son:

- Una parte polar: con una carga eléctrica específica que es soluble en el agua

(hidrofílica) y provoca la dispersión o solubilización.

- Una parte apolar; sin carga eléctrica que no se disuelve en el agua (hidrofóbica). Puede llegar a ser insoluble debido a las acumulaciones hidrofílicas.

Estas moléculas hacen parte de los contaminantes procedentes, deducidos como aquellas sustancias que a pesar que pueden ser biodegradables, son muy nocivas para el ambiente y el organismo humano debido a su bioacumulación y permanencia (Cantarero, 2010, pp. 2-663).

#### **1.2.6.1. *Propiedades de los tensoactivos***

- **Poder humectante:** la parte apolar disminuye la presión superficial del agua. Esta propiedad favorece su humectación, ampliando el límite de disolución del suelo.
- **Poder emulsionante:** la parte polar permite separar el suelo en secciones de una emulsión.
- **Poder de dispersión:** propiedad que permite a las micelas permanecer en suspensión en el agua y evitar que se almacenen a nivel superficial.
- **Poder espumante:** la espuma es ventajosa ya que admite un mejor contacto del detergente con la superficie a enjuagar.
- **Poder de enjuague:** es la facilidad con la que podemos eliminar el elemento apilado con contaminaciones mediante el lavado con agua limpia (Ríos Ruiz, 2014, pp. 2-259).

#### **1.2.6.2. *Usos de los tensoactivos en la actualidad***

En los últimos años la mayoría de tensoactivos fueron producidos por materia sintética denominando a los detergentes “surfactantes sintéticos” los cuales han sido aplicados como “auxiliares de textiles”, en la actualidad una gran parte de surfactantes consumidos son de origen oleo químico ocupando el 20% (Ríos Ruiz, 2014, pp. 2-259).

En la actualidad los productos para limpieza del hogar ocupan el 56% de producción a nivel mundial ya que son necesarios con propósitos generales, detergentes, desinfectantes, desengrasantes, entre otros.

El 9% del consumo de surfactantes se lo lleva el sector industrial ya que cuenta con una gran variedad de estos productos para el consumo mundial, estos son especialmente diseñados para cubrir las necesidades a nivel de industria como el sector hospitalario.

El 8% y 27% corresponden a los cosméticos y aplicaciones técnicas respectivamente, estos actúan como auxiliares para procesos textiles, procesamiento del cuero, aplicaciones lubricantes, entre otros (Cantarero, 2010, pp. 2-663).

La industria de los tensoactivos se caracteriza por su innovación permitiendo su permanencia estable en el mercado. Las nuevas tendencias dirigidas al uso de materia prima sostenible aumentan el uso de los productos oleo químico en el mercado, siendo los derivados de los metil ésteres y las aminas grasas (Estuardo et al., 2019, pp. 931-943).

#### **1.2.6.3. *Surfactantes aniónicos***

Son compuestos capaces de disminuir la tensión superficial entre un líquido y un sólido favoreciendo la disolución del sólido, es decir compuestos orgánicos anfifílicos que en presencia de agua se disponen hacia las superficies acuosas de tal manera que su componente hidrosoluble permanezca en la fase acuosa y el hidrófobo quede fuera de esa fase en este caso el hidrófilo tendrá carga negativa (Cantarero, 2010, pp. 2-663).

#### **1.2.6.4. *Toxicidad en el ambiente***

Las afectaciones con mayor relevancia a causa de los tensoactivos en el agua son:

- 1) Incrementan el pH de las aguas residuales elevando sus niveles alterando el patrón de existencia de la vida marina.
- 2) Provocan un incremento de los nutrientes en los cauces que reciben las aguas residuales, creando un tremendo incremento del crecimiento verde y desagradables olores debido a la acumulación de fósforo.
- 3) Los fosfatos son suplantados por sustancias, por ejemplo, el ácido Nitrilotriacético NTA o el ácido etilendiaminotetraacético EDTA que no limitan los impactos de la eutrofización, contienen partículas de peso que se descomponen en el agua y pueden llegar a la población.
- 4) Alteración de la cadena trófica por la presencia de metales pesados.
- 5) Impactos mutagénicos y cancerígenos debido a las altas agrupaciones de compuestos organoclorados.
- 6) Afectación directa de los procesos de sedimentación, floculación y coagulación en las plantas que permiten y trabajan con depuración.
- 7) Contaminación de las aguas subterráneas (Estuardo et al., 2019, pp. 931-943).

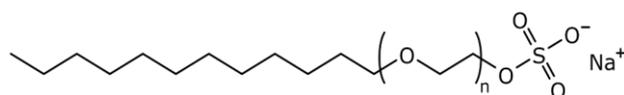
### 1.2.7. Características y propiedades específicas de los surfactantes aniónicos a utilizar en la investigación

#### 1.2.7.1. Lauril éter sulfato de sodio (SLES)

**Nombre común:** Lauril Éter Sulfato de Sodio, Genapol, Texapón, Sulphex.

**Nombre químico:** 2-(2-dodeciloxi) Etil sulfato de sodio

**Fórmula química:**



**Ilustración 3-1:** Fórmula química SLES

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Usos:** Tiene gran afinidad con la piel debido a que posee propiedades emulsionantes lo cual lo convierten en una de las sustancias naturales más utilizadas en el mundo de los productos de limpieza.

Con frecuencia se une a las alcanolamidas de grasas insaturadas para sobreengrasar y espesar el producto. Un método para aumentar la consistencia de estas mezclas es añadir sal normal (cloruro de sodio). El lauril éter sulfato de sodio puede mezclarse con un enorme número de sustancias limpiadoras, en cualquier medida, y además con otros fijadores dinámicos y sustancias añadidas únicas. Este producto es capaz, incluso a bajas temperaturas, de potenciar todo su poder espumante (Comercial, 2021, pp. 1-8).

#### Propiedades fisicoquímicas

**Apariencia:** líquido blanquecino con aspecto a gel.

**Masa molar:** 272.38 g/mol

**Número de CAS:** 9004-82-4; 68891-38-3; 68585-34-2; 91648-56-5

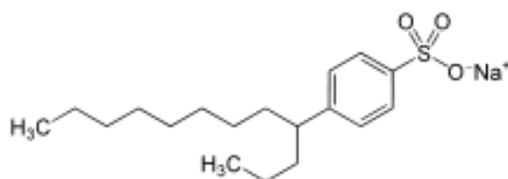
**Solubilidad:** soluble en agua.

#### 1.2.7.2. Ácido dodecilbencenosulfónico

**Nombre común:** ácido dodecilbencenosulfónico

**Nombre químico:** ácido dodecilbencenosulfónico, Linear Alkylbenzene Sulphonate (LABS)

**Fórmula química:**



**Ilustración 4-1:** Fórmula química ADS

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Usos:** Su uso fundamental es como tensioactivo aniónico para la preparación de limpiadores. Su función es la de limpiador, humectante, espumante y emulsionante.

### Propiedades fisicoquímicas

**Apariencia:** líquido oscuro de tonalidad morada

**Numero de CAS:** 27176-87-0

**Densidad:** 1060 kg/m<sup>3</sup>; 106 g/cm<sup>3</sup>

**Masa molar:** 342.4 g/mol

**Punto de fusión:** 550 K; 270 °C

**Punto de ebullición:** 910 K; 637 °C

**Viscosidad:** 1000 centipoises a 250 °C

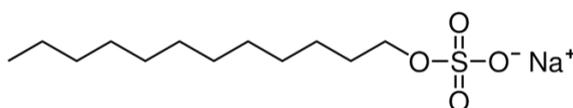
**Solubilidad en agua:** 250 g/L a 20 °C, corrosivo en metales y tejidos (QUIMIPUR, 2018, 1-2).

#### 1.2.7.3. Lauril sulfato sódico (SLS)

**Nombre común:** lauril sulfato sódico

**Nombre químico:** dodecilsulfato sódico (SDS), lauril sulfato sódico (SLS)

**Fórmula química:**



**Ilustración 5-1:** Fórmula química SLS

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Usos:** El lauril sulfato de sodio es un surfactante aniónico que es viable tanto en medios ácidos como en medios básicos y además en agua dura.

Se utiliza en champús, para la limpieza de la piel y en artículos de aseo por su poder espumante (Winkler 2020, pp. 1-3).

## **Propiedades Físicas y Químicas**

**Apariencia:** Polvo fino blanco, con débil olor característico

**Número de CAS:** 151-21-3

**Densidad:** 1010 kg/m<sup>3</sup>; 1.01 g/cm<sup>3</sup>

**Masa molar:** 288.38 g/mol

**Punto de fusión:** 479 K; 206 °C (Winkler 2020, pp. 1-3).

### **1.2.8. Bioacumulación**

Se caracteriza como la expansión en la concentración de un compuesto químico, estable después de su presentación en un hábitat común. Si no hay agentes aptos para biodegradarlo, la centralización del compuesto aumenta a medida que avanza por el orden jerárquico bien establecido, y posteriormente los seres vivos superiores están más expuestos a sus impactos nocivos.

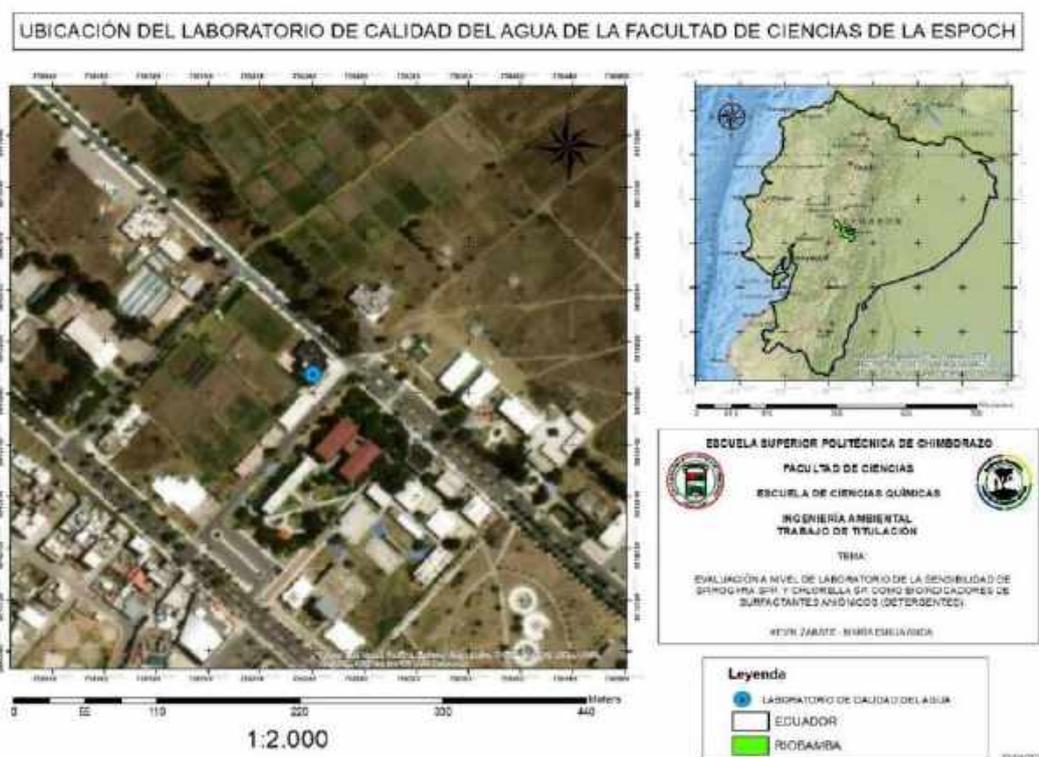
El término se utiliza para describir tanto los potentes ciclos de recogida como el producto final de la acumulación en la forma de vida. Cuando la bioacumulación se produce por la ingestión de alimentos contaminados, se denomina biomagnificación. En ecotoxicología de peces, el término bioacumulación alude al impacto conjunto de los ciclos de bioconcentración y biomagnificación (Dueñas et al., 2014, pp. 9-22).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Localización del estudio

Se lo realizó en los laboratorios de Biorremediación y Calidad del agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, para la colocación de las unidades experimentales, utilización de los equipos y reactivos, de igual manera la competencia de los técnicos de laboratorio al guiar en la realización de los análisis y prácticas que se requieran.



**Ilustración 1-2:** Ubicación de los laboratorios

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

#### 2.2. Población de estudio

Para el estudio se utilizó dos especies de algas una macro y una micro, para tener en si una comparativa de cual especie es mejor bioindicador o cual es más eficiente en la remoción de los surfactantes.

Las especies que se utilizaron son:

- *Spirogyra spp.* que pertenecen a la familia Zygnemataceae filamentosa que está

generalmente difundida en todo el mundo.

- *Chlorella sp.* pertenecen a la familia Oocytaceae presente en la tierra desde el Precámbrico y son especies cosmopolitas de agua dulce (Coronado-reyes et al., 2022, pp. 1-11).

Para los ensayos se utilizó tres tipos de surfactantes aniónicos, presentes en productos de limpieza comerciales los cuales son:

- Lauril sulfato sódico (SLS)
- Lauril éter sulfato de sodio (SLES)
- Ácido dodecilbenceno Sulfónico (ADS) (Cantarero, 2010, pp. 2-663).

### **2.3. Tamaño de la muestra**

#### **2.3.1. *Spirogyra spp.***

Para esta especie de macro alga, se utilizó 30 unidades experimentales las cuales están divididas en tres blancos y 27 unidades experimentales que se dosificaron a distintas concentraciones con tres repeticiones con cada surfactante; lauril sulfato sódico (SLS), lauril éter sulfato de sodio (SLES) y ácido dodecilbenceno sulfónico (ADS).

En cada unidad experimental se dispuso 12 g de biomasa de alga, debido a que se recomienda utilizar entre 4 a 6 gramos de *Spirogyra spp.* por cada litro de agua a tratar, por lo cual las unidades experimentales contaron con 2 Litros de agua cada una, por ende, se utilizó 6 gramos de alga por litro.

#### **2.3.2. *Chlorella sp.***

Para la microalga se utilizó 30 unidades experimentales distribuidas en 3 blancos y 27 unidades experimentales que se dosificaron a concentraciones variadas y por triplicado con cada tipo de detergente.

Cada unidad experimental estuvo compuesta por 2 L de agua a tratar, que contenían 25 mL de *Chlorella*, esto con el fin de que se logren los resultados esperados, ya que, mediante bibliografía analizada se requiere de entre 10 a 15 mL de alga por cada litro para correcto tratamiento, por lo que se dispuso en este estudio de 12.5 mL de *Chlorella sp.* por cada litro.

La finalidad de tener las mismas unidades experimentales para las dos especies de algas, es realizar una comparativa entre las mismas, mediante los análisis de aguas propuestos, la reducción del contaminante y la posible bioacumulación, se determinará cuál de las dos especies será más sensible a los cambios presentados por los surfactantes aniónicos.

## **2.4. Técnicas de recolección de datos**

### **2.4.1. *Identificación de los surfactantes aniónicos a utilizar***

Mediante el uso de encuestas se instauraron los detergentes más utilizados en Ecuador, debido a que los encuestados pertenecían a dos regiones del país, costa y sierra, se requirió el uso de herramientas digitales, con los resultados se pueden determinar: Shampoo, Jabones lava platos y Detergentes para ropa, los cuales son los productos de limpieza doméstica mayormente usados por familias ecuatorianas en el hogar. Con base a estos productos se establecieron en la encuesta las marcas más populares en el país, para saber que marca es la favorita de los hogares ecuatorianos.

Los detergentes son los más utilizados por la población a nivel nacional, por ende, la generación de espumas con el uso de los mismos es inminente, ocurriendo descargas al sistema de alcantarillado mezclado con grasas, aceites pueden generar un severo impacto en los ríos o mediante infiltraciones a suelos.

### **2.4.2. *Materiales***

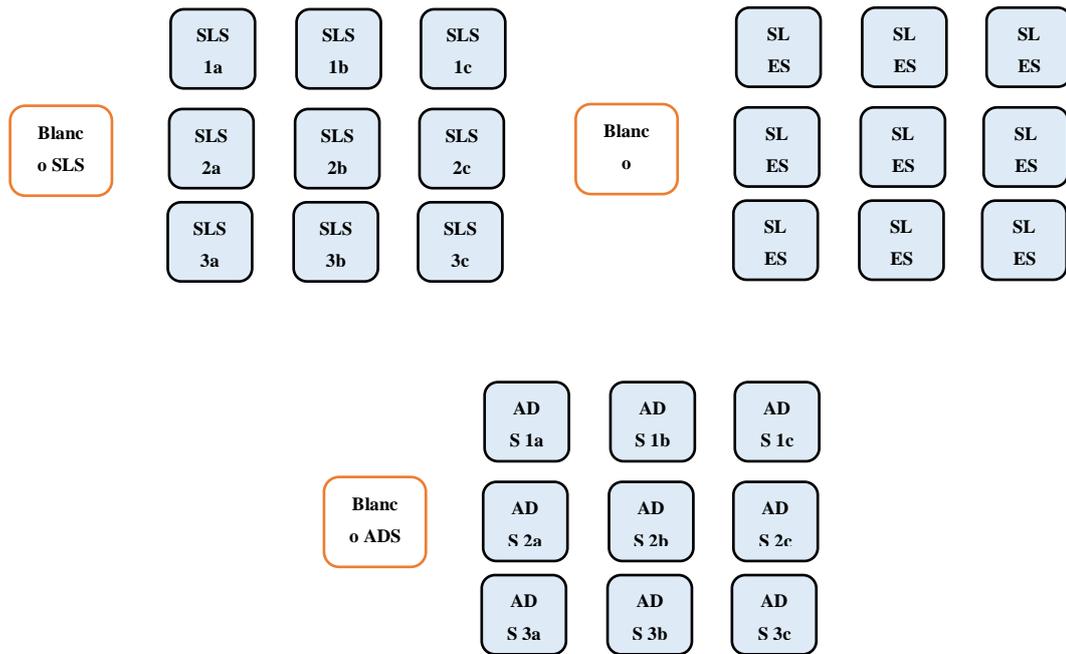
- Google Forms

## **2.5. Diseño del experimento**

Para las dos especies de alga se dispuso de 30 unidades experimentales las cuales están divididas en 3 blancos y 27 unidades que se dosificaron a distintas concentraciones con tres repeticiones con cada surfactante aniónico, dando un total de 60 unidades experimentales.

El diseño del experimento con el etiquetado se basó en las siglas en inglés de cada detergente: Lauril sulfato sódico (SLS), lauril éter sulfato de sodio (SLES) y ácido dodecibenceno sulfónico (ADS). Para las dosificaciones se utilizaron los números 1, 2, 3, con el propósito de diferenciar las dosis a suministrar, todos los valores se establecieron por encima del límite permisible dispuesto en la Tabla 8 del Acuerdo Ministerial 097-A. Finalmente para las repeticiones de cada surfactante se usó las letras a, b, c.

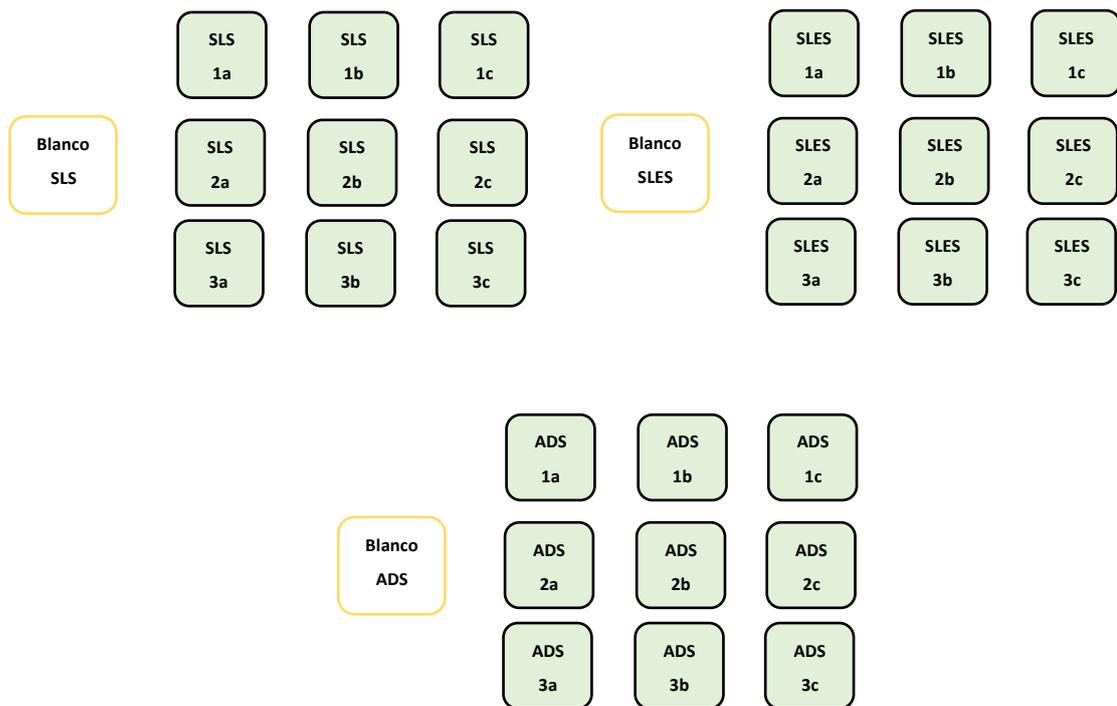
**2.5.1. Diseño para *Chlorella sp.***



**Ilustración 2-2:** Diseño para *Chlorella sp.*

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**2.5.2. Diseño para *Spirogyra spp.***



**Ilustración 3-2:** Diseño para *Spirogyra spp.*

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

## **2.6. Recolección de las muestras**

### **2.6.1. *Spirogyra spp.***

#### **2.6.1.1. Método**

Mediante bibliografía analizada se llevó a cabo la recolección mediante la técnica de Recolección, conservación y cultivo de algas descrita por la Universidad de la Coruña (Torres y Herrero, 1995, 93-99). Para la toma de muestras se las realizó a mano en la parroquia rural de San Luis de la Ciudad de Riobamba, colocando las especies identificadas en los recipientes de vidrio. Posteriormente para la caracterización y el cultivo se lo realizó en contenedores plásticos para aumentar la biomasa y tener muestras representativas.

### **2.6.2. *Chlorella sp.***

Para el caso de *Chlorella sp.*, las cepas fueron donadas por la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, específicamente por el laboratorio de Biotecnología, para su posterior aislamiento y su reproducción. Para el crecimiento celular de las algas se utilizó el medio de cultivo Bio Especial (20-20-20) el cual es un fertilizante inorgánico soluble en agua, foliar y drench que contiene N, P, K. Se suministró de CO<sub>2</sub> y oxígeno mediante una bomba de aire conectada con mangueras de pecera, se controló la temperatura y la luz con lámparas LED, para que las algas se multipliquen y poder obtener una considerable biomasa para el tratamiento con los xenobióticos.

