



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

USO DE MICROALGAS (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*) INMOVILIZADAS CON
ESFERAS DE ALGINATO PARA LA REMOCIÓN DE CROMO.

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODESARROLLO

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Gestión sostenible y aprovechamiento de los recursos naturales.

Sublínea: Ambiente y Biodiversidad

AUTORA: FERNANDA ELIZABETH VEGA JIMÉNEZ

ASESOR: Mgs. EDMUNDO RENÉ RECALDE POSSO

IBARRA, FEBRERO - 2019



Ibarra, 17 de febrero de 2019

Mgs. EDMUNDO RENÉ RECALDE POSSO
ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f:)

Mgs. EDMUNDO RENÉ RECALDE POSSO

C.C.: 1001774494



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f):

Mgs. EDMUNDO RENÉ RECALDE POSSO

C.C.: 1001774494

(f):

PhD. RUBÉN DEL TORO DÉNIZ

C.C.: 1757544471

(f):

PhD. PAOLA ELIZABETH ORDÓÑEZ VIVANCO

C.C.: 1103764872



ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo Fernanda Elizabeth Vega Jiménez, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 17 de febrero de 2019

f):

Fernanda Elizabeth Vega Jiménez

C.C.: 1003178298



AUTORÍA

Yo, Fernanda Elizabeth Vega Jiménez, portador de la cédula de ciudadanía N° 1003178298, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del (los) autor (es), y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature reads 'Fernanda Elizabeth Vega Jiménez'.

f):

Fernanda Elizabeth Vega Jiménez

C.C.: 1003178298



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo: Fernanda Elizabeth Vega Jiménez, con CC: 1003178298, autor del trabajo de grado intitulado: “Uso de microalgas (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*) inmovilizadas con esferas de Alginato para la remoción de Cromo”, previo a la obtención del título profesional de Ingeniera en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 17 de febrero de 2019

f):

Fernanda Elizabeth Vega Jiménez

C.C.: 1003178298



DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJOS DE TITULACIÓN

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación del proyecto de Titulación: Uso de microalgas (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*) inmovilizadas con esferas de Alginato para la remoción de Cromo” lo propuesto en el código de Ética de investigación y aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra (PUCESI) aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 15 de enero de 2018.

Para constancia firma:

(f).....

Fernanda Elizabeth Vega Jiménez

C.C: 1003178298

Carrera: Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo.



DEDICATORIA

Al culminar con satisfacción una meta más en mi vida, quiero dedicar este trabajo a mis padres; Fernando y Sonia, mis hermanos; Carlos y Juan por ser el pilar más importante y guiarme en el caminar de mi vida, brindándome apoyo incondicional para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer. A mi abuelita, Blanca a quien quiero como mi segunda madre por los valores y enseñanzas que ha aportado a lo largo de mi vida y que simplemente son invaluable. Y finalmente a mi angelito de la guarda, mi abuelito Guillermo, por ser mi fuerza desde el cielo para lograr culminar mi carrera profesional.



AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía en mi vida universitaria, por tal motivo quiero extender este profundo agradecimiento a mis docentes de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI), por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación profesional y de manera especial, al Mgs. Edmundo Recalde tutor de mi proyecto de investigación quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo satisfactorio de este trabajo.

A mis amigos y compañeros, con los que compartí dentro y fuera de las aulas, que se convirtieron en amigos de vida y serán mis colegas, gracias por todo su apoyo.

INDICE DE CONTENIDOS

1. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. ESTADO DEL ARTE	6
4.1.- DEFINICIÓN Y ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES	6
4.2.- CROMO	7
4.2.1.- Características físicas y químicas:.....	7
4.2.2.- Toxicidad de Cromo:.....	8
4.2.3.- Fuentes y Aplicaciones de Cromo:.....	9
4.3.- TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS	10
4.3.1.- Fitorremediación.....	10
4.4.- MICROALGAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	11
4.5.- MICROALGAS: CARACTERÍSTICAS, TIPOS Y MEDIOS DE CULTIVO	12
4.5.1.- Características.....	12
4.5.2.- Tipos de Algas	14
4.5.3. <i>Chlorella sp.</i>	15
4.5.3.1. Generalidades.....	15
4.5.3.2. Morfología y Estructura.....	16
4.5.3.3. Taxonomía de la Microalga	17
4.5.3.4. Aplicaciones.....	17
4.5.4. <i>Scenedesmus sp.</i>	18
4.5.4.1. Generalidades.....	18
4.5.4.2. Morfología y Estructura.....	18
4.5.4.3. Taxonomía de la Microalga	19
4.5.4.4. Aplicaciones.....	19
4.5.5. Medios de Cultivo.....	20
4.6. INMOVILIZACIÓN DE MICROALGAS	22
4.6.1. El potencial de micro y macroalgas para la descontaminación de metales pesados..	22
4.6.2. Tipos de Inmovilización	23
4.6.2.1. Inmovilización Pasiva.....	23