## **2.7. Caracterización de las especies**

### **2.7.1. Método**

Para la caracterización de las especies se tomó en cuenta la base la Guía de campo para la identificación de algas, Agricultura y Agroalimentación de Canadá (Huynh y Serediak 2006, pp 12-15). Esta bibliografía es objetiva con recomendaciones a seguir para una correcta tipificación, la guía recomienda tener en cuenta la información ecológica de las especies debido a que otras bibliografías solo hacen comparaciones fotográficas o gráficas. Para la identificación de *Spirogyra spp.* se recolectó aproximadamente 3 g, como muestra del alga a ser analizada. Para *Chlorella sp.* se recolectaron 3 mL aproximadamente para la caracterización. Posteriormente se trasladaron las muestras de las dos especies al Laboratorio de microbiología de la Facultad de Ciencias, para su correcta identificación.

### **2.7.2. *Materiales necesarios para la identificación***

- Pinzas
- Guantes
- Placas porta y cubre objetos
- Alcohol

### **2.7.3. *Equipo para identificar***

- Microscopio

## **2.8. Procedimiento para el cultivo y adaptabilidad de las algas**

### **2.8.1. *Método***

Se calculó el número de cultivos y replicas a realizarse con cada surfactante, dando un total de tres repeticiones a distintas dosis para cada detergente en cada especie de alga, dando un total de 60 unidades experimentales las cuales serán distribuidas en 6 blancos y 54 unidades experimentales, en donde se dosificarán distintas concentraciones con cada tipo de surfactante aniónico, que constan de contenedores de plástico rectangulares con una capacidad de 5 litros, los cuales estarán dispuestos por 2 litros de agua cada una para la realización del estudio, el agua que será utilizada en las unidades experimentales es un agua potabilizada, específicamente de botellón para descartar contaminantes externos a los surfactantes.

### **2.8.2. *Materiales necesarios para el cultivo***

- Contenedores de plástico de 5 Litros
- Recipiente graduado de 1 Litro
- Agua de botellón

## **2.9. Suministro de nutrientes**

### **2.9.1. Método**

Para controlar y satisfacer los requerimientos de macronutrientes esenciales como son N, P, K, de las algas se requirió bibliografía con métodos de adición de nutrientes en forma sólida directamente en el agua de los cultivos, la cual señala que es la manera más práctica y económica de mantener la estabilidad de los nutrientes.

Mediante estudios realizados se estableció una relación de 5:1 la cual describe que por cada litro de agua se debe adicionar 5 gramos de fertilizante, esta técnica es una de las más efectivas en crecimiento de biomasa en algas. Se realizó la adición de nutrientes con la relación mencionada, para garantizar la eficacia de solubilidad se agitó con una varilla para que el fertilizante se disuelva por completo, cabe recalcar que se necesitó de una balanza analítica para que el pesaje sea exacto y la posterior adición en las unidades experimentales (Torres y Herrero, 1995, 93-99)

## **2.10. Control de variables**

### **2.10.1. Método**

Para el control de las variables: pH, Temperatura, Conductividad y Sólidos Totales Disueltos. En las dosis suministradas de detergentes, se realizaron los análisis de calidad del agua con la ayuda de un multiparámetro (OAKLON PC 2700) para observar las distintas variaciones de los parámetros mencionados al transcurrir los días. Se efectuó un análisis antes de suministrar los surfactantes, al momento de la dosificación con los mismos en cada unidad experimental y transcurrido 120 horas de las dosificaciones, las muestras de agua de cada unidad experimental se recolectaron en envases plásticos para su análisis.

Se debe realizar un etiquetado a cada muestra de agua para tener los valores correctos de cada tipo de detergente en cada especie de alga y así obtener datos verdaderos que servirán para la determinación de los bioindicadores.

## **2.11. Adición de surfactantes aniónicos**

### **2.11.1. Método**

Para el suministro de las dosis de surfactantes aniónicos, se tomó de referencia estudios realizados con tensoactivos para la determinación de calidad del agua, de igual manera en referencia a la

normativa ecuatoriana, en base al Acuerdo Ministerial 097-A, Tabla 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO, el límite máximo permisible para Tensoactivos es de 2 mg/L o 2ppm, con base a esta referencia se definieron nuevas concentraciones por encima de la normativa con el fin de observar variaciones considerables en las especies de algas que sirvan para establecer su potencial como bioindicadores (MAAE-Acuerdo Ministerial 097-A, 2015).

Se preparó una solución madre de 200 ppm con cada tipo de surfactante aniónico, con la finalidad de realizar disoluciones a concentraciones de: 10, 20 y 30 ppm, que serán las concentraciones dosificadas en cada unidad experimental, estas concentraciones se establecieron mediante la siguiente fórmula:

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

Donde:

- C y V expresan la concentración y el volumen
- 1 y 2 refieren a las formas concentrada y diluida de la solución.

Para la preparación de las disoluciones se establecieron de la siguiente manera:

- Solución madre 200 ppm
- Disolución de 10 ppm aforado en 250 mL

$$V1 = 12.5 \text{ mL}$$

Para una disolución de 10 ppm, colocar 12.5 mL de la solución madre y aforar con 250 mL de agua destilada.

- Disolución de 20 ppm aforado en 250 mL

$$V1 = 25 \text{ mL}$$

Para preparar una dilución de 20 ppm, colocar 25 mL de la solución madre y aforar con 250 mL de agua destilada.

- Disolución de 30 ppm aforado en 250 mL

$$V1 = 37.5 \text{ mL}$$

Para una dilución de 30 ppm, añadir 37.5 mL de la solución madre y aforar con 250 mL de agua destilada.

Con las concentraciones establecidas las dosificaciones realizadas fueron las siguientes.

### 2.11.2. Dosis para *Chlorella sp.*

**Tabla 1-2:** Concentraciones y dosis para *Chlorella sp.*

<b>Especie: <i>Chlorella sp.</i></b>					
<b>Lauril sulfato sódico (SLS)</b>		<b>Lauril éter sulfato de sodio (SLES)</b>		<b>Ácido dodecibenceno sulfónico (ADS)</b>	
<b>Disolución 10ppm</b>	<b>Dosis (mL)</b>	<b>Disolución 10ppm</b>	<b>Dosis (mL)</b>	<b>Disolución 10ppm</b>	<b>Dosis (mL)</b>
SLS1a	20	SLES1a	20	ADS1a	20
SLS1b	20	SLES1b	20	ADS1b	20
SLS1c	20	SLES1c	20	ADS1c	20
<b>Disolución 20ppm</b>	<b>Dosis (mL)</b>	<b>Disolución 20ppm</b>	<b>Dosis (mL)</b>	<b>Disolución 20ppm</b>	<b>Dosis (mL)</b>
SLS2a	25	SLES2a	25	ADS2a	25
SLS2b	25	SLES2b	25	ADS2b	25
SLS2c	25	SLES2c	25	ADS2c	25
<b>Disolución 30ppm</b>	<b>Dosis (mL)</b>	<b>Disolución 30ppm</b>	<b>Dosis (mL)</b>	<b>Disolución 30ppm</b>	<b>Dosis (mL)</b>
SLS3a	30	SLES3a	30	ADS3a	30
SLS3b	30	SLES3b	30	ADS3b	30
SLS3c	30	SLES3c	30	ADS3c	30

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

### 2.11.3. Dosis para *Spirogyra spp.*

**Tabla 2-2:** Concentraciones y dosis para *Spirogyra spp.*

<b>Especie: <i>Spirogyra spp.</i></b>					
<b>Lauril sulfato sódico (SLS)</b>		<b>Lauril éter sulfato de sodio (SLES)</b>		<b>Ácido dodecilbenceno sulfónico (ADS)</b>	
<b>Disolución</b>	<b>Dosis (mL)</b>	<b>Disolución</b>	<b>Dosis (mL)</b>	<b>Disolución</b>	<b>Dosis (mL)</b>
<b>10ppm</b>		<b>10ppm</b>		<b>10ppm</b>	
SLS1a	20	SLES1a	20	ADS1a	20
SLS1b	20	SLES1b	20	ADS1b	20
SLS1c	20	SLES1c	20	ADS1c	20
<b>Disolución</b>	<b>Dosis (mL)</b>	<b>Disolución</b>	<b>Dosis (mL)</b>	<b>Disolución</b>	<b>Dosis (mL)</b>
<b>20ppm</b>		<b>20ppm</b>		<b>20ppm</b>	
SLS2a	25	SLES2a	25	ADS2a	25
SLS2b	25	SLES2b	25	ADS2b	25
SLS2c	25	SLES2c	25	ADS2c	25
<b>Disolución</b>	<b>Dosis (mL)</b>	<b>Disolución</b>	<b>Dosis (mL)</b>	<b>Disolución</b>	<b>Dosis (mL)</b>
<b>30ppm</b>		<b>30ppm</b>		<b>30ppm</b>	
SLS3a	30	SLES3a	30	ADS3a	30
SLS3b	30	SLES3b	30	ADS3b	30
SLS3c	30	SLES3c	30	ADS3c	30

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

## 2.12. Determinación de la bioacumulación

### 2.12.1. Bioacumulación en *Spirogyra spp.*

Para determinar la concentración bioacumulada de detergentes se procedió a recolectar el alga de las unidades experimentales, debido a ciertos factores y por razones económicas se colocó el total de biomasa de todas las unidades experimentales para el análisis. En cada unidad experimental inicialmente se dispuso de 12 gramos de *Spirogyra spp.*, finalizada la experimentación en cada unidad variaba el peso de la biomasa remanente debido a las alteraciones ocurridas en el

transcurso de las dosificaciones.

Las unidades experimentales que se dosificaron con Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES), en la recolección final de biomasa se obtuvo 85,052 gramos, las estaciones que se añadieron Lauril Sulfato Sódico (SLS) se obtuvo 80,520 gramos de biomasa y las unidades dosificadas con Ácido Dodecibenceno Sulfónico (ADS) quedó un remanente de biomasa de 68,689 gramos.

#### **2.12.1.1. Método**

Con las muestras de biomasa remanente de cada tipo de surfactante aniónico se procedió a realizar extracciones de la biomasa. Mediante filtración al vacío con embudo Büchner, Kitasato, papel filtro y bomba de vacío, se efectuó las separaciones de la fase líquida de las unidades experimentales. Las filtraciones se realizaron con la finalidad de descartar el agua empleada en el estudio que tenía presencia de los surfactantes aniónicos utilizados.

Posteriormente con la biomasa de *Spirogyra* spp. se realizaron las extracciones con la ayuda de un mortero y agua destilada, para moler y extraer de la biomasa la cantidad bioacumulada de los surfactantes empleados. Con las extracciones elaboradas se realizó nuevamente una filtración al vacío para descartar presencia de biomasa remanente en las muestras a realizar los análisis de Bioacumulación de Tensoactivos (De oliveira et al., 2017, pp. 2113-2117). Los análisis fueron realizados en Laboratorios LACQUANALISIS S.A, para determinar la cantidad de surfactantes bioacumulados en el alga, mediante el método PRO TEC 075 / STANDARD METHODS ED. 23. 2017, 5540 C.

#### **2.12.2. Bioacumulación en *Chlorella* sp.**

Finalizada la experimentación se recolectó de cada unidad experimental el volumen remanente de *Chlorella* sp. se realizó el análisis de bioacumulación de tensoactivos por cada surfactante empleado. Al ser una microalga el volumen final de *Chlorella* sp. disminuyó por la presencia de los detergentes. Cabe recalcar que en cada unidad experimental inicialmente se colocó 25 mL de *Chlorella* sp. y por los factores y/o alteraciones ocurridas en la experimentación la microalga disminuyó considerablemente.

Las unidades experimentales que se dosificaron con Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES), en la recolección final se obtuvo 185 mL, las estaciones con Lauril Sulfato Sódico (SLS) 182 mL y las unidades dosificadas con Ácido Dodecibenceno Sulfónico (ADS) quedó un remanente de 158 mL.

### **2.12.2.1. Método**

Con el volumen final obtenido de *Chlorella sp.* de cada surfactante aniónico utilizado, se realizó centrifugación a 500 rpm durante un minuto, decantado el sobrenadante se separó la fase líquida, consecutivamente se realizó una filtración al vacío con papel cuantitativo para obtener el remanente de *Chlorella sp.* con ayuda de embudo büchner, Kitasato, bomba de vacío. Con la filtración elaborada se recuperó la biomasa de alga y se efectuaron extracciones con agua destilada en el papel cuantitativo y en el sobrenadante decantado, finalmente se realizó los análisis de Bioacumulación de Tensoactivos (Jiménez-Llanos et al., 2020, pp. 8310-8328). Los análisis pertinentes se los realizó en el Laboratorio LACQUANALISIS S.A, que proporcionó los resultados de surfactantes presentes en la microalga mediante el método PRO TEC 075 / STANDARD METHODS ED. 23. 2017, 5540 C.

## **2.13. Tratamiento del agua utilizada en el estudio**

### **2.13.1. Método**

Para el tratamiento del agua finalizada la experimentación, cabe mencionar que se dispuso inicialmente de 2 litros de agua en cada unidad experimental dando un total de 120 Litros, debido a factores ambientales y por la presencia de los organismos vivos en los contenedores al finalizar el estudio el volumen aproximado fue de 80 Litros. Los cuales se realizó un tratamiento antes de descargarlos al alcantarillado para evitar posibles afectaciones e impactos que se pueden generar (Silva, 2015, pp. 1-125 ).

Se utilizó Sulfato de Aluminio ya que es un buen agente floculante, debido a que la biomasa utilizada en el tratamiento se desprendió por la presencia del xenobiótico generando materia flotante y desintegración de la misma. Mediante pruebas realizadas en experimentaciones se utiliza 1 gramo del floculante por cada litro de agua a tratar, en este caso se utilizó 80 gramos de Sulfato de Aluminio el cual se vertió y realizó una agitación para que se disuelva por completo el floculante. Finalmente se dejó reposar durante 24 horas para que el químico actúe de manera correcta y comprobar los parámetros de temperatura, conductividad, pH y sólidos totales estén dentro de las medidas establecidas para la descarga, los cuales se realizaron con la ayuda del multiparámetro OAKLON PC 2700.

## 2.14. Modelo estadístico

Para el estudio se aplicó la varianza ANOVA y el Test de Tukey utilizando el Software RStudio, para cada caso se transformará cada observación de cambio de coloración y se relacionará con un valor numérico para realizar correctamente los estadísticos con base en los blancos. Estos análisis determinaran la incidencia de los surfactantes y la dosis sobre la biomasa de las especies *Spirogyra sp.* y *Chlorella*. En relación con los tres tipos de surfactante y las dos especies de algas, se relacionó la escala colorimétrica siendo 5 el valor más óptimo y 1 el valor distante del blanco, estos valores se establecieron en base a los blancos debido a que al final del tratamiento estos mantuvieron su color verde característico (Silva, 2015, pp. 1-125 ).

**Tabla 3-2:** Grado colorimétrico

5	Verde
4	Verde amarillento
3	Café claro
2	Café oscuro
1	Blanco

Fuente: (Silva, 2015, pp. 1-125 ).

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Identificación de las especies

Mediante un microscopio equipado con cámara digital HDMI & USB de marca Motic BA310, se realizó las observaciones de las algas con enfoque y aumento de 40 x. posteriormente se relacionó con las fotografías dispuestas en las guías de campo y se tomó en cuenta toda la información ecológica para una mejor identificación.

**Tabla 1-3:** Identificación morfológica de *Spirogyra spp.*

<i>Spirogyra spp.</i>	
	
<i>Spirogyra spp.</i>	<i>Spirogyra spp.</i>

**Fuente:** Guía de campo para identificación de algas

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

Las fotografías demuestran que específicamente se trata de la especie de alga en estudio *Spirogyra spp.* y con la siguiente taxonomía:

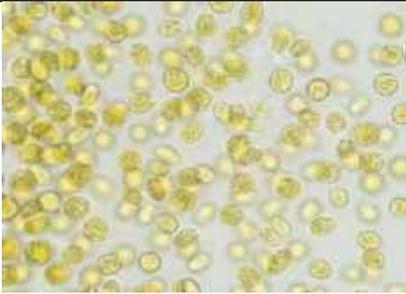
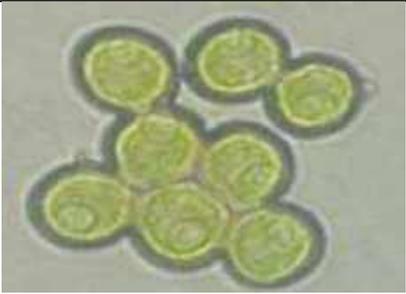
**Tabla 2-3:** Clasificación taxonómica de *Spirogyra spp.*

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Charophyta
<b>Clase</b>	Conjugophyceae
<b>Orden</b>	Zygnematales
<b>Familia</b>	Zygnemataceae
<b>Género</b>	<i>Spirogyra</i>

**Fuente:** Guía de campo para identificación de algas.

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 3-3:** Identificación morfológica de *Chlorella sp.*

<i>Chlorella sp.</i>	
	
<i>Chlorella sp.</i>	<i>Chlorella sp.</i>

**Fuente:** Guía de campo para identificación de algas

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

Los gráficos denotan que efectivamente se trata de la especie de alga en estudio *Chlorella sp.* con peculiaridades mencionadas en el Capítulo I y la siguiente taxonomía:

**Tabla 4-3:** Clasificación taxonómica de *Chlorella sp.*

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Chlorophyta
<b>Clase</b>	Trebouxiophyceae
<b>Orden</b>	Chlorellales
<b>Familia</b>	Chlorellaceae
<b>Género</b>	<i>Chlorella</i>

**Fuente:** Guía de campo para identificación de algas

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

### 3.2. Resultados de los surfactantes aniónicos a utilizar

Mediante la realización de encuestas se pudo determinar los productos de limpieza domésticos más usados en el Ecuador, las encuestas se realizaron en lugares estratégicos de las regiones Costa y Sierra, con un total de 153 encuestados, para así obtener datos reales y concisos que ayudaron a establecer cuáles son los detergentes mayormente utilizados en los hogares ecuatorianos, obteniendo los siguientes datos:

**Tabla 5-3:** Resultados de la encuesta realizada

<b>Preguntas</b>	<b>Respuestas</b>					<b>TOTAL</b>
¿En qué región del Ecuador vive usted?	<b>Costa</b>		<b>Sierra</b>			<b>153 Personas Encuestadas</b>
	76		77			
¿Sabía usted que los productos de limpieza domésticos generan contaminación acuática?	<b>Si</b>		<b>No</b>			
	91		62			
¿Qué marca de detergente para ropa utiliza usted?	<b>Deja</b>	<b>Ciclón</b>	<b>Surf</b>	<b>Otras</b>		
	94	46	2	11		
¿Cuál de estas marcas de Shampoo usa con más frecuencia?	<b>Pantene</b>	<b>Head &amp; Shoulders</b>	<b>Savital</b>	<b>Sedal</b>	<b>Otras</b>	
	74	29	19	2	29	
¿Qué lava vajillas es usado en su hogar?	<b>Lava</b>	<b>Sapolio</b>	<b>Axión</b>	<b>Otras</b>		
	106	3	43	1		

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

La base de datos generada mediante la encuesta proporcionó de información real y actualizada, para identificar cuáles son los productos de uso doméstico para la limpieza diaria, los cuales se descargan al alcantarillado público sin un previo tratamiento y ocasionan un impacto significativo a la vida acuática. Dando un total de 76 personas de la Costa y 77 personas de la Sierra, los cuales fueron encuestados.

Gran porcentaje de los encuestados no conocían a cerca de la contaminación generada por los detergentes, debido a la escasa información acerca del impacto ambiental provocado por las descargas de aguas residuales que contienen tensoactivos, aceites y grasas.

Los datos obtenidos en la encuesta son de suma importancia al momento de elegir los surfactantes aniónicos para el estudio y así conseguir resultados que sirvan de partida para investigaciones futuras. Estos detergentes mediante sus “CAS”, se determinaron los surfactantes aniónicos activos de cada producto de limpieza que se usó en la investigación, siendo estos:

- Lauril sulfato sódico (SLS) tensoactivo aniónico del detergente en polvo para ropa “Deja”.
- El ácido dodecylbencenosulfónico (ADS) tensoactivo aniónico del jabón lava platos “Lava”.
- Lauril éter sulfato de sodio (SLES) tensoactivo aniónico del Shampoo “Pantene”.

### 3.3. Resultados de la fase de adaptabilidad de las algas

En esta fase se aisló las especies *Chlorella sp.* y *Spirogyra spp.* para posteriormente sembrarlas en las unidades experimentales con considerables biomásas en ambas especies. Se adaptaron lámparas con luz LED en estanterías, para que la temperatura no descienda bruscamente y suministrar de luz a las algas, con el fin de que se adapten y multipliquen, para continuar con las dosificaciones de los surfactantes en cada unidad experimental. De igual manera, se proporcionó de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> a *Chlorella sp.* para el aumento de biomasa mediante una bomba de aire conectada con mangueras y con un “timer” se configuró el tiempo necesario de suministro de aire que fue de 12 horas diarias durante 15 días para obtener la cantidad necesaria de alga para el tratamiento.

### 3.4. Resultados del control de las variables

Las mediciones para el control de las variables de pH, Temperatura, Conductividad y Sólidos Totales, se las realizó con la ayuda de un Multiparámetro (OAKLON PC 2700), haciendo controles antes de la dosificación para observar los valores iniciales, durante la dosificación y después de la misma para analizar los valores variantes durante cada etapa. Este control se lo efectuó en el laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

A continuación, se denotan los resultados obtenidos de las mediciones de las variables durante los periodos establecidos, los cuales ayudaron a tener las condiciones aptas de las dos especies de algas para que el estudio se desarrolle con normalidad.

#### 3.4.1. Control de variables en *Spirogyra spp.*

**Tabla 6-3:** Control de variables antes de la dosificación con los tensoactivos aniónicos

---

*Spirogyra spp.*

---

Unidad Experimental	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (g/L)
Blanco SLS	20,9	7,69	1,5	1,2
SLS1a	20,2	7,85	1,5	1,2
SLS1b	21,0	7,48	1,5	1,2
SLS1c	20,9	7,6	1,5	1,2
SLS2a	20,7	7,7	1,5	1,2
SLS2b	20,9	7,68	1,5	1,2
SLS2c	20,9	7,65	1,5	1,2
SLS3a	20,9	7,6	1,5	1,2
SLS3b	20,9	7,69	1,5	1,2
SLS3c	20,9	7,66	1,5	1,2
Blanco ADS	20,9	7,69	1,5	1,2
ADS1a	20,9	7,65	1,5	1,2
ADS1b	20,9	7,68	1,5	1,2
ADS1c	20,9	7,75	1,5	1,2
ADS2a	20,5	7,69	1,5	1,2
ADS2b	20,6	7,6	1,5	1,2
ADS2c	20,8	7,58	1,5	1,2
ADS3a	20,9	7,63	1,5	1,2
ADS3b	20,9	7,68	1,5	1,2
ADS3c	20,9	7,69	1,5	1,2
Blanco SLES	20,9	7,69	1,5	1,2
SLES1a	20,9	7,65	1,5	1,2
SLES1b	20,9	7,58	1,5	1,2
SLES1c	20,6	7,68	1,5	1,2
SLES2a	20,7	7,66	1,5	1,2
SLES2b	20,9	7,69	1,5	1,2
SLES2c	20,8	7,65	1,5	1,2
SLES3a	20,9	7,59	1,5	1,2
SLES3b	20,9	7,6	1,5	1,2
SLES3c	20,7	7,67	1,5	1,2

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 7-3:** Control de variables al momento de la dosificación con los tensoactivos aniónicos

*Spirogyra spp.*

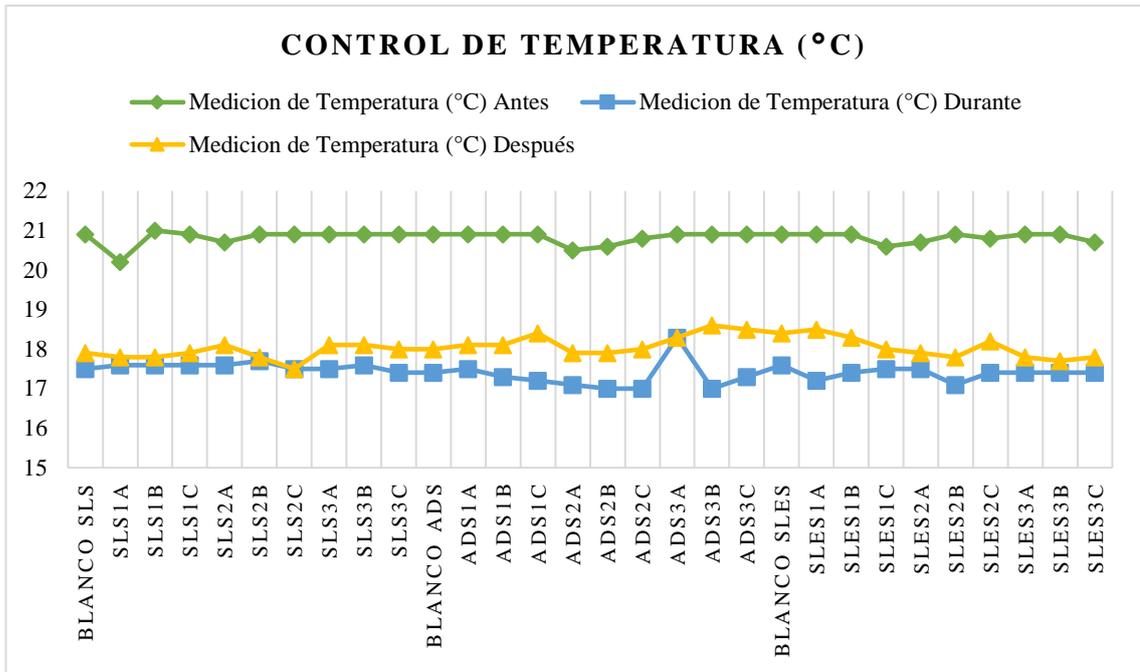
<b>Unidad Experimental</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad (mS/cm)</b>	<b>Sólidos Totales Disueltos (g/L)</b>
Blanco SLS	17,5	7,02	4,95	3,643
SLS1a	17,6	7,10	3,95	2,841
SLS1b	17,6	7,05	4,86	3,590
SLS1c	17,6	7,07	4,79	3,545
SLS2a	17,6	7,06	5,00	3,687
SLS2b	17,7	7,03	4,74	3,478
SLS2c	17,5	7,07	4,59	3,371
SLS3a	17,5	7,03	4,65	3,422
SLS3b	17,6	7,07	4,55	3,365
SLS3c	17,4	7,06	4,64	3,460
Blanco ADS	17,4	6,60	4,48	3,230
ADS1a	17,5	6,36	7,72	3,988
ADS1b	17,3	6,68	4,29	3,124
ADS1c	17,2	6,65	4,45	3,266
ADS2a	17,1	6,8	4,34	3,142
ADS2b	17,0	6,78	4,36	3,172
ADS2c	17,0	6,7	4,48	3,301
ADS3a	18,3	6,86	4,50	3,254
ADS3b	17,0	6,79	4,50	3,268
ADS3c	17,3	6,64	4,19	3,059
Blanco SLES	17,6	6,62	4,57	3,510
SLES1a	17,2	6,92	4,60	3,394
SLES1b	17,4	6,89	4,55	3,383
SLES1c	17,5	7,00	4,61	3,381
SLES2a	17,5	6,97	4,41	3,279
SLES2b	17,1	6,90	4,77	3,561
SLES2c	17,4	6,93	4,55	3,369
SLES3a	17,4	6,65	4,92	3,698
SLES3b	17,4	6,97	4,02	2,899
SLES3c	17,4	6,88	4,44	3,186

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 8-3:** Control de variables transcurrido 120 horas de la dosificación con los tensoactivos aniónicos

<i>Spirogyra spp.</i>				
<b>Unidad Experimental</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad (mS/cm)</b>	<b>Sólidos Totales Disueltos (g/L)</b>
Blanco SLS	17,9	6,57	4,6	3,283
SLS1a	17,8	6,57	4,2	3,135
SLS1b	17,8	6,47	5,36	4,071
SLS1c	17,9	6,54	5,12	3,867
SLS2a	18,1	6,67	5,55	4,255
SLS2b	17,8	6,68	5,17	3,871
SLS2c	17,5	6,77	4,87	3,613
SLS3a	18,1	6,81	4,97	3,719
SLS3b	18,1	6,84	4,93	3,658
SLS3c	18	6,93	4,87	3,632
Blanco ADS	18	6,89	4,72	3,455
ADS1a	18,1	6,77	6,38	4,251
ADS1b	18,1	6,94	4,65	3,451
ADS1c	18,4	6,91	4,7	3,511
ADS2a	17,9	6,88	4,72	3,543
ADS2b	17,9	6,88	4,8	3,576
ADS2c	18	6,88	5,23	3,896
ADS3a	18,3	6,88	5,03	3,778
ADS3b	18,6	6,91	4,77	3,526
ADS3c	18,5	6,92	4,67	3,443
Blanco SLES	18,4	6,79	5,27	3,013
SLES1a	18,5	7,06	5,19	3,896
SLES1b	18,3	7,02	4,92	3,66
SLES1c	18	6,92	4,99	3,694
SLES2a	17,9	6,9	4,73	3,48
SLES2b	17,8	6,92	5,19	3,881
SLES2c	18,2	6,95	4,83	3,555
SLES3a	17,8	6,94	5,3	4,012
SLES3b	17,7	7,02	4,31	3,191
SLES3c	17,8	7,03	5,13	3,813

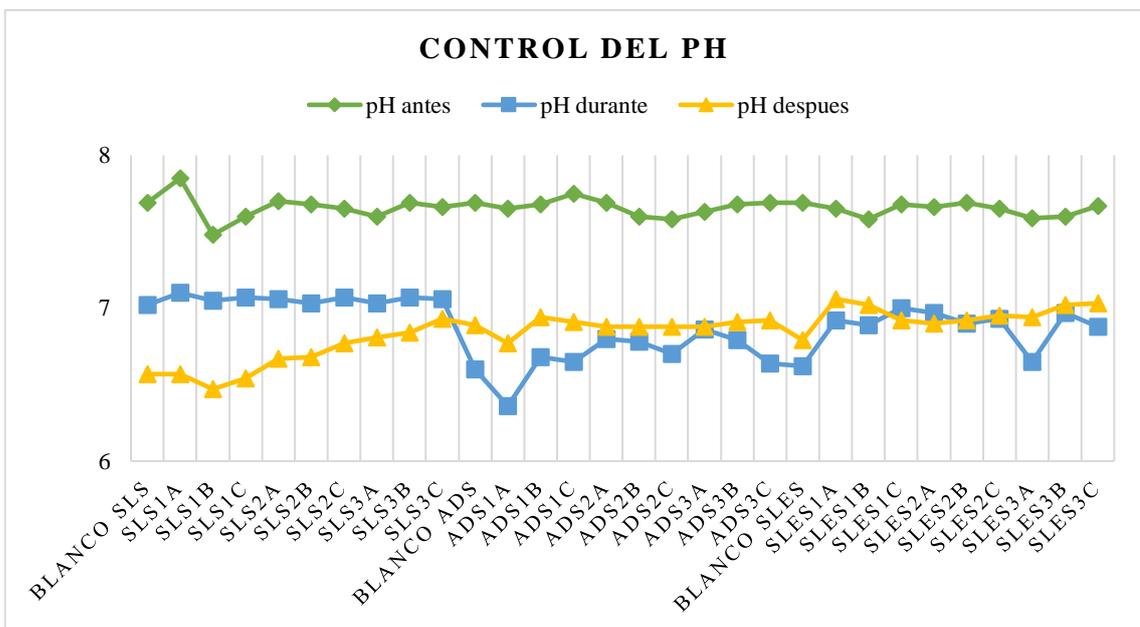
**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.



**Ilustración 1-3:** Control de Temperatura en el estudio con los surfactantes aniónicos.

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

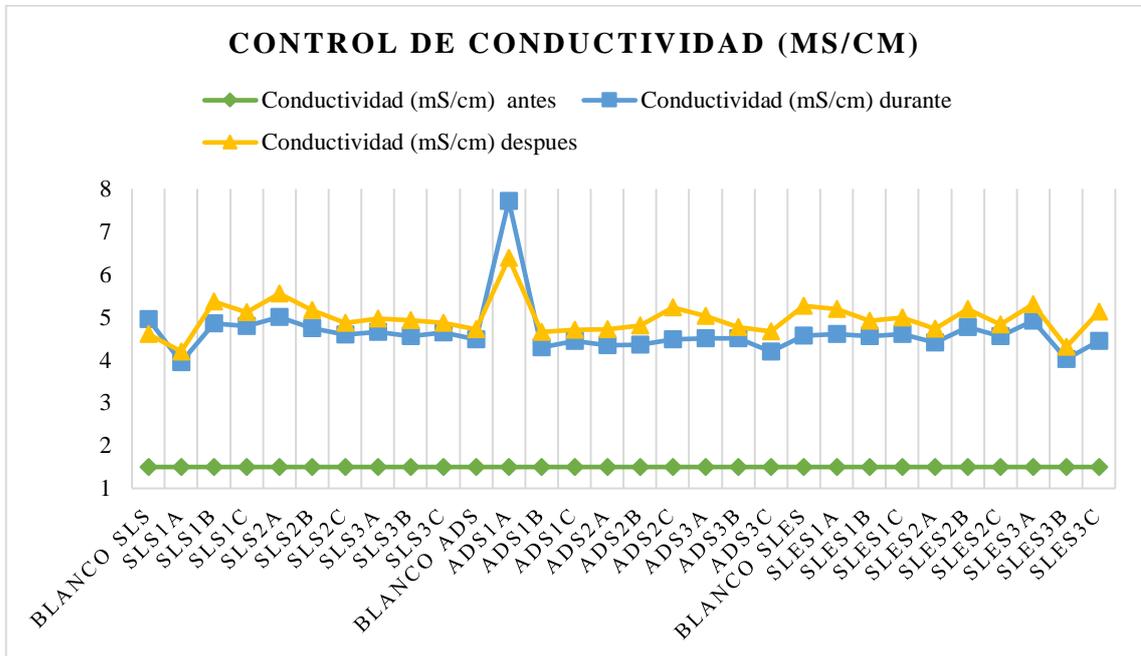
Se evidencia en el Ilustración 1-3 que antes de las dosificaciones la temperatura máxima de las unidades fue de 21 °C y la mínima 20.2 °C. Durante las dosificaciones la máxima fue de 18.3 °C y la mínima de 17 °C. En el control de la temperatura después de 120 horas de las dosificaciones el valor más alto fue 18.6 °C y la menor 17.5 °C.



**Ilustración 2-3:** Control de pH en el estudio con los surfactantes aniónicos

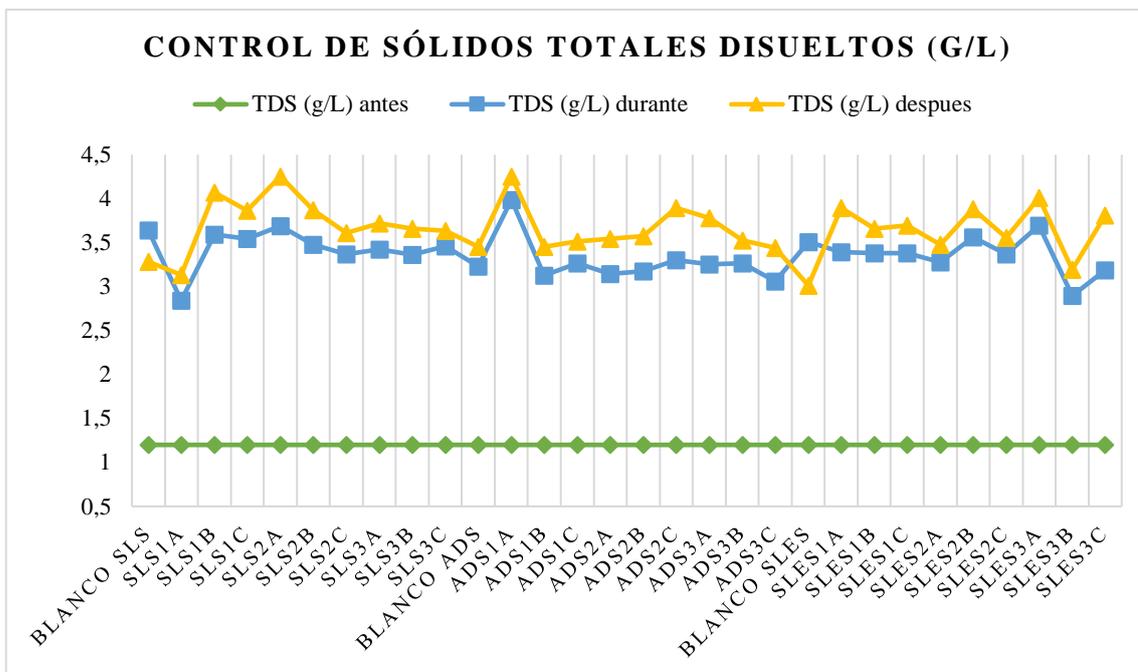
Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

Se puede observar en el Ilustración 2-3 las variaciones de pH antes de las dosificaciones siendo el valor máximo 7.85 y el mínimo 7.48. Conjuntamente, durante la dosificación se evidencia un pH máximo de 7.10 y el mínimo de 6.36. El rango de pH en todas las unidades experimentales se encuentra entre 6.4 y 7 transcurridas 120 horas de la dosificación con los detergentes, con un mínimo de 6.47 y un máximo de 7.06.



**Ilustración 3-3:** Control de la conductividad (mS/cm) en el estudio con los surfactantes aniónicos  
**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

Se evidencia en la Ilustración 3-3 que antes de la dosificación con los detergentes el valor de 1.5 mS/cm es constate en todas las unidades experimentales. Por lo contrario, se denota una ligera variación entre los valores de conductividad durante la adición de los detergentes, dando como máximo 7.72 mS/cm y un mínimo valor de 3.95 mS/cm. Los valores de conductividad trascurridas 120 horas de las dosificaciones existen variaciones poco significativas pero enlazadas con los valores de pH, con un valor máximo de 6.38 mS/cm y un mínimo de 4.2 mS/cm.



**Ilustración 4-3:** Control de los Sólidos Totales Disueltos (g/L) en el estudio con los surfactantes aniónicos

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

Se puede observar en la Ilustración 4-3 que antes de adicionar los surfactantes son constantes, no varían, se mantiene el valor de 1,2 g/L en todas las unidades experimentales. Al momento de añadir los surfactantes, se puede evidenciar que el valor máximo es de 3.988 g/L, y el mínimo 2.841 g/L. Finalmente las variaciones en la concentración de Sólidos Totales en las unidades experimentales son debido a que transcurrido 120 horas del estudio las algas tienden a separarse o desintegrarse por la presencia de los detergentes, lo cual genera un aumento en los valores de TDS, teniendo como máximo 4,255 g/L y un mínimo de 3,013 g/L.

### 3.4.2. Control de variables en *Chlorella sp.*

**Tabla 9-3:** Medición de variables antes de la dosificación con los tensoactivos aniónicos en *Chlorella sp.*

<i>Chlorella sp.</i>				
Unidad Experimental	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (g/L)
Blanco SLS	20,5	7,58	1,8	1,5
SLS1a	20,3	7,35	1,8	1,5
SLS1b	20,6	7,56	1,8	1,5
SLS1c	20,5	7,35	1,8	1,5
SLS2a	20,2	7,28	1,8	1,5
SLS2b	20,6	7,38	1,8	1,5
SLS2c	20,5	7,15	1,8	1,5
SLS3a	20,2	7,5	1,8	1,5
SLS3b	20,3	7,36	1,8	1,5
SLS3c	20,7	7,6	1,8	1,5
Blanco ADS	20,6	7,65	1,8	1,5
ADS1a	20,5	7,45	1,8	1,5
ADS1b	20,5	7,36	1,8	1,5
ADS1c	20,6	7,48	1,8	1,5
ADS2a	20,7	7,35	1,8	1,5
ADS2b	20,3	7,5	1,8	1,5
ADS2c	20,4	7,62	1,8	1,5
ADS3a	20,5	7,38	1,8	1,5
ADS3b	20,6	7,2	1,8	1,5
ADS3c	20,3	7,36	1,8	1,5
Blanco SLES	20,5	7,55	1,8	1,5
SLES1a	20,4	7,36	1,8	1,5
SLES1b	20,4	7,62	1,8	1,5
SLES1c	20,5	7,25	1,8	1,5
SLES2a	20,2	7,36	1,8	1,5
SLES2b	20,3	7,15	1,8	1,5
SLES2c	20,6	7,12	1,8	1,5
SLES3a	20,6	7,28	1,8	1,5

SLES3b	20,5	7,36	1,8	1,5
SLES3c	20,5	7,54	1,8	1,5

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 10-3:** Control de variables al momento de la dosificación con los tensoactivos aniónicos en *Chlorella sp.*

<i>Chlorella sp.</i>				
Unidad Experimental	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (g/L)
Blanco SLS	17,5	6,85	5,8	5,162
SLS1a	17,5	5,91	6,69	4,47
SLS1b	17,5	5,92	6,63	4,481
SLS1c	17,7	5,95	6,67	4,47
SLS2a	17,3	5,88	6,26	4,197
SLS2b	17,7	5,83	6,55	4,503
SLS2c	17,4	5,82	7,13	4,814
SLS3a	17,6	5,92	6,11	4,122
SLS3b	17,7	5,82	6,45	4,451
SLS3c	17,7	5,81	6,85	4,654
Blanco ADS	17,5	6,65	5,92	5,641
ADS1a	18,2	6,02	6,81	4,728
ADS1b	18,2	5,95	6,57	4,516
ADS1c	18,3	6,07	6,63	4,498
ADS2a	18,2	5,91	6,77	4,602
ADS2b	17,5	5,95	6,61	4,505
ADS2c	17,5	5,85	6,46	4,441
ADS3a	17,8	5,91	6,63	4,52
ADS3b	17,7	5,77	6,76	4,616
ADS3c	17,3	5,81	6,68	4,56
Blanco SLES	17,5	6,86	6,02	5,707
SLES1a	17,9	5,87	6,37	4,377
SLES1b	17,6	5,84	6,29	4,339
SLES1c	18	5,93	6,63	4,497
SLES2a	17,5	5,9	6,46	4,397
SLES2b	17,7	5,91	6,41	4,41

SLES2c	17,8	5,92	6,77	3,938
SLES3a	17,8	5,9	6,63	4,533
SLES3b	17,7	5,89	6,64	4,603
SLES3c	17,6	5,73	6,57	4,535

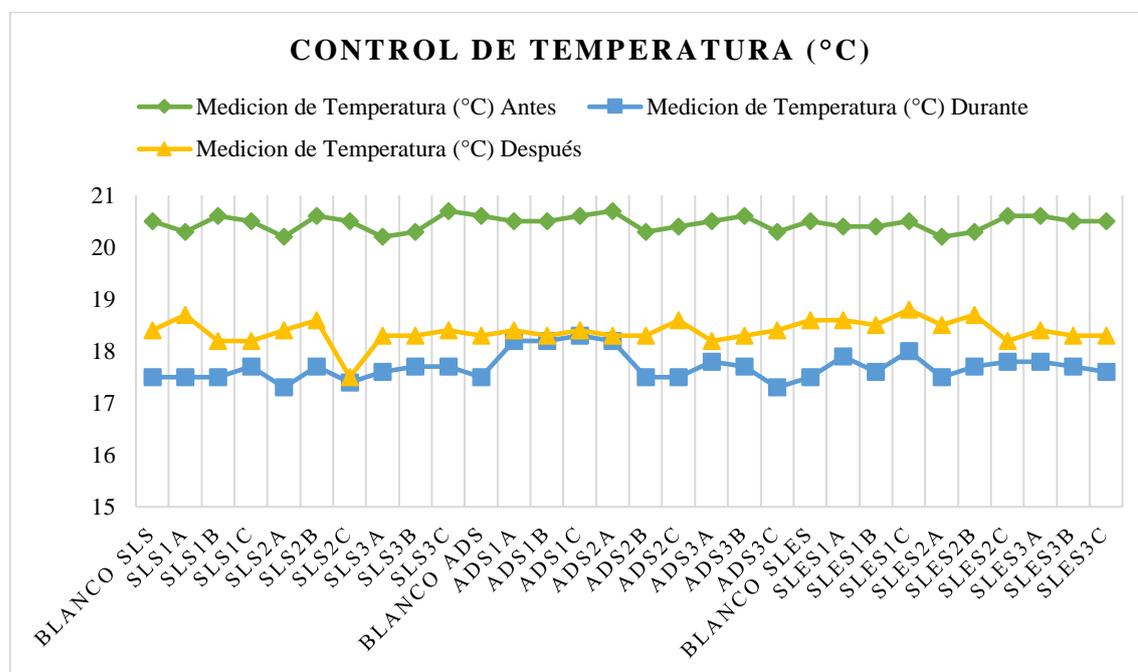
Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 11-3:** Control de variables transcurrido 120 horas de la dosificación con los tensoactivos aniónicos en *Chlorella sp*