4.6.2.2. Inmovilización Activa.....	23
4.6.3. Alginato	24
4.6.4. Beneficios ambientales de este procedimiento y una proyección a futuro:	24
4.7. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA	24
5. MATERIALES Y MÉTODOS	26
5.1. Producción de la biomasa:	26
5.2. Preparación de las concentraciones de microalgas	27
5.3. Inmovilización de microalgas en esferas de alginato	28
5.4. Preparación de la Solución sintética de Cromo	30
5.5. Análisis de la Solución Sintética de Cromo y de las microalgas inmovilizadas	31
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
6.1. SOLUCIÓN SINTÉTICA DE CROMO.....	35
6.2. MICROALGAS INMOVILIZADAS	59
7. CONCLUSIONES	83
8. RECOMENDACIONES	84
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
10. ANEXOS.....	96

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales Características físicas y químicas del Cr	7
Tabla 2 Fases del crecimiento y desarrollo de microalgas	13
Tabla 3 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	25
Tabla 4 Análisis de Varianza para la variable pH de la solución sintética.....	37
Tabla 5 Análisis de Varianza para la variable conductividad eléctrica de la solución sintética.....	43
Tabla 6 Análisis de Varianza para la variable absorbancia de la solución sintética.....	49
Tabla 7 Análisis de Varianza para la variable Cr de la solución sintética.....	55
Tabla 8 Análisis de Varianza para la variable pH de microalgas inmovilizadas.....	61
Tabla 9 Análisis de Varianza para la variable conductividad eléctrica de microalgas inmovilizadas.....	67
Tabla 10 Análisis de Varianza para la variable absorbancia de microalgas inmovilizadas	73
Tabla 11 Análisis de Varianza para la variable conteos de microalgas inmovilizadas (1x10 ⁶)	79
Tabla 12 Datos diarios pH microalgas inmovilizadas	111
Tabla 13 Datos diarios conductividad eléctrica microalgas inmovilizadas.....	112
Tabla 14 Datos diarios absorbancia microalgas inmovilizadas.	113
Tabla 15 Datos diarios conteos celulares microalgas inmovilizadas. (1x10 ⁶).....	114
Tabla 16 Datos diarios pH solución sintética de cromo.	115
Tabla 17 Datos diarios conductividad eléctrica solución sintética de cromo.	116
Tabla 18 Datos diarios absorbancia solución sintética de cromo.	117
Tabla 19 Datos diarios concentración de cromo.....	118

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Producción de Biomasa de microalgas.....	26
Figura 2 Preparación de las concentraciones de microalgas.....	27
Figura 3 Preparación de la disolución al 4% de viscosidad de Alginato de sodio.....	28
Figura 4 Mezcla de la solución de Alginato con las concentraciones de microalgas.	29
Figura 5 Obtención de microalgas inmovilizadas en perlas de Alginato.....	29
Figura 6 Preparación de la Solución sintética de Cromo.....	30
Figura 7 Distribución de la solución sintética en cada uno de los recipientes que serán las unidades experimentales.....	31
Figura 8 Análisis de laboratorio en el espectrofotómetro de absorción atómica para la determinación de la concentración de cromo.	32
Figura 9 A) Dilución de perlas de alginatos con solución de bicarbonato al 4%, B) Mediciones de ph, C) Mediciones de conductividad, D) Mediciones de absorbancia de las microalgas inmovilizadas.....	33
Figura 10 Conteos de las microalgas después de inmovilizarlas.....	33
Figura 11 Resultados de pH de la solución sintética de cromo con la especie <i>Chlorella sp.</i>	35
Figura 12 Resultados de pH de la solución sintética de cromo con la especie <i>Scenedesmus sp.</i>	36
Figura 13 Resultados de pH de la solución sintética de cromo con relación a las dos especies en estudio, Día 14 (<i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>)	37
Figura 14 Resultados de pH de la solución sintética de cromo mediante la prueba Tukey ($p<0,05$), entre las especies <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>	38
Figura 15 Resultados de pH de la solución sintética de cromo mediante la prueba Tukey ($p<0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media y Baja.	39
Figura 16 Resultados de pH de la solución sintética de cromo mediante la prueba Tukey ($p<0,05$), entre los tratamientos.....	39
Figura 17 Resultados de Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo con la especie <i>Chlorella sp.</i>	41