<i>Chlorella sp.</i>				
Unidad Experimental	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (mS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (g/L)
Blanco SLS	18,4	6,28	7,58	6,512
SLS1a	18,7	5,83	6,79	4,502
SLS1b	18,2	5,86	6,75	4,519
SLS1c	18,2	5,95	6,64	4,465
SLS2a	18,4	5,8	6,33	4,26
SLS2b	18,6	5,82	6,66	4,524
SLS2c	17,5	5,83	7,01	4,865
SLS3a	18,3	5,88	6,16	4,153
SLS3b	18,3	5,79	6,62	4,483
SLS3c	18,4	5,78	6,74	7,704
Blanco ADS	18,3	6,48	7,8	6,861
ADS1a	18,4	5,93	7,05	4,405
ADS1b	18,3	5,9	6,7	4,371
ADS1c	18,4	5,91	6,66	4,547
ADS2a	18,3	5,91	6,74	4,438
ADS2b	18,3	5,94	6,54	4,452
ADS2c	18,6	5,9	6,54	3,917
ADS3a	18,2	5,89	6,63	4,569
ADS3b	18,3	5,87	6,67	4,602
ADS3c	18,4	5,84	6,65	4,515
Blanco SLES	18,6	6,33	8,02	6,712
SLES1a	18,6	6,15	6,4	4,891
SLES1b	18,5	6,07	6,37	4,653
SLES1c	18,8	6,01	6,58	4,548

SLES2a	18,5	5,94	6,45	4,699
SLES2b	18,7	5,93	6,35	4,556
SLES2c	18,2	5,93	5,76	4,484
SLES3a	18,4	5,88	6,61	4,582
SLES3b	18,3	5,92	6,6	4,673
SLES3c	18,3	5,89	6,51	4,634

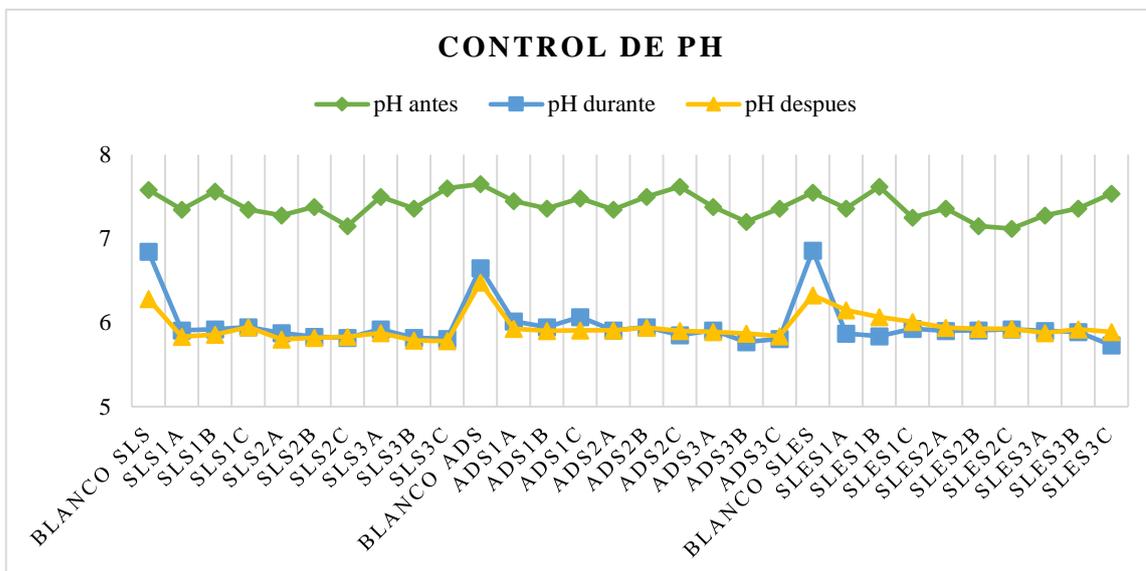
Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.



**Ilustración 5-3:** Control de Temperatura en el estudio con los surfactantes aniónicos

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

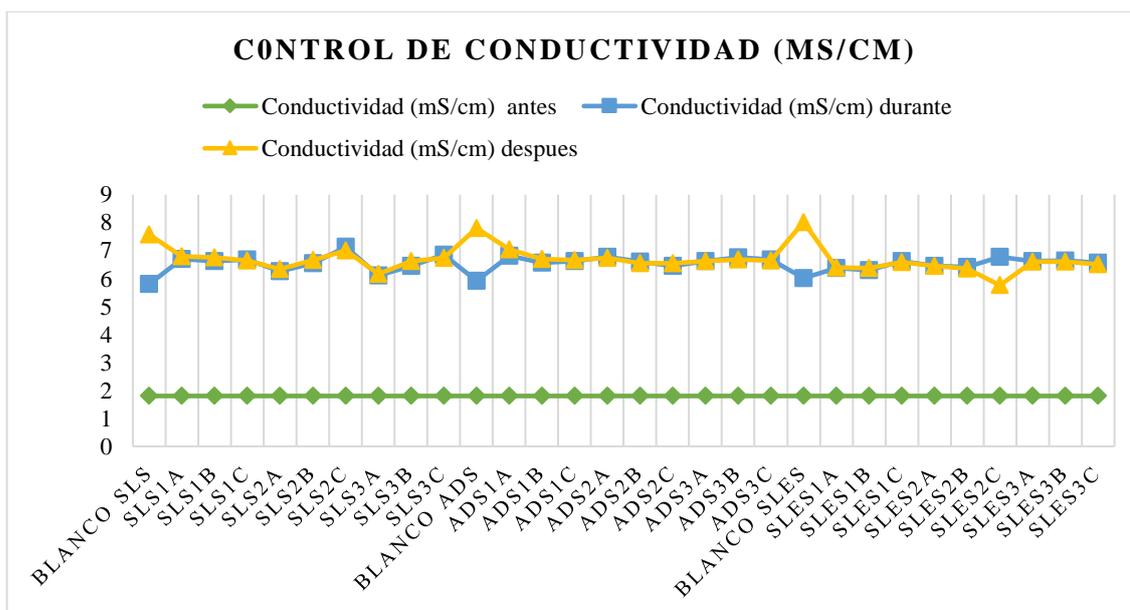
Se evidencia en la Ilustración 5-3 la variación en el control de la Temperatura en las unidades experimentales, teniendo un valor máximo de 20,7 °C y un mínimo de 20,2 °C antes de las dosificaciones. Consecutivamente durante la adición de los detergentes el valor máximo fue de 18,3 °C, y el mínimo de 17,3 °C. Finalmente transcurridas 120 horas de las dosificaciones la temperatura máxima fue de 18,8 °C y una temperatura mínima de 17,5 °C.



**Ilustración 6-3:** Control del pH en el estudio con los surfactantes aniónicos.

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

Dados los datos de la Ilustración 6-3 se denota un valor máximo de 7,65 y un mínimo de 7,12 antes de las dosificaciones. Durante la adición de los surfactantes se evidencia ligeras variaciones llegando a un máximo de 6,86 y un mínimo de 5,73. Transcurridas las 120 horas de las dosificaciones el valor máximo fue de 6,48 y un mínimo de 5,78.

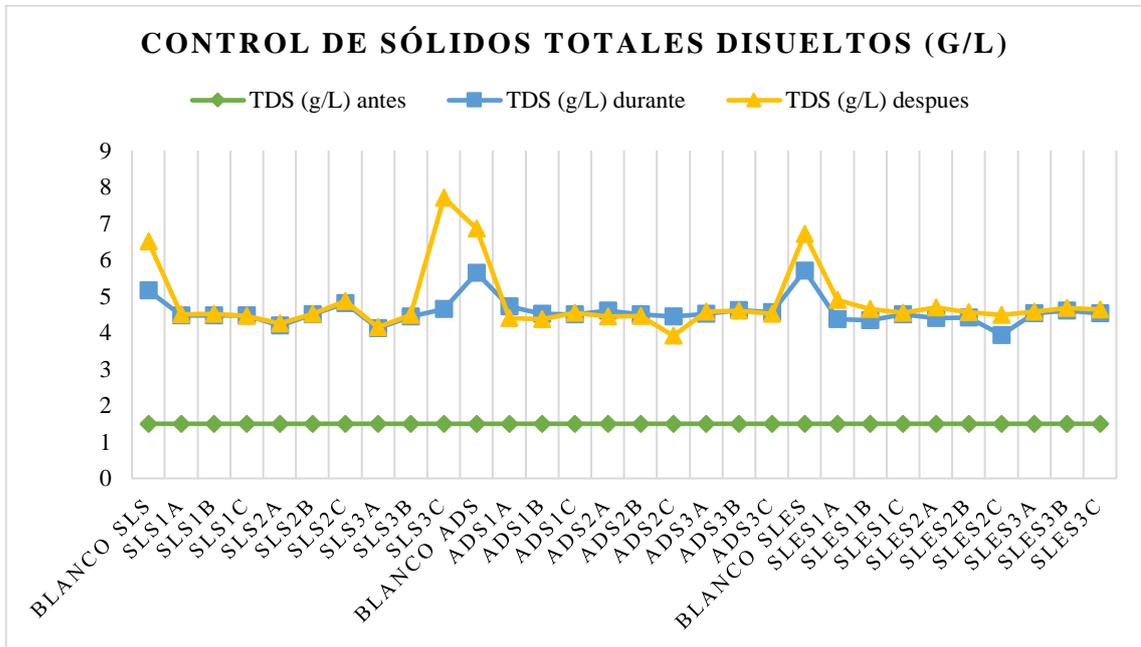


**Ilustración 7-3:** Control de la Conductividad (mS/cm) en el estudio con los surfactantes aniónicos

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

Se evidencia en la Ilustración 7-3 que los valores de conductividad antes de añadir los surfactantes

son constante con un valor de 1,8 mS/cm. Durante las dosificaciones existieron variaciones con un valor máximo de 7,13 mS/cm y un mínimo de 5,8 mS/cm, aduciendo que los blancos tienen una conductividad menor respecto a las demás unidades experimentales debido a que mantiene relación con el pH. Transcurridas 120 horas de las dosificaciones en las unidades experimentales, se reportó un valor máximo de 8,02 mS/cm y un mínimo de 5,76 mS/cm.



**Ilustración 8-3:** Control de TDS (g/L) en el estudio con los surfactantes aniónicos

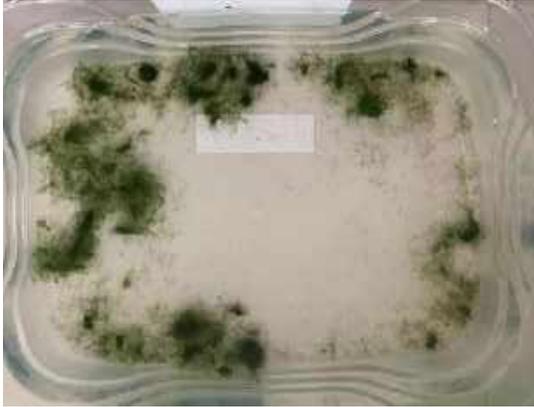
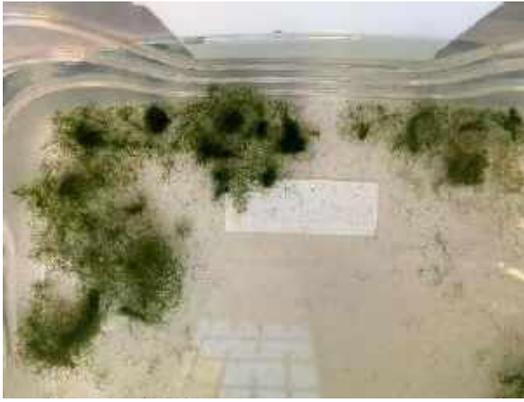
**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

En la Ilustración 8-3 se evidencia que los valores antes de adicionar los surfactantes son constantes, no varían, se mantiene el valor de 1,5 g/L en todas las unidades experimentales. Al momento de adicionar los surfactantes hay poca significancia en la variación de datos, con un valor máximo de 5,707 g/L y un mínimo de 3,938 g/L. Después de las dosificaciones se obtuvo un valor máximo de 7,704 g/L y un mínimo de 3,917 g/L.

### 3.5. Resultados de la dosificación con los surfactantes aniónicos

#### 3.5.1. Dosificación en *Spirogyra spp.*

**Tabla 12-3:** Dosificación del surfactante aniónico Lauril Sulfato Sódico (SLS) a concentración de 10 ppm

Unidad Experimental 1	EXPOSICIÓN AL SURFACTANTE ANIÓNICO LAURIL SULFATO SÓDICO A 10 ppm CON 20 mL		
	24 horas	72 horas	120 horas
SLS1a			
	<p>Agrupación de biomasa con color característico, desprendimiento de filamentos del alga con tonalidades marrones, deposición de filamentos al fondo del recipiente.</p>	<p>El alga en su mayoría conserva el color verde, mayor desprendimiento de filamentos con pérdidas de coloración y precipitación de biomasa hacia el fondo del recipiente.</p>	<p>Desintegración de filamentos desprendidos, la totalidad de biomasa se depositó en el fondo del recipiente existiendo decoloraciones marrones entre la misma.</p>

	24 horas	72 horas	120 horas
SLS1b			
	Agrupación de biomasa del alga, el cultivo se dispone en la parte superior del recipiente, existe desprendimiento de filamentos con decoloraciones amarillentas.	Los filamentos se depositan al fondo del recipiente, comienzan a desintegrarse los mismos y la biomasa pierde el color verde característico.	Se observa una agrupación de filamentos decolorados, desintegración de filamentos desprendidos y decoloraciones marrones entre la biomasa agrupada, la misma se depositó al fondo del recipiente.

	24 horas	72 horas	120 horas
SLS1c			
	La biomasa conserva el color verde característico, existe desprendimiento de filamentos hacia el fondo del recipiente con pérdida de coloración.	Decoloración marrón entre la biomasa, desintegración de los filamentos y deposición del alga en el fondo del recipiente.	Perdida de cohesión en la biomasa, reducción considerable de la misma, los filamentos externos se desintegraron y los que se conservan presentan decoloraciones marrones.

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 13-3:** Dosificación del surfactante aniónico Lauril Sulfato Sódico (SLS) a concentración de 20 ppm

Unidad Experimenta 1	EXPOSICIÓN AL SURFACTANTE ANIÓNICO LAURIL SULFATO SÓDICO A 20 ppm CON 25 mL		
SLS2a	24 horas	72 horas	120 horas
			
<p>Presencia de burbujas en el cultivo, desprendimiento de filamentos en todo el recipiente, la biomasa tuvo decoloración a un tono café amarillento.</p>	<p>Reducción considerable de biomasa por filamentos desintegrados, presencia de burbujas en el cultivo, decoloración de la biomasa.</p>	<p>Presencia de burbujas, desintegración de filamentos y separación de biomasa con decoloraciones marrones y amarillentas, cambio de estructura del alga.</p>	

	24 horas	72 horas	120 horas
SLS2b			
	Desprendimiento de material filamentoso, la biomasa se depositó en el fondo del envase, pequeñas decoloraciones en la misma.	Reducción de biomasa, cambio de coloración amarillenta, incremento de material filamentoso desprendido.	Desintegración de filamentos desprendidos, cambio de color en la biomasa con tonalidades marrones y amarillentas, reducción de biomasa.

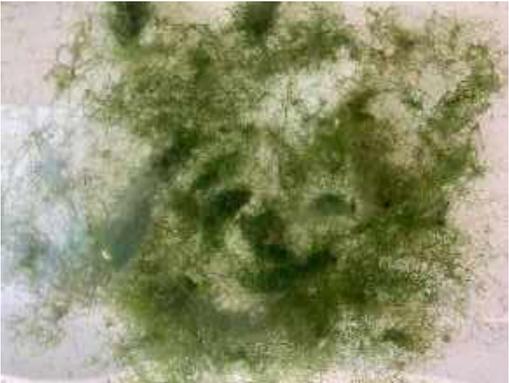
	24 horas	72 horas	120 horas
SLS2c			
	Desprendimiento de filamentos en todo el recipiente, agrupamiento de biomasa en el fondo del mismo.	Reducción de biomasa, decoloración a tonalidad amarillenta, incremento de filamentos y formación de pequeñas burbujas en la superficie del recipiente.	Desintegración de biomasa, pérdida de clorofila y presencia de cambio de color a tonalidades cafés amarillentas

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 14-3:** Dosificación del surfactante aniónico Lauril Sulfato Sódico (SLS) a concentración de 30 ppm

Unidad Experimenta 1	EXPOSICIÓN AL SURFACTANTE ANIÓNICO LAURIL SULFATO SÓDICO A 30 ppm CON 30 mL		
SLS3a	24 horas	72 horas	120 horas
			
<p>Desprendimiento de material filamentoso en el fondo del recipiente, el alga mantiene el color verde característico.</p>	<p>Decoloración en la biomasa y reducción de la misma, los filamentos se tornan blanquecinos y comienzan a desintegrarse.</p>	<p>La biomasa tiende a separarse precipitando hacia el fondo del recipiente material filamentoso blanquecino casi desintegrado, hay una considerable reducción de alga.</p>	

	24 horas	72 horas	120 horas
SLS3b			
	<p>Agrupamiento de la biomasa con desprendimiento de filamentos de alga, la biomasa mantiene el color verde característico del alga.</p>	<p>Existe decoloración en la biomasa y los filamentos se tornan de color blanco y tienden a desintegrarse, la biomasa se deposita en el fondo del recipiente.</p>	<p>Reducción considerable de biomasa por desintegración de filamentos blanquecinos, cambio de coloración en el alga por la pérdida de clorofila con tonalidades marrones y amarillas.</p>

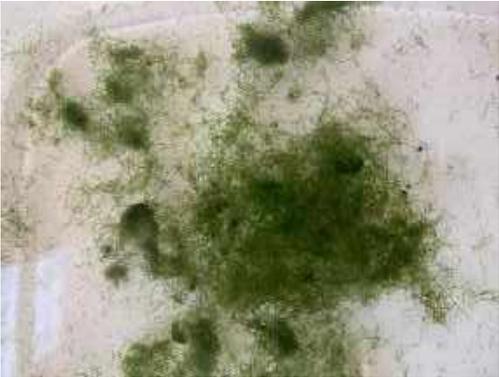
	24 horas	72 horas	120 horas
SLS3c			
	<p>Desprendimiento de material filamentoso, se puede evidenciar decoloraciones en la biomasa con tonalidades amarillentas, la mayoría del alga conserva el color verde característico.</p>	<p>Cambio de color en los filamentos desprendidos con tonalidades blanquecinas con tendencia a desaparecer.</p>	<p>Formación de película turbia encima de la biomasa por los filamentos desintegrados</p>

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 15-3:** Dosificación del surfactante aniónico Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES) a concentración de 10 ppm

Unidad Experimental	EXPOSICIÓN AL SURFACTANTE ANIÓNICO LAURIL ÉTER SULFATO DE SODIO A 10 ppm CON 20 mL		
SLES1a	24 horas	72 horas	120 horas
			
<p>Desprendimiento de material filamentosos con decoloraciones amarillentas en las mismas, agrupación de biomasa en el fondo del recipiente.</p>	<p>Decoloración en la biomasa agrupada, aumento de filamentos desprendidos con tendencia a desintegrarse.</p>	<p>Reducción considerable de biomasa por la desintegración de filamentos blanquecinos y decoloraciones marrones en el alga.</p>	

	24 horas	72 horas	120 horas
SLES1b			
	Desprendimiento de filamentos, la biomasa conserva el color verde característico, no se notan decoloraciones en la biomasa.	Los filamentos tienden a desintegrarse reduciendo la biomasa, empiezan a aparecer decoloraciones en la misma.	Filamentos desintegrados y algunos de color blanco en el fondo del recipiente, la biomasa se ha reducido y la coloración ha cambiado a un verde amarillento.

	24 horas	72 horas	120 horas
SLES1c			
	Desprendimiento de filamentos en el fondo del recipiente, el color verde característico se conserva.	Los filamentos empiezan a desintegrarse y algunos cambian a tonalidad blanca en el fondo del recipiente, decoloración en la biomasa con manchas marrones.	Reducción de biomasa por desintegración de filamentos, manchas marrones y decoloración amarillenta en la misma.

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 16-3:** Dosificación del surfactante aniónico Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES) a concentración de 20 ppm

Unidad Experimental	EXPOSICIÓN AL SURFACTANTE ANIÓNICO LAURIL ÉTER SULFATO DE SODIO A 20 ppm CON 25 mL		
SLES2a	24 horas	72 horas	120 horas
			
	<p>Pequeños filamentos desprendidos en el fondo del recipiente, el alga mantiene su color verde característico.</p>	<p>Empiezan a desintegrarse los filamentos desprendidos, decoloraciones amarillentas y manchas marrones en la biomasa.</p>	<p>Reducción de biomasa por filamentos desintegrados, decoloración y manchas café en la misma, la biomasa tiende a separarse y depositarse en el fondo del recipiente,</p>

	24 horas	72 horas	120 horas
SLES2b			
	<p>Aparecimiento de burbujas, separación de pequeños filamentos en el fondo del recipiente, la biomasa conserva su color verde característico.</p>	<p>Los filamentos desprendidos tienden a desintegrarse, burbujas en el agua, decoloraciones en la biomasa y aparecimiento de manchas cafés.</p>	<p>Reducción considerable en la biomasa por filamentos desintegrados, decoloraciones en la misma, la biomasa tiende a separarse y depositarse en el fondo del recipiente.</p>

	24 horas	72 horas	120 horas
SLES2c			
	Desprendimiento de filamentos en el fondo del recipiente, la biomasa conserva su color verde característico.	Desintegración y cambio de color en los filamentos aparición de manchas cafés en la biomasa.	Decoloración en la biomasa a un tono amarillento con algunas manchas marrones, reducción considerable de biomasa por desintegración de los filamentos.

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 17-3:** Dosificación del surfactante aniónico Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES) a concentración de 30 ppm

Unidad Experimenta 1	EXPOSICIÓN AL SURFACTANTE ANIÓNICO LAURIL ÉTER SULFATO DE SODIO A 30 ppm CON 30 mL		
SLES3a	24 horas	72 horas	120 horas
			
	<p>Existe separación de material filamentoso en el fondo del recipiente, la biomasa conserva el color verde característico a excepción de algunos filamentos tornándose de color amarillentos.</p>	<p>Los filamentos empiezan a desintegrarse, la biomasa se torna de color amarillento con algunas manchas marrones.</p>	<p>La reducción de biomasa es significativa por los filamentos desintegrados, existe cambio de coloración y desprendimiento de biomasa hacia el fondo del recipiente.</p>

	24 horas	72 horas	120 horas
SLES3b			
	Existe desprendimiento de material filamentoso, la biomasa conserva el color verde característico con pequeños rasgos amarillentos entre los filamentos.	Cambio de coloración en la biomasa a un tono amarillento con pequeños rasgos marrones, los filamentos empiezan a desintegrarse.	Decoloración en la biomasa con tonalidades marrones y amarillentas, reducción considerable de la misma por desintegración de filamentos, la biomasa tiende a separarse depositándose en el fondo del recipiente.

	24 horas	72 horas	120 horas
SLES3c			
	Material filamentoso desprendido, presencia de burbujas, la biomasa conserva su color verde, pequeños rasgos amarillentos en los filamentos.	Existe cambio de coloración en la biomasa, con presencia de burbujas en las paredes del recipiente, los filamentos comienzan a desintegrarse.	Decoloración total de la biomasa con presencia de manchas marrones y blancas parcialmente, reducción en la misma por desintegración de material filamentoso, la biomasa se deposita en el fondo del recipiente con tendencia a separarse.

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 18-3:** Dosificación del surfactante aniónico Ácido Dodecilbenceno Sulfónico (ADS) a concentración de 10 ppm

Unidad Experimental	EXPOSICIÓN AL SURFACTANTE ANIÓNICO ÁCIDO DODECILBENCENO SULFÓNICO A 10 ppm CON 20 mL		
	24 horas	72 horas	120 horas
ADS1a			
	<p>Existe desprendimiento de material filamentosos con decoloraciones en los mismos, la biomasa mantiene el color verde característico.</p>	<p>Decoloraciones amarillentas y marrones en la biomasa, los filamentos comienzan a desintegrarse en el fondo del recipiente.</p>	<p>La biomasa se ha reducido considerablemente por la desintegración del material filamentosos, presencia de cambio de color, la biomasa tiende a separarse en el fondo del contenedor.</p>

	24 horas	72 horas	120 horas
ADS1b			
	<p>Desprendimiento de filamentos, la biomasa conserva el color verde característico.</p>	<p>Cambio de color en la biomasa, aparición de manchas marrones, los filamentos comienzan a desintegrarse.</p>	<p>La biomasa se ha reducido por los filamentos desintegrados, se notan manchas marrones en la misma con tendencia a separarse en el fondo del recipiente.</p>

	24 horas	72 horas	120 horas
ADS1c			
	Desprendimiento considerable de filamentos en el fondo de recipiente, la biomasa en general mantiene el color verde característico.	Cambio de color en la biomasa presente a tonalidades amarillentas, los filamentos empiezan a desintegrarse en el fondo.	Reducción de biomasa por material filamentoso desintegrado, decoloración en la biomasa con manchas marrones, la biomasa se deposita en el fondo del contenedor con tendencia a separarse.

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 19-3:** Dosificación del surfactante aniónico Ácido Dodecilbenceno Sulfónico (ADS) a concentración de 20 ppm

Unidad Experimenta 1	EXPOSICIÓN AL SURFACTANTE ANIÓNICO ÁCIDO DODECILBENCENO SULFÓNICO A 20 ppm CON 25 mL		
ADS2a	24 horas	72 horas	120 horas
			
<p>Material filamentoso desprendido en el fondo del contenedor, la biomasa se ha agrupado y conserva el color verde característico.</p>	<p>Existen pequeñas decoloraciones amarillentas y marrones en la biomasa, los filamentos comienzan a desintegrarse.</p>	<p>Reducción considerable de biomasa por desintegración de filamentos, existe decoloración en la biomasa y la misma se deposita en el fondo del recipiente.</p>	

	24 horas	72 horas	120 horas
ADS2b			
	Existe desprendimiento de filamentos y decoloraciones en los mismos, la biomasa agrupada conserva el color verde característico.	Existe decoloración amarillenta en la biomasa, comienzan a desintegrarse los filamentos en el fondo del contenedor.	La biomasa tiende a separarse en el fondo del recipiente, reducción considerable en la misma, decoloraciones con presencia de manchas marrones.

	24 horas	72 horas	120 horas
ADS2c			
	Desprendimiento de filamentos hacia el fondo el recipiente, pequeñas decoloraciones en los mismos, la biomasa en general mantiene el color verde.	Desintegración de filamentos, decoloración amarillenta en la biomasa con rasgos marrones.	Reducción considerable de biomasa por desintegración de filamentos, decoloración con presencia de manchas marrones y blancos casi desintegrados.

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 20-3:** Dosificación del surfactante aniónico Ácido Dodecilbenceno Sulfónico (ADS) a concentración de 30 ppm

Unidad Experimenta I	EXPOSICIÓN AL SURFACTANTE ANIÓNICO ÁCIDO DODECILBENCENO SULFÓNICO A 30 ppm CON 30 mL		
ADS3a	24 horas	72 horas	120 horas
			
<p>El alga mantiene el color verde característico, los filamentos se desprendieron hacia el fondo del recipiente.</p>	<p>Desintegración de filamentos y cambio de color en la biomasa tendiendo a amarillento con manchas marrones.</p>	<p>Reducción considerable de biomasa, desintegración de la misma con separación de filamentos decolorados, la biomasa se posa en el fondo del recipiente con tendencia a separarse.</p>	

	24 horas	72 horas	120 horas
ADS3b			
	Desprendimiento de material filamentoso al fondo del recipiente, la biomasa conserva el color verde característico.	Los filamentos se empiezan a desintegrar, existe decoloraciones en la biomasa con manchas marrones.	Los filamentos se desintegraron y la biomasa cambió de color, existen manchas marrones y la biomasa se desprende en el fondo del recipiente con tendencia a desintegrarse.

	24 horas	72 horas	120 horas
			
<b>ADS3c</b>	Existe desprendimiento de filamentos de la biomasa, aún se conserva el color verde característico.	Los filamentos empiezan a desintegrarse con cambios de coloración, la biomasa se deposita en el fondo del recipiente.	La biomasa se redujo considerablemente por la desintegración de los filamentos, existe mayor decoloración en la biomasa debido a la pérdida de cloroplastos y esta tiende a separarse.

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 21-3:** Blancos para *Spirogyra spp.*

<b>BLANCOS AL FINALIZAR LA EXPERIMENTACIÓN</b>		
<b>BLANCO SLS</b>	<b>BLANCO SLES</b>	<b>BLANCO ADS</b>
		
<p>La biomasa conserva el color verde característico del alga, existen leves desprendimientos de filamentos y no hay decoloraciones.</p>	<p>La biomasa del alga mantiene su color verde característico, existe una leve separación de filamentos, no hay decoloraciones en la biomasa.</p>	<p>La biomasa conserva el color verde característico del alga, no hay decoloraciones y existe leve desprendimiento de filamentos.</p>

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**3.5.2. Dosificación en *Chlorella sp.***

**Tabla 22-3:** Dosificación del surfactante aniónico Lauril Sulfato Sódico (SLS)

<b>DOSIFICACIÓN CON EL SURFACTANTE ANIÓNICO LAURIL SULFATO SÓDICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES</b>		
<b>SLS1 (A 10 ppm con 20 mL)</b>	<b>SLS2 (A 20 ppm con 25 mL)</b>	<b>SLS3 (A 30 ppm con 30 mL)</b>
		
Biomasa precipitada en el fondo del recipiente, existe cambio de coloración a un tono verde amarillento.	Decoloración de la biomasa depositada en el fondo a una tonalidad café amarillenta, se aprecia agrupación del alga.	Existe cambio de color en la biomasa llegando a una tonalidad café anaranjado, el alga se encuentra en el fondo del recipiente.

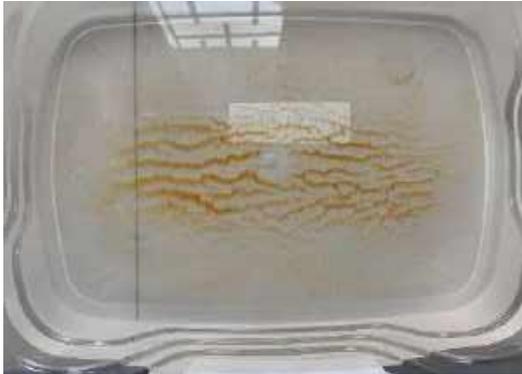
**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 23-3:** Dosificación del surfactante aniónico Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES)

<b>DOSIFICACIÓN CON EL SURFACTANTE ANIÓNICO LAURIL ÉTER SULFATO DE SODIO A DIFERENTES CONCENTRACIONES</b>		
<b>SLES1 (A 10 ppm con 20 mL)</b>	<b>SLES2 (A 20 ppm con 25 mL)</b>	<b>SLES3 (A 30 ppm con 30 mL)</b>
		
<p>Decoloración en la biomasa precipitada en el fondo del contenedor, con tonalidades verdes amarillentas.</p>	<p>La biomasa se deposita en el fondo del recipiente, existe decoloración y agrupamiento del alga.</p>	<p>La decoloración es más intensa llegando a tonalidades cafés y anaranjado oscuro, la biomasa tiende a agruparse y se deposita en el fondo del recipiente.</p>

**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

**Tabla 24-3:** Dosificación del surfactante aniónico Ácido Dodecilbenceno Sulfónico (ADS)

<b>DOSIFICACIÓN CON EL SURFACTANTE ANIÓNICO ÁCIDO DODECILBENCENO SULFÓNICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES</b>		
<b>ADS1 (A 10 ppm con 20 mL)</b>	<b>ADS2 (A 20 ppm con 25 mL)</b>	<b>ADS3 (A 30 ppm con 30 mL)</b>
		
<p>Se observa cambio de coloración, la biomasa se ha agrupado y precipitado en el fondo del contenedor.</p>	<p>Existe decoloración en la biomasa, mayor agrupación y sedimentación de la misma en el fondo del recipiente.</p>	<p>Se observa cambio de coloración en la biomasa, la misma ha precipitado al fondo del contenedor y se ha agrupado.</p>

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

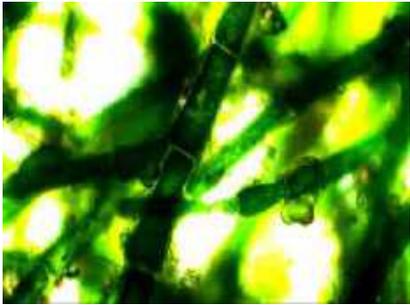
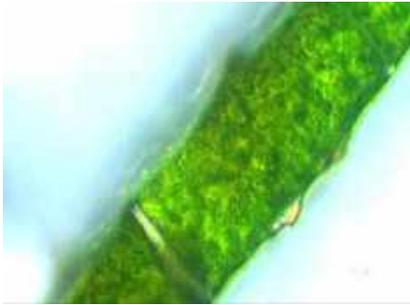
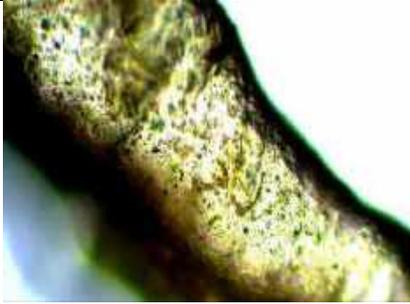
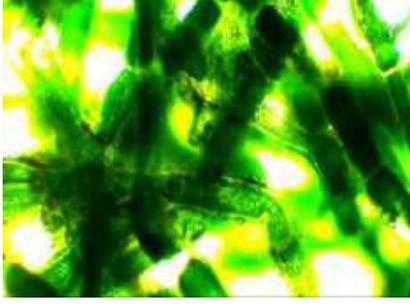
**Tabla 25-3:** Blancos para *Chlorella sp.*

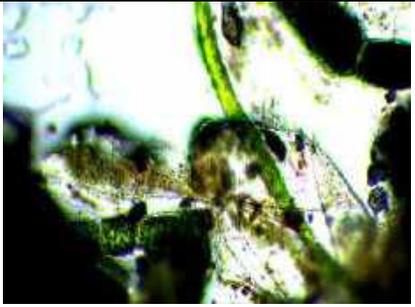
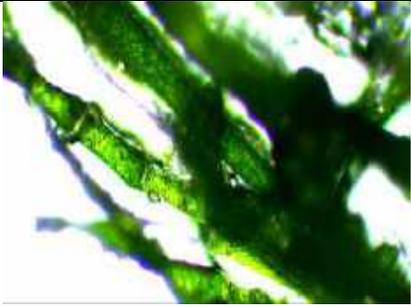
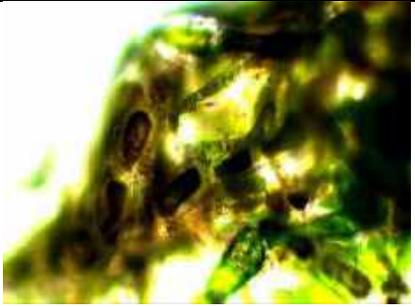
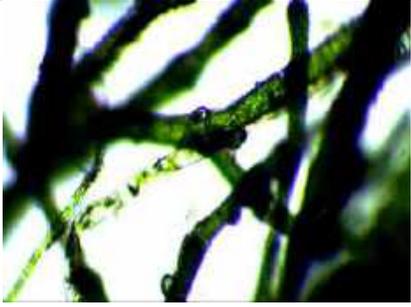
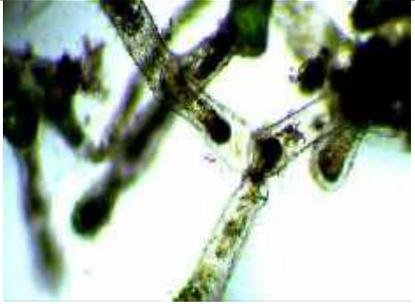
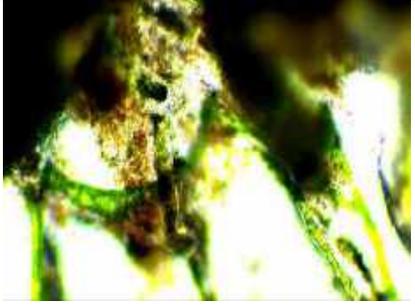
<b>BLANCOS AL FINALIZAR LA EXPERIMENTACIÓN</b>		
<b>BLANCO SLS</b>	<b>BLANCO SLES</b>	<b>BLANCO ADS</b>
		
<p>La biomasa está distribuida en el agua, no se observa mucho precipitado y el color no ha variado.</p>	<p>La biomasa ha precipitado de manera parcial conservando el color verde característico.</p>	<p>La biomasa está comprendida en el agua, no se observa precipitado y no existe variación del color.</p>

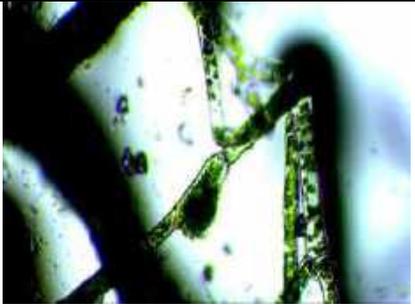
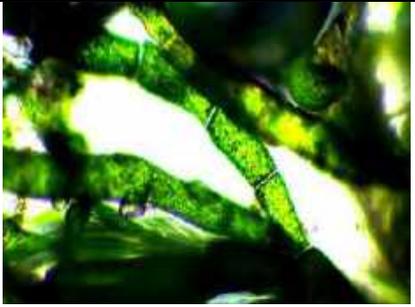
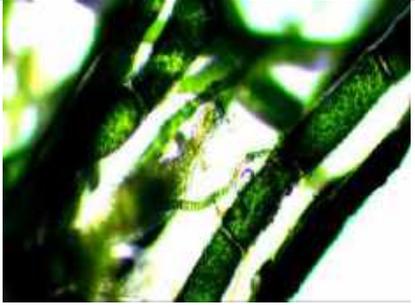
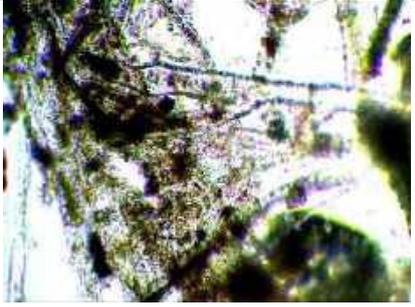
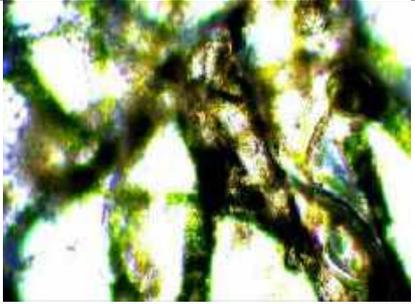
**Realizado por:** Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

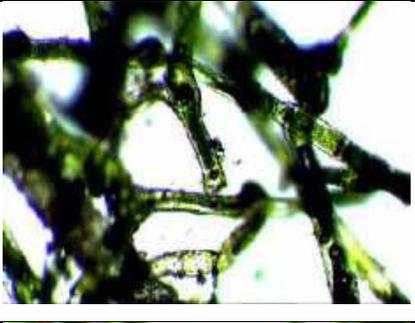
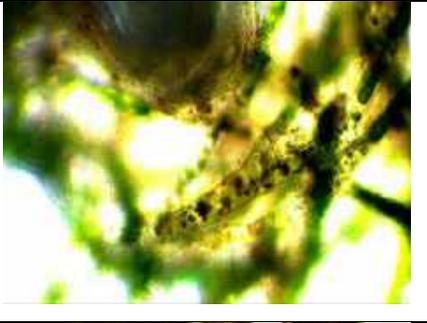
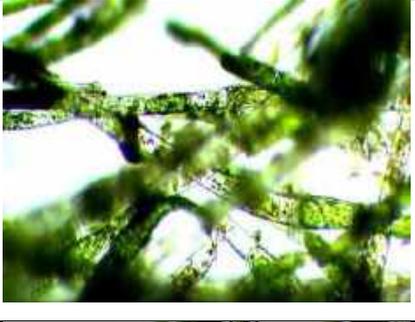
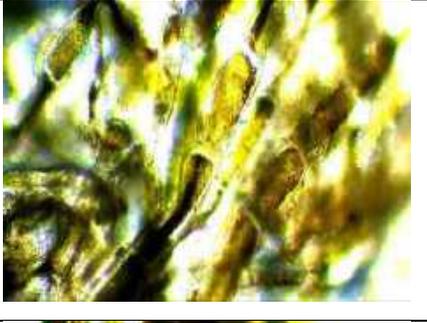
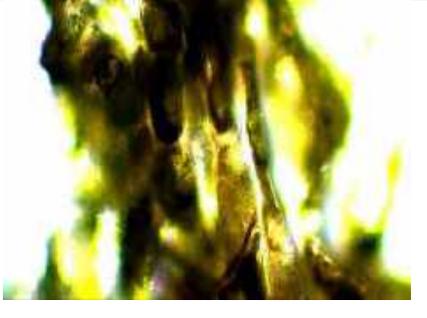
### 3.6. Resultados de las observaciones morfológicas

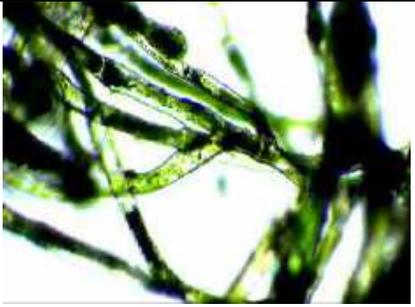
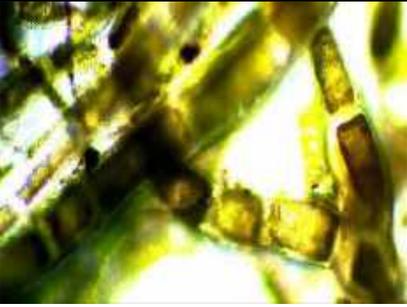
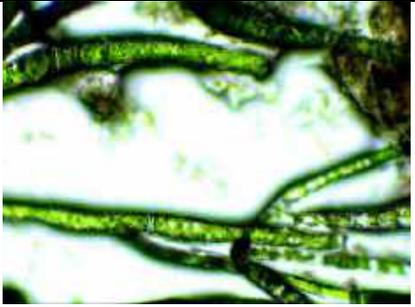
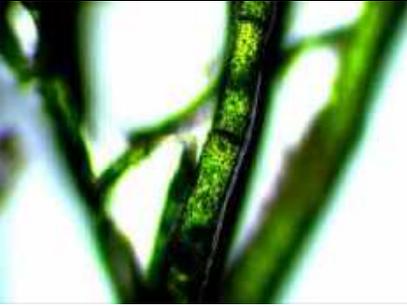
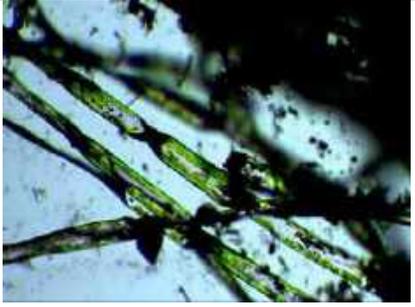
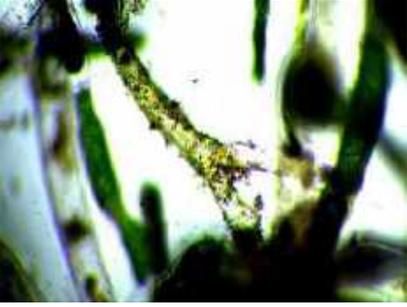
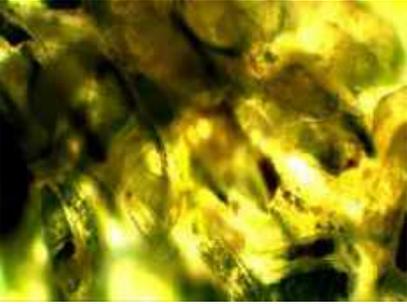
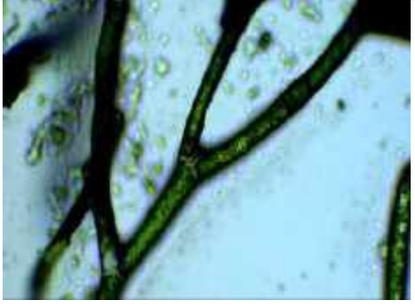
**Tabla 26-3:** Resultados para determinar la morfología antes y después del tratamiento de *Spirogyra spp.* mediante el microscopio compuesto con cámara a 40 x de aumento