Figura 18 Resultados de Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo con la especie <i>Scenedesmus sp.</i>	42
Figura 19 Resultados de Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo con relación a las dos especies en estudio, Día 14 (<i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>)	43
Figura 20 Resultados de Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo mediante la prueba Tukey ($p<0,05$), entre las especies <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>	44
Figura 21 Resultados de Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo mediante la prueba Tukey ($p<0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media y Baja.....	45
Figura 22 Resultados de Conductividad electrica de la solución sintética de cromo mediante la prueba Tukey ($p<0,05$), entre los tratamientos.	45
Figura 23 Resultados de Absorbancia de la solución sintética de cromo con la especie <i>Chlorella sp.</i>	47
Figura 24 Resultados de Absorbancia de la solución sintética de cromo con la especie <i>Scenedesmus sp.</i>	48
Figura 25 Resultados de Absorbancia de la solución sintética de cromo con relación a los dos especies en estudio, Día 14 (<i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>).....	49
Figura 26 Resultados de Absorbancia de la solución sintética de cromo mediante la prueba Tukey ($p<0,05$), entre las especies <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>	50
Figura 27 Resultados de Absorbancia de la solución sintética de cromo mediante la prueba Tukey ($p<0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media, Baja.	51
Figura 28 Resultados de Absorbancia de la solución sintética de cromo mediante la prueba Tukey ($p<0,05$), entre los tratamientos	51
Figura 29 Resultados de Remoción de Cromo de la solución sintética con la especie <i>Chlorella sp.</i>	52
Figura 30 Resultados de Remoción de Cromo de la solución sintética con la especie <i>Scenedesmus sp.</i>	54
Figura 31 Resultados de Remoción de Cromo de la solución sintética con relación a los dos especies en estudio, Día 14 (<i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>).....	55
Figura 32 Resultados de Remoción de Cromo de la solución sintética mediante la prueba Tukey ($p<0,05$), entre las especies <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>	56

Figura 33 Resultados de Remoción de Cromo de la solución sintética mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media, Baja.	57
Figura 34 Resultados de Remoción de Cromo de la solución sintética mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre los tratamientos.	57
Figura 35 Resultados de pH de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i>	59
Figura 36 Resultados de pH de las microalgas inmovilizadas <i>Scenedesmus sp.</i>	60
Figura 37 Resultados de pH de las microalgas inmovilizadas (<i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>), Día 14	61
Figura 38 Resultados de pH de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i> mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$)......	62
Figura 39 Resultados de pH de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i> mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media, Baja.....	63
Figura 40 Resultados de pH de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i> mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre los tratamientos	63
Figura 41 Resultados de Conductividad eléctrica microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i>	65
Figura 42 Resultados de Conductividad eléctrica de las microalgas inmovilizadas <i>Scenedesmus sp.</i>	66
Figura 43 Resultados de Conductividad eléctrica de las microalgas inmovilizadas (<i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>), Día 14.....	67
Figura 44 Resultados de Conductividad eléctrica de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i> mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$)......	68
Figura 45 Resultados de Conductividad eléctrica de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i> mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media y Baja.....	69
Figura 46 Resultados de Conductividad eléctrica de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i> mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre los tratamientos	69
Figura 47 Resultados de Absorbancia de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i>	71
Figura 48 Resultados de Absorbancia de las microalgas inmovilizadas <i>Scenedesmus sp.</i> ..	72
Figura 49 Resultados de Absorbancia de las microalgas inmovilizadas (<i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>), Día 14	73

Figura 50 Resultados de Absorbancia de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i> mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$).....	74
Figura 51 Resultados de Absorbancia de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i> mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media y Baja.....	75
Figura 52 Resultados de Absorbancia de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i> mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre los tratamientos. ...	75
Figura 53 Resultados de Conteos de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i>	76
Figura 54 Resultados de Conteos de las microalgas inmovilizadas <i>Scenedesmus sp.</i>	77
Figura 55 Resultados de Conteos de las microalgas inmovilizadas (<i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>), Día 14.....	78
Figura 56 Resultados de Conteos de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i> mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$).	80
Figura 57 Resultados de Conteos de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i> mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media y Baja.	80
Figura 58 Resultados de Conteos de las microalgas inmovilizadas <i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i> mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre los tratamientos..	81

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I Evidencias Fotográficas.....	96
ANEXO II Datos de Campo	111
ANEXO III Resultados Socialización	120

1. RESUMEN.

La presente investigación se desarrolló con la finalidad de analizar la remoción de cromo, mediante la intervención de las microalgas *Chlorella sp* y *Scenedesmus sp.* inmovilizadas en perlas de alginato. Para este estudio se realizó inicialmente la producción de biomasa de las microalgas para posteriormente utilizar tres concentraciones diferentes altas 100% ($2,4 \times 10^6$ cel. ml^{-1}), media 75% ($1,7 \times 10^6$ cel. ml^{-1}) y baja 50% ($0,63 \times 10^6$ cel. ml^{-1}), las que fueron determinadas mediante conteos en la cámara Neubauer. Una vez inmovilizadas estuvieron en una solución sintética de cromo (1 ppm) con aireación y luz constante durante 15 días. Se estableció un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, cada 48 horas se analizaron muestras tanto del agua como de las perlas con las microalgas inmovilizadas. Se midieron los siguientes parámetros pH, conductividad eléctrica, absorbancia, conteo celular y concentración de cromo. El uso de perlas de Alginato permitió la inmovilización a las dos especies de microalgas. En cuanto a las concentraciones de microalgas empleadas en esta investigación, se identificó que con las concentraciones altas (C3) en las dos especies existió mayor remoción de cromo, sin embargo, la especie *Chlorella sp.* removió cromo en un 86% siendo este porcentaje mayor frente a *Scenedesmus sp.* con un 69% de remoción. Y con respecto a las características morfológicas y funcionalidad de las microalgas se presentó un crecimiento normal en cada una de las fases de su desarrollo.

Palabras clave: *Chlorella sp.*, *Scenedesmus sp.*, Inmovilización, Alginato, Cromo.

2. ABSTRACT

The present investigation was developed with the purpose of analyzing the removal of chromium, through the intervention of the microalgae *Chlorella* sp and *Scenedesmus* sp. immobilized in alginate beads. For this study, the biomass production of the microalgae was initially carried out to subsequently use three different concentrations of 100% (2.4×10^6 cel.ml⁻¹), 75% (1.7×10^6 cel.ml⁻¹) and 50% (0.63×10^6) cel. ml⁻¹), which were determined by counting in the Neubauer chamber. Once immobilized, they were in a synthetic solution of chromium (1 ppm) with aeration and constant light for 15 days. A randomized complete block design with four replications was established, samples were analyzed every 48 hours from both the water and the beads with the immobilized microalgae. The following parameters were measured: pH, electrical conductivity, absorbance, cell count and chromium concentration. The use of alginate beads allowed the immobilization of the two microalgae species. Regarding the concentrations of microalgae used in this investigation, it was identified that with the high concentrations (C3) in the two species there was greater chromium removal, however, the species *Chlorella* sp. Chromium was removed by 86%, this percentage being higher compared to *Scenedesmus* sp. with a 69% removal. And with respect to the morphological characteristics and functionality of the microalgae, there was a normal growth in each one of the phases of its development.

Key words: *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp., Immobilization, Alginate, Chromium.

3. INTRODUCCIÓN

El planteamiento y elaboración del presente trabajo de investigación, busca establecer una propuesta viable con la implementación de la técnica de inmovilización de microalgas, con el objetivo de biorremediar y asegurar la conservación de las condiciones naturales del ambiente. Esta investigación se realizó empleando metodologías a nivel de laboratorio que se explican en el apartado número cinco de este documento, mismas que se fundamentaron mediante la recopilación, organización y sistematización de las referencias bibliográficas más relevantes acerca del tema en estudio que se detallan en el apartado número cuatro, de las cuales se destacan las que se mencionan a continuación:

Los impactos como consecuencia de las actividades humanas en el medio ambiente aumentan cada día más, alterando la atmósfera, ambientes acuáticos y terrestres provocando diferentes grados de toxicidad, además de generar problemas asociados con la salud humana (Verma y Sharma, 2017).