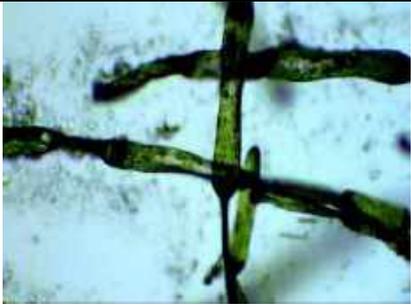
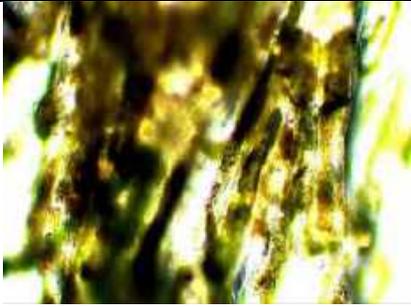
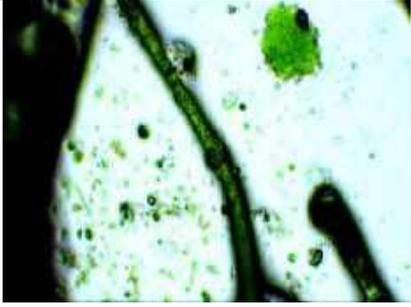
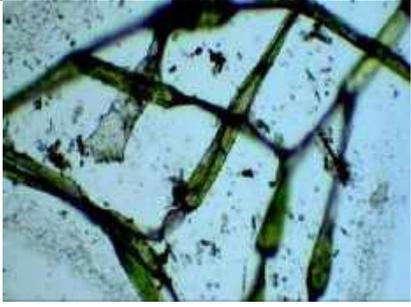
<i>Spirogyra spp.</i>		
Unidad Experimental	Antes del tratamiento	Después del tratamiento
Blanco SLS		
SLS1a		
SLS1b		
SLS1c		

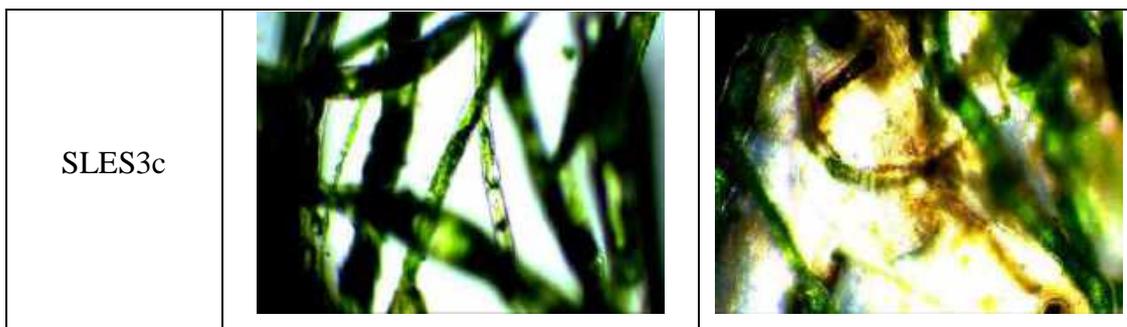
SLS2a		
SLS2b		
SLS2c		
SLS3a		
SLS3b		

SLS3c		
Blanco ADS		
ADS1a		
ADS1b		
ADS1c		

<p>ADS2a</p>		
<p>ADS2b</p>		
<p>ADS2c</p>		
<p>ADS3a</p>		
<p>ADS3b</p>		

ADS3c		
Blanco SLES		
SLES1a		
SLES1b		
SLES1c		

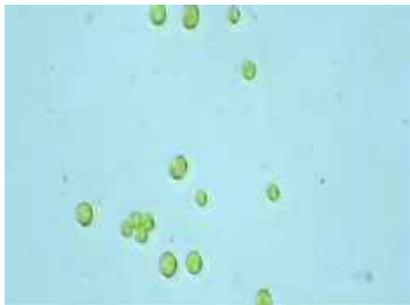
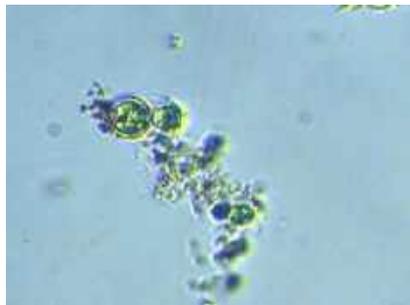
SLES2a	 Micrograph showing plant tissue (SLES2a) under a microscope. The tissue consists of several green, elongated, segmented structures, likely stems or roots, arranged in a somewhat parallel fashion. The background is light blue/white.	 Micrograph showing plant tissue (SLES2a) under a microscope. The tissue is highly magnified, showing a dense network of green, elongated structures with a yellowish-brown, fibrous or granular texture. The background is bright yellow/white.
SLES2b	 Micrograph showing plant tissue (SLES2b) under a microscope. The tissue consists of several green, elongated, segmented structures, similar to SLES2a, but with a slightly different arrangement. The background is light blue/white.	 Micrograph showing plant tissue (SLES2b) under a microscope. The tissue is highly magnified, showing a dense network of green, elongated structures with a yellowish-brown, fibrous or granular texture, similar to SLES2a. The background is bright yellow/white.
SLES2c	 Micrograph showing plant tissue (SLES2c) under a microscope. The tissue consists of several green, elongated, segmented structures, with a more irregular arrangement than SLES2a and SLES2b. The background is light blue/white.	 Micrograph showing plant tissue (SLES2c) under a microscope. The tissue is highly magnified, showing a dense network of green, elongated structures with a yellowish-brown, fibrous or granular texture, similar to SLES2a and SLES2b. The background is bright yellow/white.
SLES3a	 Micrograph showing plant tissue (SLES3a) under a microscope. The tissue consists of several green, elongated, segmented structures, with a more irregular arrangement than SLES2a, SLES2b, and SLES2c. The background is light blue/white.	 Micrograph showing plant tissue (SLES3a) under a microscope. The tissue is highly magnified, showing a dense network of green, elongated structures with a yellowish-brown, fibrous or granular texture, similar to SLES2a, SLES2b, and SLES2c. The background is bright yellow/white.
SLES3b	 Micrograph showing plant tissue (SLES3b) under a microscope. The tissue consists of several green, elongated, segmented structures, with a more irregular arrangement than SLES2a, SLES2b, SLES2c, and SLES3a. The background is light blue/white.	 Micrograph showing plant tissue (SLES3b) under a microscope. The tissue is highly magnified, showing a dense network of green, elongated structures with a yellowish-brown, fibrous or granular texture, similar to SLES2a, SLES2b, SLES2c, and SLES3a. The background is bright yellow/white.

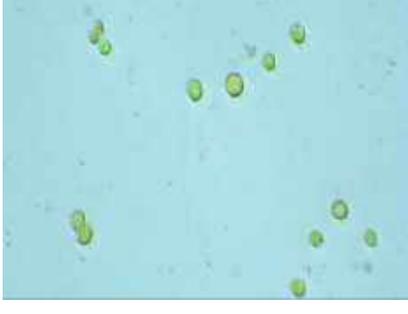
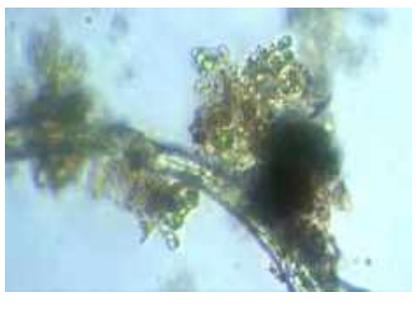
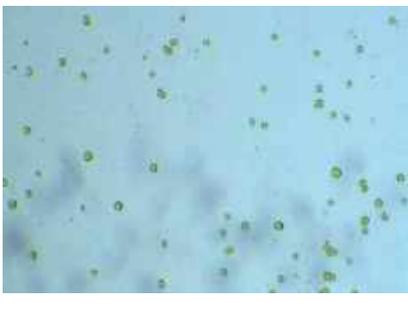
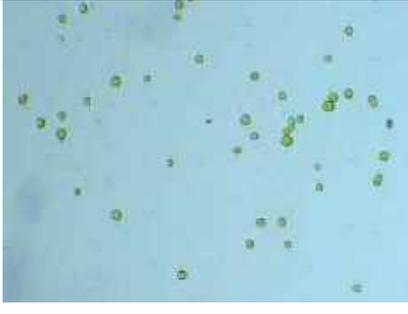
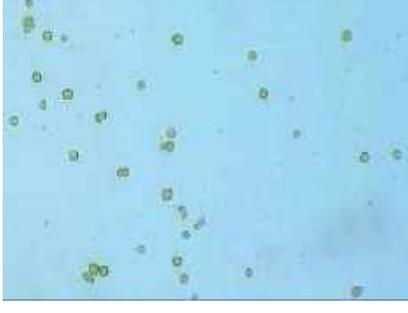
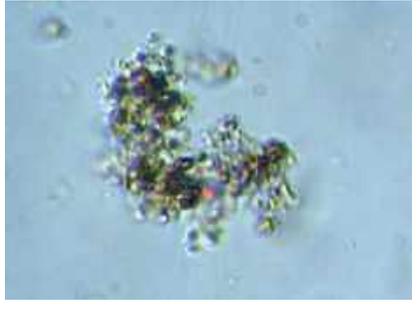
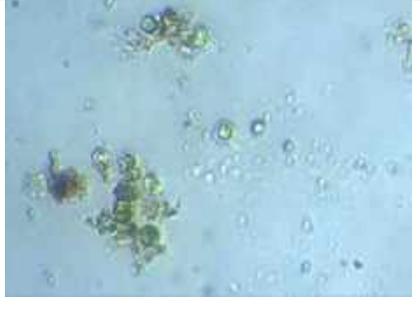


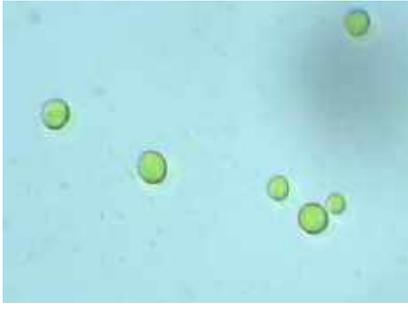
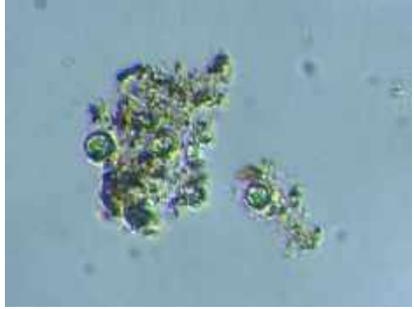
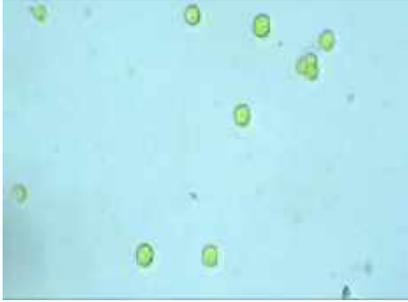
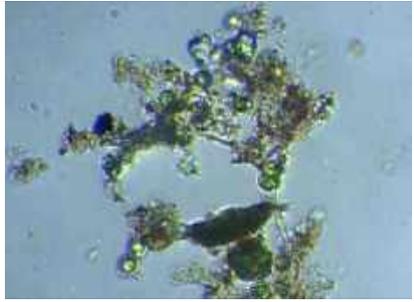
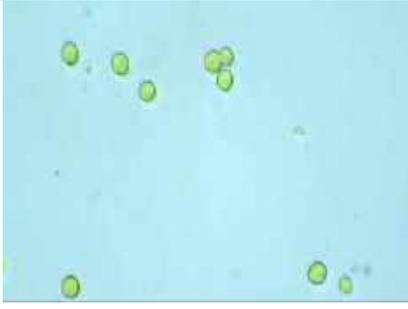
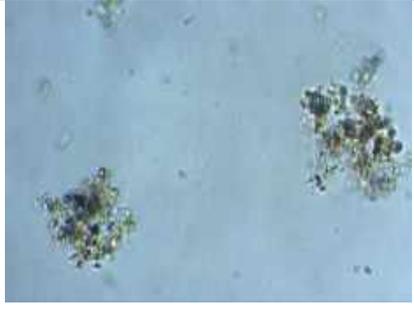
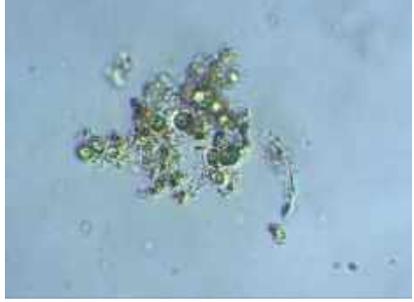
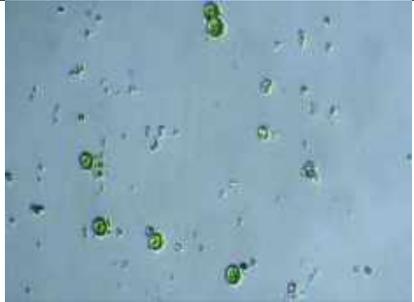
Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

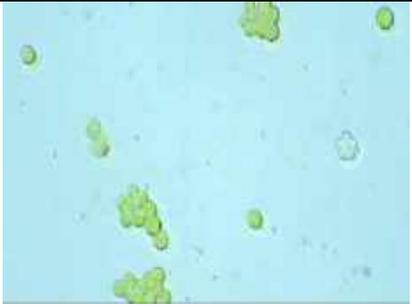
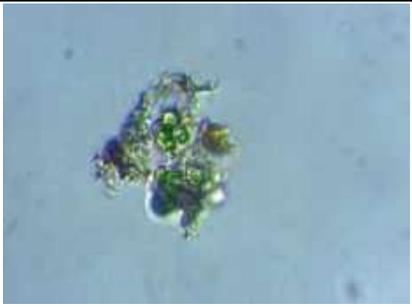
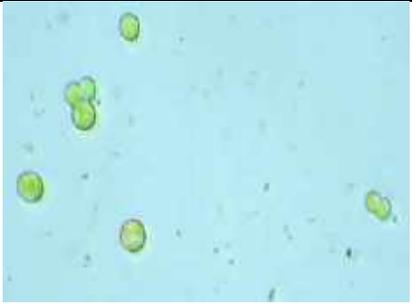
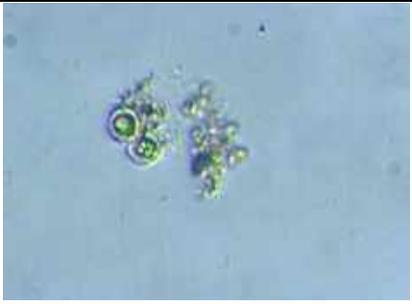
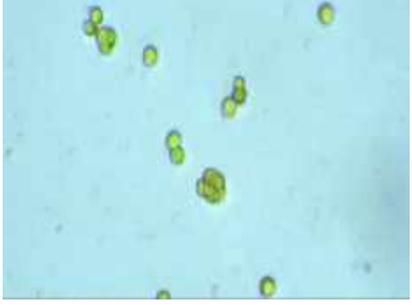
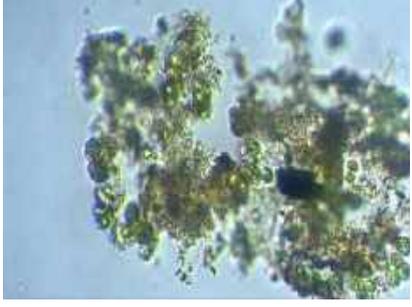
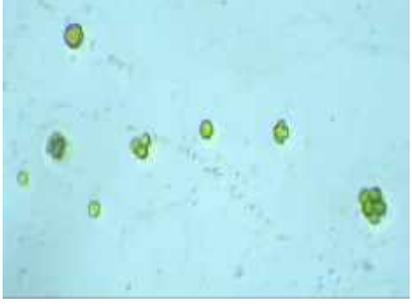
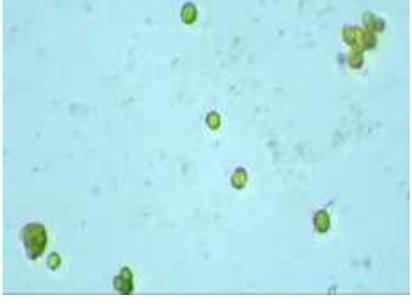
Como se puede observar en la Tabla 26-3, existe un cambio en la estructura morfológica de *Spirogyra spp.* Inicialmente se puede evidenciar los cloroplastos presentes, el color verde característico del alga y ninguna destrucción morfológica de los filamentos. Por lo contrario, al finalizar el tratamiento el alga tiene variaciones significativas en la pérdida de cloroplastos, destrucción de filamentos y decoloración de la biomasa. Esto se debe al tiempo de exposición al xenobiótico, teniendo una relación directa entre las dosis suministradas con la mayoría de los cambios fisiológicos y morfológicos presentados en las algas. Siendo las dosificaciones a concentraciones más altas las que provocaron severas alteraciones morfológicas, las dosificaciones 3 fueron las que mayores cambios presentaron tanto fisiológica en la pérdida de biomasa, desprendimiento de filamentos, decoloraciones, como morfológicamente en la pérdida de cloroplastos.

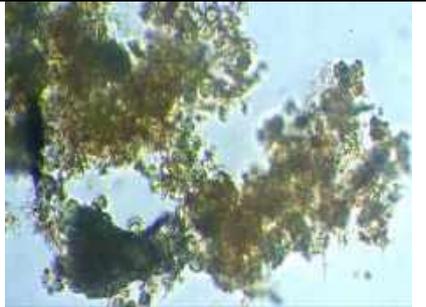
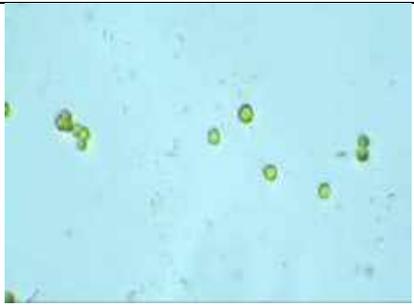
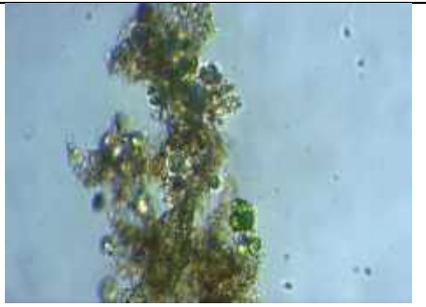
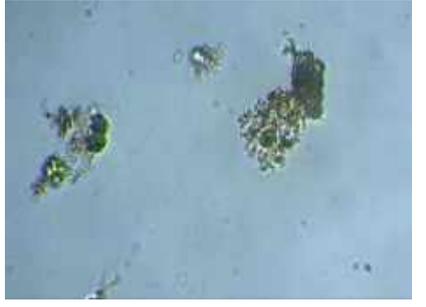
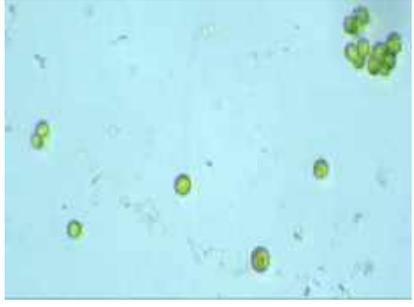
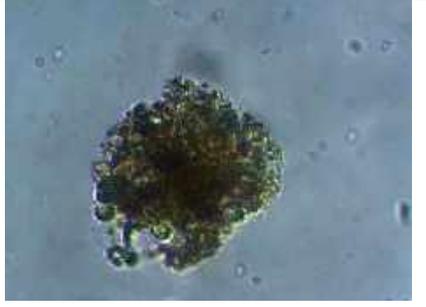
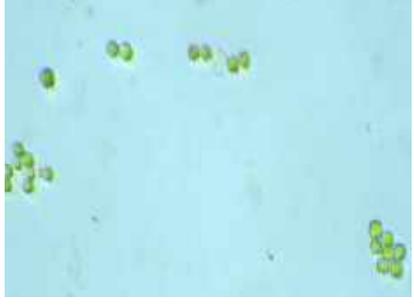
**Tabla 27-3:** Resultados para analizar la morfología antes y después del tratamiento de *Chlorella sp.* mediante el microscopio compuesto con cámara a 40 x de aumento

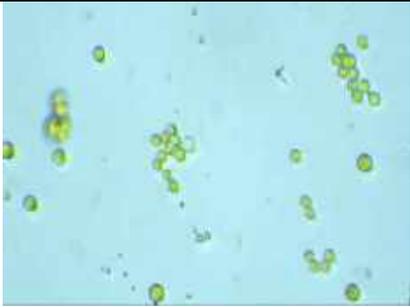
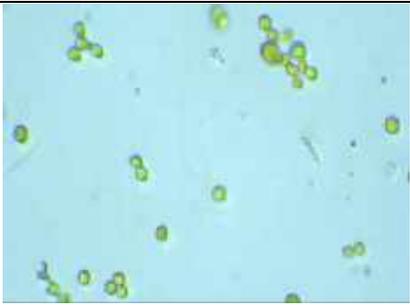
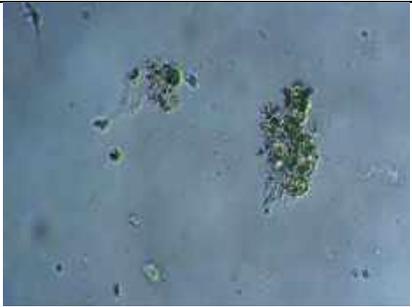
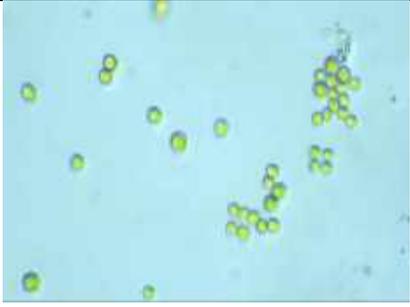
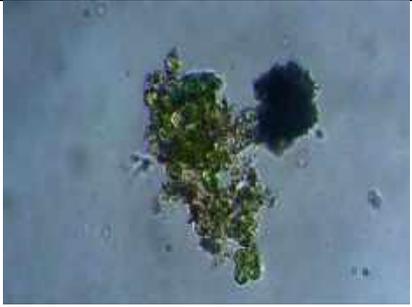
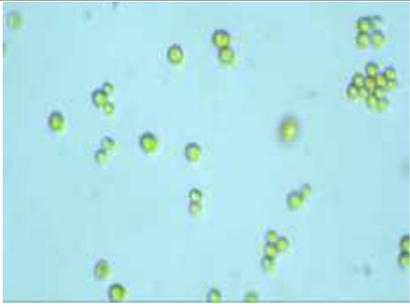
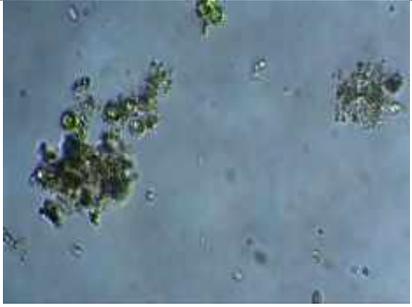
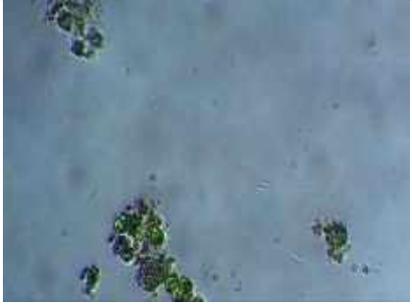
<i>Chlorella sp.</i>		
Unidad Experimental	Antes del tratamiento	Después del tratamiento
Blanco SLS		