La Biorremediación es una técnica predominante en la actualidad por considerarse como una tecnología 'verde' o ecológica que se emplea para la remoción de metales pesados considerando el potencial metabólico y la eficiencia de remoción de contaminantes en sitios específicos (Kumar y Nanda, 2018).

Este tratamiento emplea microorganismos como bacterias, hongos o microalgas; en el caso de las microalgas poseen la capacidad de remediar metales pesados, debido a la capacidad de adsorción de los componentes que se encuentran en la pared celular, la eficiencia de remoción tanto de manera libre como inmovilizada, se ha podido demostrar en base a diversos estudios (Cuizano y Navarro, 2008).

La inmovilización de microalgas se considera como una técnica que tiene como fin mejorar el rendimiento químico y físico de la absorción de metales pesados del medio ambiente. Mediante este proyecto se busca recopilar información científica relevante acerca de la remoción de metales pesados en especial el cromo, empleando las

microalgas *Chlorella sp* y *Scenedesmus sp.* a manera de tratamientos con proyección a futuro como posibles técnicas de biorremediación (Ardila, 2012; Cuizano y Navarro, 2008).

Actualmente en nuestro país este tipo de mecanismos no son desarrollados, y existen escasas industrias que cuentan con tratamiento biológico para la biorremediación de aguas residuales, ya que en su mayoría se utilizan tratamientos químicos (Chávez, 2014).

Según Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014), obliga a que las industrias regulen los parámetros con pretratamientos que contribuyan a la reducción de los índices de contaminación, para lo cual se deben promover alternativas de tratamiento más viables.

En los últimos diez años el uso de las microalgas ha sido una de las alternativas más factibles, por tal motivo se ha impulsado investigaciones encaminadas en esta temática, mismas que hasta la actualidad han representado numerosos aportes para el desarrollo de nuevas técnicas de biorremediación (Alejandro, 2012).

Las microalgas del género *Chlorella* poseen propiedades de depuración especialmente de metales pesados, y tras varios estudios e investigaciones se ha comprobado también la eficiencia de remoción de compuestos nitrogenados y fosforados en altos niveles (Forero, Montenegro, y Ponilla, 2015; Posten y Feng Chen, 2016).

De igual forma en el caso de *Scenedesmus sp.*, se reporta en la literatura que los cambios en las concentraciones de nitratos, nitritos, DBO, Cr y Al; se obtuvo una eficiencia de remoción del 85% en el caso del Cr, siendo este uno de los aspectos más llamativos del uso de las microalgas (Pérez *et al.*, 2016).

Objetivo General:

Evaluar la capacidad de remoción del metal cromo, mediante un estudio comparativo entre *Chlorella sp.*, y *Scenedesmus sp.*, inmovilizadas con perlas de alginato.

Objetivos Específicos:

- Determinar la capacidad de remoción que poseen las concentraciones de las microalgas (*Chlorella* y *Scenedesmus*) en la solución de Cr.
- Establecer la eficiencia de remoción de Cr mediante un análisis comparativo de los tipos de microalgas inmovilizadas.
- Socializar los resultados obtenidos de la investigación a la comunidad universitaria de la PUCE-SI.

Hipótesis:

La inmovilización de microalgas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*, en perlas de Alginato permite la remoción del cromo.

Variable independiente:

- Especies; *Chlorella sp.*, y *Scenedesmus sp.*
- Concentraciones; C1, C2, C3 (Número de células en el Conteo de la cámara Neubauer)

Variable dependiente:

- Concentraciones de Cr.
- Conductividad.
- pH.
- Absorbancia.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1.- DEFINICIÓN Y ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Este término corresponde a cualquier tipo de agua que se obtienen como producto de diversos usos, habiéndose afectado su calidad mediante alguna práctica antropogénica o en algunos casos este fenómeno puede presentarse también de manera natural (Romero, 2004, p. 17).

La industrialización global es uno de los principales causantes de este problema ya que al satisfacer las demandas de la población moderna pone en riesgo la calidad ambiental exponiéndola a diversos contaminantes, incluidos los metales pesados, mismos que afectan el agua y el suelo. Además, de que al ingresar en la cadena alimenticia causan efectos letales en la salud humana incluso cuando están presentes en una concentración ligeramente más alta que la requerida para el metabolismo normal (Verma y Sharma, 2017).

El origen de las aguas residuales determinará la composición y la concentración de elementos o sustancias que se contengan en ella. En el caso de las aguas residuales industriales, presentan una composición muy variable que está relacionada directamente con la clase de actividad que esta desarrolle, así como también de algunos otros factores como la tecnología empleada y la calidad de la materia prima (Salazar, 2005).

Las aguas residuales provenientes del proceso de tintura presentan metales pesados, que en su mayoría son compuestos de difícil biodegradación que contienen Cr, y tienden a bioacumularse en los organismos vivos influyendo así de manera directa en el aumento de la toxicidad de los efluentes, teniendo así efectos negativos frente al funcionamiento de los ecosistemas y la salud pública (Volesky *et al.*, 2003).

4.2.- CROMO

4.2.1.- Características físicas y químicas:

El cromo (Cr) es un elemento de la tabla periódica que forma parte del grupo de los metales pesados, localizado en el grupo 6 período 4 y bloque d. Se estima que ocupa el puesto 21 con relación a su abundancia en la corteza terrestre de manera natural, además de ser un buen conductor de calor y electricidad (Jaiswar, S. y Chauhan, P., 2017).

Tabla 1

Principales Características físicas y químicas del Cr

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Número Atómico	24
Densidad	7140 kg/m ³
Masa Atómica	51,9961 u
Estado de Oxidación	6-3-2
Punto de Ebullición	2945 K
Punto de Fusión	2130 K

K= grados Kelvin

Fuente Alloway, 2013; Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, 2011

Estas propiedades físicas, químicas y biológicas del cromo favorecen la disolución en el medio acuático (Pradhan, 2017).

4.2.2.- Toxicidad de Cromo:

La toxicidad de este metal está relacionada directamente con los tres estados de valencia que este tiene, considerándose el más tóxico el de valencia 6, a continuación, el de valencia 3, y el de valencia 2 que no va a tener un grado de toxicidad significativo (Sundaram y Raghavan, 2011).

Algunos compuestos que contienen Cromo de valencia 6 se los encuentra comercialmente con los siguientes nombres; dicromato sódico, trióxido de cromo, y dicromato potásico, mismos que causan efectos nocivos para la salud dándose de manera inmediata después de la absorción de los compuestos hexavalentes de cromo; presentándose a manera de úlceras en la piel y en las mucosas (Flores, 2010).

Además, que Pradhan (2017) afirma que el cromo hexavalente (Cr (VI)) presente en el agua es un carcinógeno que afecta diferentes órganos internos y externos de los organismos vivos.

Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de Estados Unidos (ATSDR), (2016) menciona que el cromo se puede liberar al aire en niveles muy bajos, quedando expuestos para ser inhalados por el organismo, a través de actividades de industrias, lugares donde se almacenen desechos peligrosos que contengan este metal, y el humo del cigarrillo.

Además, la ATSDR (2016) asegura que: la concentración del aire rural es más baja que la del aire urbano, presentándose concentraciones de 0 a 10 ng/m³ y de 0 a 30 ng/m³, respectivamente. De igual forma como efecto de fumar, la concentración de cromo en lugares cerrados puede ser de 10 a 400 veces mucho más elevada que la que se presenta en el aire libre. Incluso en varias ocasiones se ha detectado la presencia de cromo en muestras de agua subterránea, en el suelo y hasta agua potable;

por tal motivo la exposición a cromo se puede dar al tomar agua con presencia de cromo y al bañarse en agua que contenga este metal. La población con bajos recursos tiene mayor probabilidad de exposición a cromo en los alimentos, ya que los niveles bajos de cromo se encuentran de manera natural en una gran variedad de alimentos como frutas y hortalizas.

4.2.3.- Fuentes y Aplicaciones de Cromo:

La fuente natural de cromo se la puede encontrar en; rocas, plantas, suelos, animales y gases volcánicos, en proporciones en las cuales no genera daño ni al ambiente ni a la salud. A comparación de las sustancias ya procesadas que contienen cromo en grandes concentraciones de acuerdo a las necesidades que se presenten en la industria (Fernández y Guzmán, 2000).