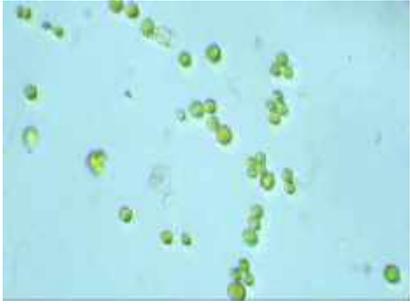
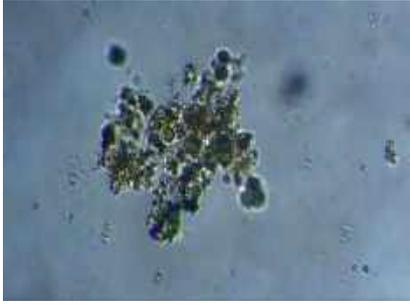
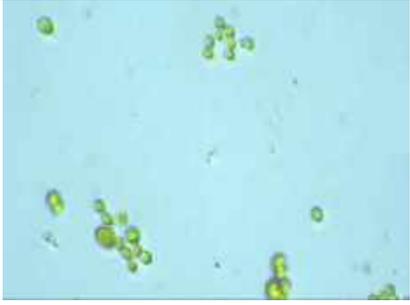
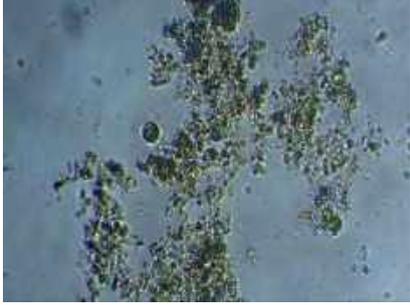
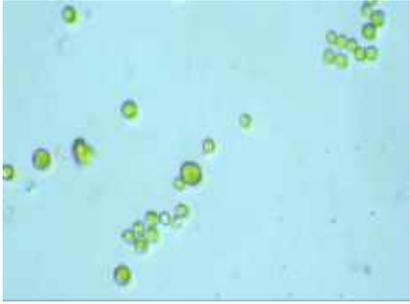
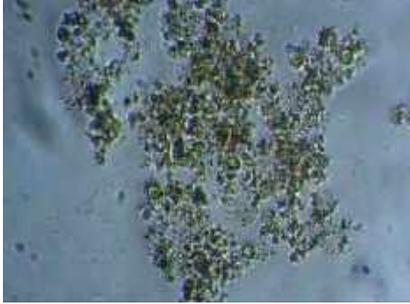
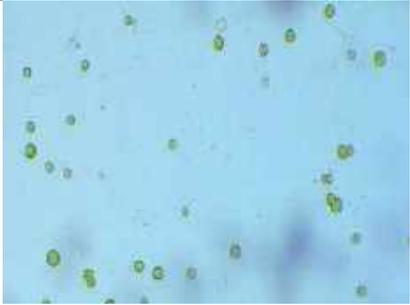
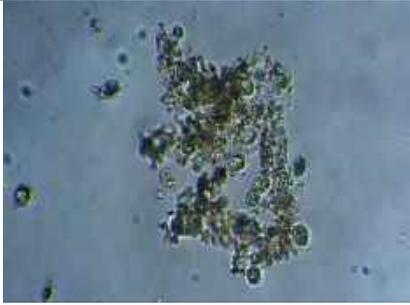
SLS1a		
SLS1b		
SLS1c		
SLS2a		
SLS2b		

SLS2c		
SLS3a		
SLS3b		
SLS3c		
Blanco ADS		

ADS1a		
ADS1b		
ADS1c		
ADS2a		
ADS2b		

ADS2c		
ADS3a		
ADS3b		
ADS3c		
Blanco SLES		

SLES1a		
SLES1b		
SLES1c		
SLES2a		
SLES2b		

SLES2c		
SLES3a		
SLES3b		
SLES3c		

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

Mediante las observaciones morfológicas detalladas en la Tabla 27-3, se puede evidenciar que a lo largo del tratamiento con los surfactantes aniónicos existió cambios en la morfología de la microalga, tendiendo a la destrucción de las células, los cloroplastos, de igual manera, se perdieron significativamente debido a la exposición con los detergentes, las células presentaron variaciones en su estructura esto debido al tiempo y dosis de exposición con los xenobióticos empleados, existieron decoloraciones por la alteración de cloroplastos en su interior. Existe una relación directa entre la concentración y la dosis empleada en las unidades experimentales y los cambios morfológicos existentes en la especie, siendo las dosis 3 las más altas y las que generaron mayores cambios en la estructura de las células de *Chlorella sp.*

### **3.7. Resultados de los análisis de bioacumulación**

#### **3.7.1. Resultados en *Chlorella sp.***

Dados los resultados procedentes de los análisis de laboratorio, se evidencia que efectivamente existe bioacumulación de surfactantes en la microalga por los valores estipulados los análisis con cada tipo de surfactante detallados a continuación:

- Resultado de análisis de surfactantes con el Lauril Sulfato Sódico (SLS)  $0,068 \pm 0,2471$  mg/L.
- Reporte del análisis con Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES)  $0,044 \pm 0,2471$  mg/L.
- Resultado del análisis con el Ácido Dodecilbenzeno Sulfónico (ADS)  $0,108 \pm 0,2471$  mg/L.

Los resultados de los análisis de laboratorio realizados demuestran que el surfactante aniónico Ácido Dodecilbenzeno Sulfónico (ADS) se bioacumuló en mayor cantidad, el cual tiene concordancia con las variaciones en biomasa de las unidades experimentales dosificadas con este detergente, seguido del Lauril Sulfato Sódico (SLS).

#### **3.7.2. Resultados en *Spirogyra spp.***

En las muestras de *Spirogyra spp.* existió bioacumulación de detergentes, ya que, en los análisis de laboratorio se estipularon valores captados por el alga, detallados a continuación:

- El informe del análisis con el Lauril Sulfato Sódico (SLS) da un valor de  $0,136 \pm 0,2471$  mg/L.
- Los resultados con el Lauril Éter Sulfato de Sodio (SLES) fueron de  $0,086 \pm 0,2471$  mg/L.
- El reporte con los resultados del análisis con el Ácido Dodecilbenzeno Sulfónico (ADS) fueron de  $0,430 \pm 0,2471$  mg/L.

Mediante los resultados obtenidos en los análisis realizados se evidencia que el detergente que mayor se bioacumuló en *Spirogyra spp.* fue el Ácido Dodecilbenzeno Sulfónico (ADS) teniendo relación a los cambios morfológicos y fisiológicos presentados en las unidades experimentales.

### **3.8. Resultados del tratamiento de aguas utilizado en el estudio**

Terminada la experimentación y con el tiempo suficiente para que el floculante actúe se realizó las mediciones de los parámetros establecidos, obteniendo los siguientes valores:

**Tabla 28-3:** Parámetros del agua

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>pH</i>	6,85
<i>Conductividad</i>	3,45 mS/cm
<i>Temperatura</i>	17,8 °C
<i>Sólidos Totales</i>	0,620 g/L

Realizado por: Zárate, Kevin; Anda, María, 2023.

Los valores denotados se encuentran dentro del límite permisible para descargas al sistema de alcantarillado público, por lo tanto, se cumple con la normativa y se puede descargar el agua previamente tratada.

### 3.9. Resultados de los análisis estadísticos

#### 3.9.1. Resultados para *Chlorella sp.*

Día 1

Mediante el ANOVA de los tratamientos realizados, el p-valor de 0,0122 demuestra que existe una variación significativa con los tipos de surfactantes utilizados. Por lo contrario, el p-valor de 0,1553 es no significativo respecto a las dosis utilizadas, es decir, probablemente que la diferencia en las dosis se deba al azar.

El test de TUKEY establece que el Lauril Sulfato Sódico (SLS) tiene mayor incidencia en los cambios registrados en la biomasa al igual que la dosis 3.

Día 3

El ANOVA realizado, el p-valor de 0,00266 es muy significativo en las dosis suministradas lo cual aduce que existen variaciones en las mismas. Sin embargo, el p-valor de 0,11121 no es significativo respecto a los surfactantes aniónicos utilizados.

El test de TUKEY demuestra que las dosis 3 respecto a las demás dosis es la que causa mayores cambios en la biomasa, al igual que el surfactante aniónico Ácido Dodecibenceno Sulfónico (ADS).

Día 5

El ANOVA estipulado transcurridas las 120 horas de las dosificaciones demuestra que el p-valor de 0,00186 es muy significativo en las dosis, existiendo variaciones en la incidencia de la biomasa. Por otra parte, el p-valor de 0,17106 no tiene significancia en los surfactantes utilizados, esto se debe a que las variaciones pueden estar dadas al azar.

El test de TUKEY indica que las dosis 3 respecto a las demás dosis es la que causa mayor variación en la biomasa, al igual que el surfactante aniónico Ácido Dodecilbenceno Sulfónico (ADS).

### **3.9.2. Resultados para *Spirogyra spp***

Día 1

El ANOVA de los tratamientos realizados arrojó un p-valor de  $3,48 \times 10^{-08}$  el cual es altamente significativo en las variaciones de los surfactantes aniónicos utilizados en el estudio. De igual manera, el p-valor de  $3,48 \times 10^{-08}$  referente a las dosis suministradas es altamente significativa. El test de TUKEY indica que el surfactante aniónico Ácido Dodecilbenceno Sulfónico (ADS) tuvo mayor incidencia junto a la dosis 3 (la más alta) en la variación fisiológica y morfológica de la biomasa de *Spirogyra spp*.

Día 3

Después de 72 horas de las dosificaciones, el ANOVA reportado en las dosis suministradas con un p-valor de 0,00266 el cual es muy significativo en las variaciones de las dosis siendo la dosis 3 la que tuvo mayor incidencia en los cambios, conjuntamente el p-valor de 0,11121 para los tratamientos no es significativo.

El test de TUKEY demuestra que las dosis 3 (las más altas) respecto a las demás dosis es la que causa mayor variación en la biomasa, al igual que el surfactante aniónico Ácido Dodecilbenceno Sulfónico (ADS) tiene mayor incidencia en los cambios.

Día 5

Transcurridas las 120 horas de las dosificaciones el ANOVA generado de los tratamientos reportó un p-valor de 0,000617 el cual es altamente significativo respecto a los surfactantes aniónicos utilizados, sin embargo, el reporte para las dosis suministradas arrojó un p-valor de 0,001029 el cual es muy significativo con relación a las dosis.

El test de TUKEY establece que las dosis 3 (las más altas) respecto a las demás dosis es la que causa mayor variación en la biomasa, al igual que el surfactante aniónico Ácido Dodecilbenceno Sulfónico (ADS) tiene mayor incidencia en los cambios.

## CONCLUSIONES

- Se cultivó en laboratorio las dos algas *Spirogyra spp.* y *Chlorella sp.* incluyéndose factores nutricionales esenciales dados por tres macronutrientes N, P y K suministrados de manera eficiente mediante una relación 5:1, se adaptó luces led en estanterías para el suministro de luz al igual que el abastecimiento de O<sub>2</sub> & CO<sub>2</sub> y para tener un control de la temperatura en las unidades experimentales. La temperatura media para *Spirogyra spp.* fue de 18,76 °C y el valor promedio de pH 7,12. Para *Chlorella sp.* el pH medio fue de 6,44 y la temperatura promedio 18,8 °C; dichos valores encontrándose óptimos para el cultivo de las dos especies de algas.
- Se observó la morfología y fisiología de ambas algas a lo largo de la experimentación, evidenciándose variaciones en sus biomásas: decoloraciones, desprendimiento de filamentos y degradación. Los cambios más evidentes se dieron transcurridas 48 horas de exposición con todos los surfactantes aniónicos en las dos especies de algas. Imágenes al microscopio revelaron cambios esenciales en la morfología de *Spirogyra spp.* y *Chlorella sp.* después del período de exposición registrándose pérdida de cloroplastos, desprendimiento de filamentos, decoloración en la biomasa y destrucción general en las células, debido a la acción de los surfactantes aniónicos.
- Se realizó ensayos en laboratorio para estimar la tolerancia de las algas frente a distintas concentraciones de tres tipos de surfactantes aniónicos: Lauril Sulfato Sódico, Ácido Dodecibenceno Sulfónico y Lauril Éter Sulfato de Sodio, se observó claras variaciones en la estructura de la biomasa algal determinándose que la tolerancia a los surfactantes ensayados se reduce en función del tiempo de exposición, la concentración y la dosis suministrada, notándose mayor afección en la concentración de 30ppm con 30 mL las cuales causaron alteraciones a la estructura de *Spirogyra spp.* y *Chlorella sp.*
- Se determinó la bioacumulación de las sustancias ensayadas en *Spirogyra spp.* y *Chlorella sp.*, mediante análisis para medir la concentración de surfactantes aniónicos captadas por las algas durante la etapa de exposición, en los cuales se verificó bioacumulación en las dos especies de algas utilizadas; el Ácido Dodecibenceno Sulfónico (ADS) se bioacumuló con mayor concentración en *Spirogyra spp.* y en *Chlorella sp.*

## RECOMENDACIONES

- Para el cultivo de *Chlorella sp.* se recomienda implementar luz led, bomba de aire para su correcta activación y que el tratamiento se efectúe con normalidad.
- Finalizado el estudio realizar el tratamiento de aguas procedentes de las unidades experimentales, con el fin de evitar posibles impactos generados en la descarga.
- Se recomienda proseguir con más investigaciones para determinar la capacidad de *Chlorella sp.* y *Spirogyra spp.* como bioindicadores de otros contaminantes frecuentes en nuestro medio.

## BIBLIOGRAFÍA

**BISHNOI, N.R.; et al.** “Biosorption of Cr(III) from aqueous solution using algal biomass *spirogyra spp*”. *Journal of Hazardous Materials* [En línea], 2007, 145(1-2), pp. 142-147. [Consulta: 12 enero 2023]. ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2006.10.093. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389406013574?via%3Dihub>.

**CALDERÓN-DELGADO, I.C.; et al.** “Respuestas fisiológicas y capacidad antioxidante de *Chlorella vulgaris* (Chlorellaceae) expuesta a fenantreno”. *Acta Biológica Colombiana* [En línea], 2020, 25(2), pp. 225-234. [Consulta: 12 enero 2023]. ISSN 0120-548X. DOI 10.15446/abc.v25n2.77783. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2020000200225&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2020000200225&lang=es).

**CANTARERO, A.** Determinación de tensioactivos aniónicos en matrices ambientales. Comportamiento del jabón en una parcela agrícola [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis Doctoral). Universidad de Granada, Facultad de Ciencias. Granada-España. 2010. pp. 2-633. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/4854/18615521.pdf;jsessionid=8E42D34562C552>

**COMERCIAL, Q.** *QC990-LAURIL ETER SULFATO DE SODIO QC990-LAURIL ETER SULFATO DE SODIO* [En línea]. S.l.: QCA. 2021. pp. 1-8 [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <https://qca.com.co/wp-content/uploads/2021/11/FDS.-LAURIL-ETER-SULFATO-DE-SODIO.pdf>.

**CORONADO-REYES, J.A.; et al.** “*Chlorella vulgaris* , a microalgae important to be used in Biotechnology : a review. *Food Science and Technology* [En línea], 2022, 2061(1), pp. 1-11. [Consulta: 12 enero 2023]. ISSN 0101-2061. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/cta/a/LPWd8fhNT6TRZrVqtCckWfh/?format=pdf&lang=en>.

**DE OLIVEIRA, A.S.; et al.** “Detection, purification and characterization of a lectin from freshwater green algae *Spirogyra spp*”. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* [En línea], 2017, 89(3), pp. 2113-2117. [Consulta: 12 enero 2023]. ISSN 16782690. DOI 10.1590/0001-3765201720160150. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/pB8LY7X4cmHDvrTVZgQyQcK/?format=pdf&lang=en>.

**DUEÑAS, A.; et al.** “Bioacumulación de Arsénico en *Chlorella vulgaris* (*Chlorophyta: Chlorellaceae*) en efluente en Parque Industrial Rio Seco (PIRS) y toxicidad aguda sobre *Daphnia magna* (*Crustaceae: Daphniidae*), Arequipa, Perú”. *Biologist* [En línea], 2014, 1(1), pp. 9-22. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <https://revistas.unfv.edu.pe/rtb/article/view/382/329.EA2BD721D3FC0B88F8?sequence=1>.

**ESTUARDO, W.** “Remoción de tensoactivos y coliformes en aguas residuales domésticas mediante procesos fenton”. *Rev. Int. Contam. Ambie* [En línea], 2019, 35(4), pp. 931-943. DOI 10.20937/RICA.2019.35.04.12. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v35n4/0188-4999-rica-35-04-931.pdf>.

**GARCÍA, J.; et al.** “Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña”. *Universidad La Gran Colombia* [En línea], 2017, 23(1) (2017), pp. 47-62. [Consulta: 12 enero 2023]. ISSN 2346-0814. Disponible en: <http://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/659>.

**GONZÁLEZ CARDONA, María.** “Unidad didáctica y lúdica para explicar el fenómeno de contaminación del agua”. *Zona Próxima* [En línea], 2020, 32(2), pp. 75-104. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/zop/n32/2145-9444-zop-32-41.pdf>.

**HERRERA-PAZ, D.L.; et al.** “Algae Communities as Bioindicators of Environmental Quality on a Rocky Shore of Mediterranean ( S . E . Iberian Peninsula ) Comunidades de algas como bioindicadores de calidad ambiental en la costa rocosa del Mediterráneo ( S . E . Península Ibérica)”. *Revista de Ciencias* [En línea], 2015, 19(1), pp. 25-40. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcien/v19n1/v19n1a02.pdf>.

**HUYNH; & SEREDIK.** *Algae Identification* [En línea]. Ottawa: Agricultur. 2006. ISBN 9781100183091. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: [https://www.npss.sk.ca/docs/2\\_pdf/Algae\\_Identification\\_Field\\_Guide.pdf](https://www.npss.sk.ca/docs/2_pdf/Algae_Identification_Field_Guide.pdf).

**JIMÉNEZ-LLANOS, J.; et al.** “Sustainable biohydrogen production by *Chlorella* sp. microalgae: A review”. *International Journal of Hydrogen Energy*. vol. 45, no. 15 (2020=, pp. 8310-8328. ISSN 03603199.

**LIU, J.; et al.** “Wastewater treatment using filamentous algae – A review”. *Bioresource Technology* [En línea], 2020, 298(2), pp. 122556. ISSN 18732976. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122556>.

**MAAE-ACUERDO MINISTERIAL 097-A, 2015.** *Libro VI, Anexo 5.*

**MARQUES, S.; & PIHEIRO, J.** “Algas como bioindicadores da qualidade da água Algae as bioindicators of water quality Algas como bioindicadores de la calidad del agua”. *Revista Anap Brasil* [En línea], 2017, 10(1), pp. 76-88. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <https://www.eventoanap.org.br/data/inscricoes/2858/form5898540.pdf>.

**NETWORK, V.A.; et al.** *Bioindicadores* [En línea]. Primera Ed. Ciudad de Mexico: INECC. ISBN 978-607-8429-05-9. pp. 530-550. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Robledo-3/publication/273775057\\_Las\\_algas\\_marinas\\_como\\_bioindicadores\\_de\\_calidad\\_ambiental\\_y\\_su\\_uso\\_en\\_estudios\\_ecotoxicologicos\\_Marine\\_algae\\_as\\_bioindicators\\_of\\_environmental\\_quality\\_and\\_their\\_use\\_in\\_ecotoxicol](https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Robledo-3/publication/273775057_Las_algas_marinas_como_bioindicadores_de_calidad_ambiental_y_su_uso_en_estudios_ecotoxicologicos_Marine_algae_as_bioindicators_of_environmental_quality_and_their_use_in_ecotoxicol).

**ORTIZ-VILLOTA, M.T.; et al.** “La biorremediación con microalgas (*Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque, Colombia”. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación* [En línea], 2018, 9(1), pp. 163-176. [Consulta: 12 enero 2023]. ISSN 2027-8306. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ridi/v9n1/2389-9417-ridi-9-01-163>.

**PÉREZ-MADRUGA, Y.; et al.** “Algae as a natural alternative for the production of different crops”. *INCA* [En línea], 2020, 41(2), pp. 21. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v41n2/en\\_1819-4087-ctr-41-02-e09.pdf](http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v41n2/en_1819-4087-ctr-41-02-e09.pdf).

**QUIMIPUR.** *Ficha de datos de seguridad ácido dodecilbenceno sulfónico* [En línea]. S.I.: Quimipur. 2018. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <https://quimipur.com/pdf/acido-dodecilbenceno-sulfonico.pdf>.

**RÍOS RUIZ, F.** Comportamiento ambiental de tensioactivos comerciales : biodegradabilidad, toxicidad y ozonización [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis Doctoral). Universidad de Granada, Facultad de Ciencias. Granada-España. 2014. pp. 2-259[Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10481/42048>

**RIVA, M.C.; et al.** “Toxicidad de plaguicidas organofosforados en microalgas acuáticas”. *Boletín Intexter del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial* [En línea], 1998, 101(113), pp. 25-29. [Consulta: 12 enero 2023]. ISSN 11316756. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/6440/Article03.pdf>.

**SILVA, N.** Evaluación en el laboratorio de la sensibilidad de *Spirogyra spp.* Como bioindicador de plaguicidas organofosforados [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. pp. 1-125. 2015. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/6278/1/236T0247.pdf>.

**TAGLIAFERRO, M.** *Uso de peces y macrófitos como indicadores. La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina* [En línea]. S.l.: s.n., pp. 212-218. 2020. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/129539/CONICET\\_Digital\\_Nro.6162abd6-0d1c-4ffa-850e-aba2fd5af898\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/129539/CONICET_Digital_Nro.6162abd6-0d1c-4ffa-850e-aba2fd5af898_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y).

**TORRES, E.; & HERRERO, C.** *Microalgas: Cultivo y Aplicaciones* [En línea]. España: Universidad Coruña. 1995. ISBN 9788497497695. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/25013/Abalde\\_Julio\\_1995\\_Microalgas\\_cultivo\\_aplicaciones.pdf](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/25013/Abalde_Julio_1995_Microalgas_cultivo_aplicaciones.pdf).