Normalmente el cromo no se localiza en la atmósfera, sino que se sedimenta en el suelo y el agua, cambiando sus condiciones naturales, después de ser eliminado por industrias que usan cromo como; industrias relacionadas con la galvanoplastia, curtido de cuero y producción textil. El cromo también puede ser liberado al ambiente al quemar gas natural, petróleo o carbón (ATSDR, 2016).

Desde el siglo XIX ya se utilizaba el cromo como componente de pinturas, además de usarlo como aditivo de aceros. Y fue desde inicios del siglo XX donde se dio mayor utilidad a este metal. Actualmente se utiliza como componente de aleaciones metálicas, así como también en diversas aplicaciones a nivel industrial y equipos eléctricos (Puga, Sosa y Quintana, 2006).

4.3.- TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

Al hablar de algas relacionado al tema de calidad de agua, generalmente se puede pensar en que puede ocasionar la eutrofización de la misma, problema que conlleva a generar grandes impactos negativos para la calidad de agua y el ambiente. Sin embargo, estos mismos procesos biológicos pueden ser de gran beneficio, ya que mediante la implementación de técnicas y procedimientos a las que son sometidas las algas, estas adquieren mayor tolerancia hacia las diferentes condiciones que posean las aguas residuales (Liner, Mundt y Reig, 2017).

El agua al ser considerada un recurso importante para la humanidad y los organismos vivos en general, su mantenimiento de calidad es crucial. En el tema de la biorremediación, durante los últimos dos decenios se han utilizado diferentes tipos de microorganismos (algas, bacterias, hongos y levaduras) para la remoción o transformación de metales pesados. Mismos que actualmente están ganando cada vez más atención por su facilidad en cuanto al desarrollo y crecimiento, son baratas de procesar y pueden acumular un alto contenido de metales (Kumar y Nanda 2018).

4.3.1.- Ficorremediación

La ficorremediación hace referencia al uso de macroalgas y microalgas para la remoción y biotransformación de contaminantes como metales pesados presentes en aguas residuales (Flathman, 1998; Vullo, 2003).

Das (2017) define a la ficorremediación como un proceso confiable para la biotransformación y desintoxicación de una variedad de contaminantes. En su estudio acerca de la Biorremediación de aguas residuales de curtiembre se centró en el potencial de una cepa de la microalga verde, *Chlorella vulgaris*.

El uso de microalgas como tratamiento para aguas residuales es una técnica de gran beneficio tanto para el ambiente como para el hombre, tomando en consideración

además que es menos costosa en relación con otras técnicas que requieren infraestructura y el uso de sustancias químicas peligrosas (Cuizano y Navarro, 2008).

En la Fitorremediación se usan asociaciones de microorganismos, entre ellos se pueden destacar las cianobacterias y microalgas, que intervienen directamente en los procesos de bioacumulación y biotransformación (Flathman, 1998).

Al considerarse al agua como un elemento vital de gran importancia, se debe tomar en cuenta que la descontaminación promueve tanto prevención como la conservación del ambiente, por tal motivo el uso de metodologías naturales con microorganismos como las microalgas resulta muy viable, (Torres *et al*, 2017). Y más aún ahora que se conoce que ha existido un aumento considerable en la contaminación, teniendo como agente causal principal las industrias (Villabona, Garces, y Tejada, 2014).

4.4.- MICROALGAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales es de mucha importancia ya que es un procedimiento que tiene como fin alcanzar los parámetros permisibles para descargas hacia cuerpos de agua, de manera que no influya en su ciclo hidrológico y continúe con normalidad. Actualmente el tratamiento biológico es una de las metodologías más utilizadas (Liner, Mundt y Reig, 2017).

Las microalgas son muy eficaces para el tratamiento de aguas residuales ya que poseen la capacidad de remover varios nutrientes y sustancias tóxicas. Las especies *Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella miniata*, *Chlorella vulgaris* y *Chlorella sorokiniana* se caracterizan por la capacidad de eliminar de manera eficaz metales pesados (Forero, 2007).

La aplicación de microalgas para el tratamiento de aguas residuales tiene antecedentes desde mediados del siglo XX, los primeros estudios realizados fueron

por Cadwell, más tarde en 1950 se desarrollaron investigaciones más profundas sobre este tema por parte de Oswald, y en los años sesenta en California-Estados Unidos se dio continuidad a estas investigaciones. Y actualmente en los últimos quince años se han realizado estudios en América Latina sobre este tema usando diferentes técnicas y procedimientos (Salazar, 2005).