**VACCA, V.A.; et al.** “Uso de la microalga *Chlorella sp.* viva en suspensión en la decoloración del agua residual de una empresa textil”. *Prospectiva* [En línea], 2017, 15(1), pp. 93-99. ISSN 16928261. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v15n1/1692-8261-prosp-15-01-00093.pdf>.

**WINKLER.** *Sodio lauril sulfato* [En línea]. S.l.: s.n. 2020. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/Programas/FichasDeSeguridad/LaboratorioNacionalDeSuelos/Biologia/Lauril sulfato de sodio.pdf>.



## ANEXOS

### ANEXO A: ENCUESTA PARA DETERMINAR LOS DETERGENTES MAS UTILIZADOS EN EL ECUADOR

#### ENCUESTA PARA DETERMINAR LOS DETERGENTES MAS USADOS EN EL ECUADOR

1. ¿En qué región del Ecuador vive usted? \*

- Costa
- Sierra

2. ¿Sabía usted que los productos de limpieza domésticos generan contaminación acuática? \*

- Sí
- No

3. ¿Qué marca de detergente para ropa utiliza usted? \*

- Deja
- Clorox
- Surf
- Otras

4. ¿Cuál de estas marcas de Shampoos usa con más frecuencia? \*

- Pantene
- Head & Shoulders
- Savital
- Sedal
- Otras

5. ¿Qué lava vajillas es usado en su hogar? \*

- Lava
- Sapollo
- Axióo
- Otras

## ANEXO B: FOTOGRAFÍAS



**Fotografía 1.** Recolección de las especies de algas.



**Fotografía 2.** Reproducción de biomasa de *Chlorella sp.*



**Fotografía 3.** Preparación de muestras para determinación en microscopio.



**Fotografía 4.** Observaciones morfológicas de las muestras.



**Fotografía 5.** Control de los parametros en las unidades experimentales.



**Fotografía 6.** Filtración al vacío para posterior análisis.



**Fotografía 7.** Muestras para los analisis de laboratorio.

# ANEXO C: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR LA BIOACUMULACIÓN DE LAS ALGAS



\*Contribuyendo a la protección ambiental con análisis de laboratorio confiables  
www.lacquanalisis.com

## INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 22 - 3974



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:			
Nombre	---	SPMOBYNA SPP MUESTRA: SLS			
Atención a	Kevin Zarate				
Dirección	Ambato				
Teléfono	096 291 0851				
e-mail	kevinzarate_9@outlook.com				
Procedencia	---	Contenido declarado	500 ml		
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración		
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente		
<b>Datos del Análisis:</b>					
Fecha toma muestra	02-dic-22	Fecha de análisis	Del 05 al 14 de diciembre de 2022	Código Muestra	A-3711
Fecha ingreso al laboratorio	05-dic-22	Fecha emisión informe	14 de diciembre de 2022	Coord. muestra	---
Lugar de realización de los ensayos		Laboratorio Lacquanálisis		Coord. Análisis	17M 0768039 UTM 9660380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	42,2	Temperatura amb. (°C):	20,1	

## RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Tensoactivos	mg/l	0,136	PRD TEC 075 / Standard Methods Ed. 23. 2017, 5540 C	± 24,71 %

### SIMBOLOGÍA:

Parámetro acreditado

\* Parámetro acreditado fuera del alcance

\*\* Parámetro No acreditado

\*\*\* Parámetro Subcontratado Acreditado: N/A

\*\*\*\* Parámetro Subcontratado No Acreditado: N/A

### Notas:

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en este informe.
- Los análisis son realizados a temperatura y ambiente, excepto cuando se especifica. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis.
- Lacquanálisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio.
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanálisis S.A. declara toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanálisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confiabilidad de la información recibida y de los resultados generados.
- La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y detalles en el SOI y en www.lacquanalisis.com
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

### PERSONAL RESPONSABLE:

  
 Mg. Estrella Acosta  
 Analista



  
 Dr. Harold Jiménez  
 Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Fiumi, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo  
Teléfono: (03) 2420 106 - Móvil: 099-5363620 - info@lacquanalisis.com  
Ambato, Ecuador - Sud América



"Contribuimos a la protección ambiental con análisis de laboratorio confiables"  
[www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com)

### INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 22 - 3975



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	---	3F/POGYBA SPP MUESTRA: SLES	
Atención a	Kevin Zurate		
Dirección	Ambato		
Teléfono	096 292 0851		
e-mail	kg/nc@mls.igf-ecual.com		
Procedencia	---	Contenido declarado	500 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Tema de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	02-dic-22	Fecha de análisis	Del 05 al 14 de diciembre de 2022	Código Muestra	A-2713
Fecha ingreso a laboratorio	05-dic-22	Fecha emisión informe	14 de diciembre de 2022	Coord. muestra	---
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanálisis			Coord. Análisis	17M 076839 UTM 9869860
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	42,3	Temperatura amb. (°C)	20,1	

### RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Tenazativas	mg/l	0,086	PRD TEC 075 / Standard Method Ed. 23-2017, 5540 C	± 24,71 %

#### SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado  
 \* Parámetro acreditado fuera del alcance

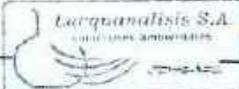
\*\* Parámetro No acreditado  
 \*\*\* Parámetro Subcontratado Acreditado: N/A  
 \*\*\*\* Parámetro Subcontratado No Acreditado: N/A

#### Notas:

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en este informe.
- Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis.
- Lacquanálisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio.
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente, Lacquanálisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanálisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de la información recibida y de los resultados generados.
- La aceptación de este informe implica la aceptación de los políticas relativas al tema y de los datos en el SGC y en [www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com).
- Prohibida la reproducción total o parcial de esta información, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

#### PERSONAL RESPONSABLE:

  
 Ingrid Acosta  
 Analista


  
 Dr. Harold Jiménez  
 Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Picoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo  
 Teléfono: (03) 2420 106 - Móvil: 099-5363620 - [info@lacquanalisis.com](mailto:info@lacquanalisis.com)  
 Ambato, Ecuador - Sud América



"Contribuimos a la protección ambiental con análisis de laboratorio confiables"  
[www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com)

### INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 22 - 3976



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	-----	SUIPOSTMA SPP MUESTRA: ADS	
Atención a	Kevin Zavaín		
Dirección	Ambato		
Teléfono	096 292 0855		
e-mail	lacquanalisis_9@hotmail.com		
Procedencia	-----	Contenido declarado	300 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	02-dic-22	Fecha de análisis	Del 09 al 14 de diciembre de 2022	Código Muestra	A-1714
Fecha ingreso al Laboratorio	05-dic-22	Fecha emisión informe	14 de diciembre de 2022	Coord. muestra	---
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanálisis			Coord. Análisis	LTA 0760539 LTA 5861330
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	42,3	Temperatura amb. (°C):	20,1	

### RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Tintreactivos	mg/l	0,180	PRD TEC 075 / Standard Methods Ed. 20. 2017, SS40 C	± 24,71 %

#### SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado

\* Parámetro acreditado fuera del alcance

\*\* Parámetro no acreditado

\*\*\* Parámetro Subcontratado Acreditado: N/A

\*\*\*\* Parámetro Subcontratado no acreditado: N/A

#### Notas:

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en este informe.
- Los análisis son realizados a temperatura ambiente, a menos que se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis.
- Lacquanálisis S.A. no respaldará exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio.
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanálisis S.A. acepta toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanálisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confiabilidad de información recibida y de los resultados generados.
- La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y detalladas en el SOI y en [www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

#### PERSONAL RESPONSABLE:

Dr. Graciela Acosta  
 Analista



Dr. Harold Jiménez  
 Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo  
 Teléfono: (03) 2420 106 - Móvil: 099-5363620 - [info@lacquanalisis.com](mailto:info@lacquanalisis.com)  
 Ambato, Ecuador - Sud América



**INFORME DE RESULTADOS**

No. LACQUA 22 - 4013



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre		Clorofila sp. MUESTRA: 9L5	
Atención a	Kevin Zarate		
Dirección	Ambato		
Teléfonos	099 292 0651		
e-mail	kevinzarate_S@stmail.com		
Procedencia		Contenido declarado	500 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestras	Cinco

Datos del Análisis:			
Fecha toma muestra	22-dic-22	Fecha de análisis	Del 22 de diciembre de 2022 al 09 de enero de 2023
Fecha ingreso al laboratorio	22-dic-22	Fecha emisión informe	09 de enero de 2023
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanálisis		Coord. Análisis
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	40,2	Temperatura amb. (°C):
			22,1

**RESULTADOS ANÁLISIS**

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Tensoactivos	mg/l	0,058	PRO-TEC 075 / Standard Methods Ed. 20: 2017, 5540 C	± 24,71 %

**SIMBOLOGÍA**

\* Parámetro acreditado  
\* Parámetro acreditado fuera de alcance

\*\* Parámetro no acreditado  
\*\*\* Parámetro Subcontrolado Acreditado: N/A  
\*\*\*\* Parámetro Subcontrolado No Acreditado: N/A

**Notas:**

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en este informe.
- Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifica. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis.
- Lacquanálisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio.
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanálisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanálisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confiabilidad de la información recibida y de los resultados generados.
- La aceptación de este informe implica la aceptación de los términos relativos al tema y declarados en el sitio [www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com).
- Prohíbida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio de el permiso escrito del laboratorio.

**PERSONAL RESPONSABLE:**

Ing. Andrés Montano  
Analista



Dr. Harold Jiménez  
Director Técnico



Contribuimos a la protección ambiental con análisis de laboratorio certificados  
[www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com)

**INFORME DE RESULTADOS**

No. LACQUA 22 - 4014



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	---	C/Muestra sp. MUESTRA: SLES	
Atención a	Kevin Zarate		
Dirección	Ambato		
Teléfonos	096 292 0851		
e-mail	kevin.zarate@gmail.com		
Procedencia	---	Contenido declarado	500 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra:	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Clase

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	22-dic-22	Fecha de análisis	Del 22 de diciembre de 2022 al 09 de enero de 2023	Código Muestra	A-3751
Fecha ingreso al laboratorio	22-dic-22	Fecha emisión informe	09 de enero de 2023	Coord. muestra	---
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanálisis			Coord. Análisis	LPM 0768539 UTM 9869380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	40,8	Temperatura amb. (°C):	22,1	

**RESULTADOS ANÁLISIS**

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Tensoactivos	mg/l	0,044	PR0 TEC 075 / Standard Methods Ed. 21. 2017. 9540 C	± 34,71 %

**SIMBOLOGÍA**

Parámetro acreditado  
 \* Parámetro acreditado fuera del alcance

\*\* Parámetro No acreditado  
 \*\*\* Parámetro Subcontratado Acreditado: N/A  
 \*\*\*\* Parámetro Subcontratado No Acreditado: N/A

**Notas:**

- Los resultados reportados son válidos sólo para las muestras analizadas en este informe.
- Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifica. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis.
- Lacquanálisis S.A. no respalda ni es responsable de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio.
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanálisis S.A. acepta toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanálisis S.A. se compromete a mantener la independencia y la confiabilidad de la información recibida y de los resultados generados.
- La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SAC y en [www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com).
- Prohíbese la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

**PERSONAL RESPONSABLE:**

Ing. Andrés Manzano  
 Analista



Dr. Harold Jiménez  
 Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo  
 Teléfono: (03) 2420 106 - Móvil: 099-5363620 - [info@lacquanalisis.com](mailto:info@lacquanalisis.com)  
 Ambato, Ecuador - Sud América



**INFORME DE RESULTADOS**

No. LACQUA 22 - 4015



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:
Nombre	---	CHIVATO sp. MUESTRA: ADS
Atención a	Kevin Zarate	
Dirección	Ambato	
Teléfono	099 293 0855	
e-mail	laboratorio_sar@maimail.com	

Procedencia	---	Contenido declarado	500 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:			
Fecha toma muestra	22-dic-22	Fecha de análisis	Del 22 de diciembre de 2022 al 09 de enero de 2023
Fecha ingreso al Laboratorio	22-dic-22	Fecha emisión informe	07 de enero de 2023
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanálisis		Coord. Análisis
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	40,2	Temperatura amb. [°C]:
			22,1

**RESULTADOS ANÁLISIS**

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Turbiosidad	mg/l	0,108	PRD TEC 075 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 5540 C	± 24,71 %

**SIMBOLOGÍA**

Parámetro acreditado  
\* Parámetro acreditado fuera del alcance

\*\* Parámetro No acreditado  
\*\*\* Parámetro Subcontratado Acreditado: N/A  
\*\*\*\* Parámetro Subcontratado No Acreditado: N/A

**Notas:**

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en este informe
- Los análisis son resultados a temperatura ambiente, excepto donde se mencione. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis
- Lacquanálisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanálisis S.A. declara toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanálisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confiabilidad de información recibida y de los resultados generados
- La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tiempo y declararar en el SCC y en www.lacquanalisis.com
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el consentimiento del laboratorio

**PERSONAL RESPONSABLE:**

Ing. Andrés Mazarino  
Analista



Dr. Harold Jiménez  
Director Técnico

## ANEXO D: ANÁLISIS ESTADÍSTICO

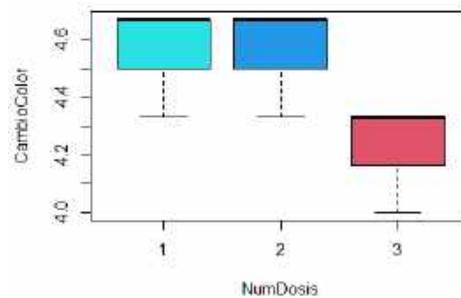
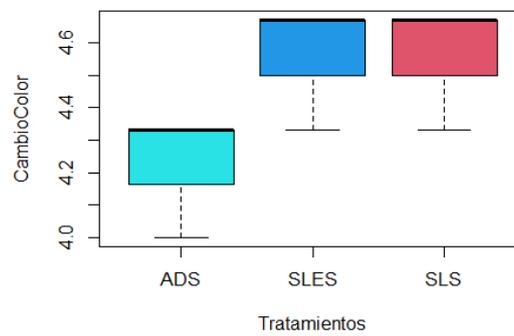
### Análisis Estadístico en *Spirogyra spp.*

Día 1

Anova

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	2	0.22669	0.11334	10201	3.84e-08 ***
NumDosis	2	0.22669	0.11334	10201	3.84e-08 ***
Residuals	4	0.00004	0.00001		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Test de Tukey

Tratamientos	diff	lwr	upr	p adj
SLES-ADS	3.366667e-01	0.326966718	0.346366615	0
SLS-ADS	3.366667e-01	0.326966718	0.346366615	0
SLS-SLES	8.881784e-16	-0.009699949	0.009699949	1

### NumDosis

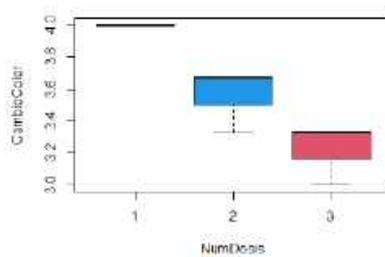
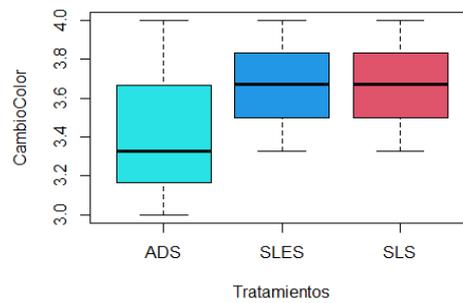
	diff	lwr	upr	p adj
2-1	-8.881784e-16	-0.009699949	0.009699949	1
3-1	-3.366667e-01	-0.346366615	-0.326966718	0
3-2	-3.366667e-01	-0.346366615	-0.326966718	0

### Día 3

#### Anova

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	2	0.0998	0.0499	3.997	0.11121
NumDosis	2	0.9183	0.4591	36.797	0.00266 **
Residuals	4	0.0499	0.0125		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



#### Test de Tukey

##### Tratamientos

	diff	lwr	upr	p adj
SLES-ADS	2.233333e-01	-0.1017235	0.5483902	0.1433015
SLS-ADS	2.233333e-01	-0.1017235	0.5483902	0.1433015
SLS-SLES	-8.881784e-16	-0.3250568	0.3250568	1.0000000

NumDosis

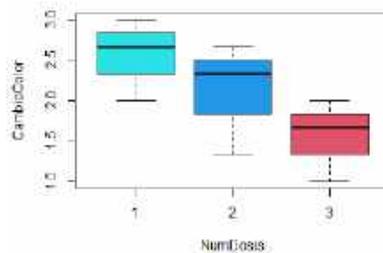
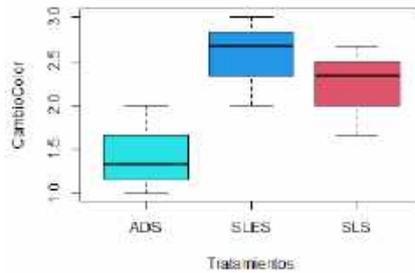
	diff	lwr	upr	p adj
2-1	-0.4433333	-0.7683902	-0.11827648	0.0180038
3-1	-0.7800000	-1.1050568	-0.45494315	0.0022768
3-2	-0.3366667	-0.6617235	-0.01160982	0.0448080

Día 5

Anova

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	2	1.9590	0.9795	78.50	0.000617 ***
NumDosis	2	1.5057	0.7528	60.34	0.001029 **
Residuals	4	0.0499	0.0125		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Test de Tukey

Tratamientos

	diff	lwr	upr	p adj
SLES-ADS	1.1133333	0.7882765	1.438390182	0.0005768
SLS-ADS	0.7800000	0.4549432	1.105056848	0.0022768
SLS-SLES	-0.3333333	-0.6583902	-0.008276485	0.0462306

NumDosis

	diff	lwr	upr	p adj
2-1	-0.4466667	-0.7717235	-0.1216098	0.0175428
3-1	-1.0000000	-1.3250568	-0.6749432	0.0008755
3-2	-0.5533333	-0.8783902	-0.2282765	0.0081932

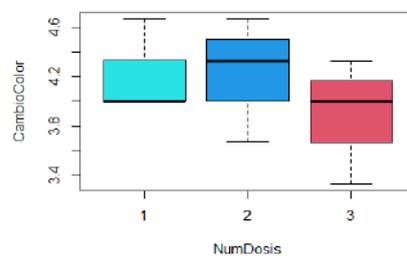
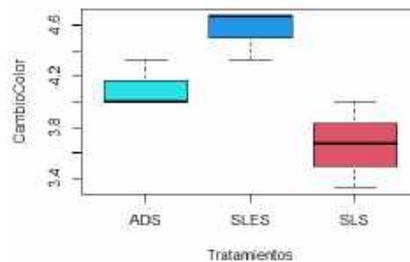
### Análisis Estadístico en *Chlorella sp.*

Día 1

Anova

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	2	1.1882	0.5941	16.117	0.0122 *
NumDosis	2	0.2267	0.1133	3.075	0.1553
Residuals	4	0.1474	0.0369		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Test de Tukey

Tratamientos

	diff	lwr	upr	p adj
SLES-ADS	0.4466667	-0.1120285	1.0053618	0.0963710
SLS-ADS	-0.4433333	-1.0020285	0.1153618	0.0983736
SLS-SLES	-0.8900000	-1.4486952	-0.3313048	0.0104118

### NumDosis

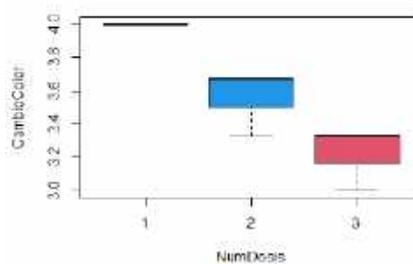
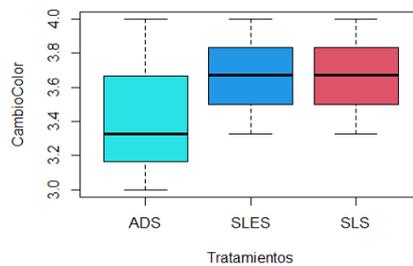
	diff	lwr	upr	p adj
2-1	-8.881784e-16	-0.5586952	0.5586952	1.0000000
3-1	-3.366667e-01	-0.8953618	0.2220285	0.1951543
3-2	-3.366667e-01	-0.8953618	0.2220285	0.1951543

### Día 3

#### Anova

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	2	0.0998	0.0499	3.997	0.11121
NumDosis	2	0.9183	0.4591	36.797	0.00266 **
Residuals	4	0.0499	0.0125		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



### Test de Tukey

#### Tratamientos

	diff	lwr	upr	p adj
SLES-ADS	2.233333e-01	-0.1017235	0.5483902	0.1433015
SLS-ADS	2.233333e-01	-0.1017235	0.5483902	0.1433015
SLS-SLES	-8.881784e-16	-0.3250568	0.3250568	1.0000000

#### NumDosis

	diff	lwr	upr	p adj
--	------	-----	-----	-------

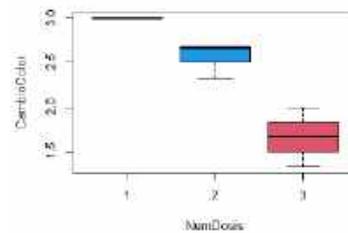
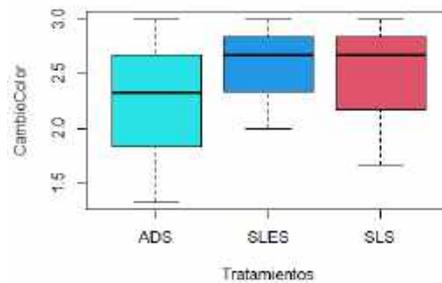
2-1	-0.4433333	-0.7683902	-0.11827648	0.0180038
3-1	-0.7800000	-1.1050568	-0.45494315	0.0022768
3-2	-0.3366667	-0.6617235	-0.01160982	0.0448080

Día 5

Anova

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamientos	2	0.1768	0.0884	2.836	0.17106
NumDosis	2	2.7664	1.3832	44.365	0.00186 **
Residuals	4	0.1247	0.0312		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Test de Tukey

Tratamientos

	diff	lwr	upr	p adj
SLES-ADS	0.3366667	-0.1771560	0.8504894	0.1608522
SLS-ADS	0.2266667	-0.2871560	0.7404894	0.3550123
SLS-SLES	-0.1100000	-0.6238227	0.4038227	0.7428751

NumDosis

	diff	lwr	upr	p adj
2-1	-0.4433333	-0.957156	0.07048935	0.0777518
3-1	-1.3333333	-1.847156	-0.81951065	0.0016883
3-2	-0.8900000	-1.403823	-0.37617731	0.0076907



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 19 / 05 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> María Emilia Anda Mayorga – Kevin Sebastián Zárate Cely
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



0771-DBRA-UTP-2023