4.5.- MICROALGAS: CARACTERÍSTICAS, TIPOS Y MEDIOS DE CULTIVO

4.5.1.- Características

Las microalgas son organismos unicelulares eucariotas y fotosintéticos, que cumplen un papel fundamental en la producción primaria de las cadenas tróficas, poseen un tamaño promedio que oscila entre 5 y 50 μm , están constituidos por clorofila, misma que le da un color verdoso característico y necesita luz para su desarrollo y reproducción.

Morales, Callejo y Mejía (2007) explican que las microalgas también son usadas en diferentes industrias. Entre los principales pueden mencionarse: los carotenoides, ficobiliproteínas, lípidos, polisacáridos, y compuestos con actividad biológica provenientes de los géneros como *Dunaliella*, *Spirullina*, *Porphyridium*, *Chlorella* y *Hematococcus*.

Se han descrito aproximadamente treinta mil especies que poseen formas esféricas, elípticas, cilíndricas o en espiral, mismas que aportan con el balance del oxígeno en el ambiente. Las microalgas en estado natural, pueden reproducirse y desarrollarse en la mayoría de los ambientes. Con referencia al crecimiento y desarrollo de las microalgas se pueden identificar cinco fases:

Tabla 2

Fases del crecimiento y desarrollo de microalgas

FASE	DURACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Inducción	1 – 3 días	Se da inicio a la absorción de nutrientes por parte de las células, y empieza el proceso de adaptación al medio ambiente en el que se esté desarrollando. En este estado, aun no tienden a dividirse, debido a que no existe todavía un contexto apropiado para este proceso, pues aún es necesario que se den ajustes en cuanto a las condiciones bioquímicas favorables para los cultivos.
Exponencial	4 días	Inicia cuando las células ya han logrado adaptarse al medio, por lo que también es posible la multiplicación. Durante esta fase, la división celular se da mucho más rápida que en las demás fases.
Estacionaria		La población algal se vuelve constante, sin llegar a aumentar. Su duración tiende a ser demasiado corta como para ser perceptible.
Declinación relativa de crecimiento	1 – 2 días	Durante esta fase se disminuye la división celular, debido a la presencia de factores desfavorables en los cultivos, existe agotamiento de los nutrientes, alteraciones en el pH, esto también puede darse por disminución de irradiaciones de luz y la aireación.
Muerte		Se produce por el aumento en el número de bacterias, hongos en el cultivo, las condiciones comienzan a hacerse cada vez más desfavorables para el desarrollo de microalgas. Lo que ocasiona finalmente la muerte del cultivo.

Fuente: Peña y Quiroz, 2013; Candela, 2016

Las etapas antes mencionadas están relacionadas con la implementación de cultivos artificiales, mismos que buscan representar las condiciones favorables cercanas al ambiente natural. Para esto es necesario que se garanticen las condiciones que detallan Peña y Quiroz (2013):

- **Iluminación:** es un factor primordial en la fotosíntesis de las microalgas, por tal motivo debe mantenerse de manera permanente.
- **Temperatura:** este factor influye directamente con la reproducción celular, es decir que si presenta una temperatura estable y favorable existirá mayor reproducción celular. Todas las variedades de microalgas tienen un mayor crecimiento y desarrollo en temperaturas que van en un rango de 10 y 35°C, sin embargo, se ha comprobado que la temperatura óptima es de 16 y 24°C.
- **Salinidad:** Las condiciones adecuadas de salinidad para la reproducción de las microalgas están cercanas al 30%, y corresponde a todas las sales que se encuentran disueltas en el medio incluyendo a los carbonatos y bicarbonatos.
- **Aireación:** Al igual que la iluminación, este es un factor de gran importancia porque hace posible que los nutrientes que se encuentran en el medio tengan mayor difusión, conservando las condiciones adecuadas para su desarrollo en los medios de cultivos.

4.5.2.- Tipos de Algas

En la naturaleza existen múltiples tipos de microalgas, que en su mayoría son fotoautótrofas, es decir que a través de la luz solar obtienen material energético, de igual forma también existen microalgas fotoheterótrofas que de igual forma captan energía de la luz solar y emplean materia orgánica como principal fuente de carbono, así como también existen microalgas que tienen la capacidad de desarrollarse en los dos procesos antes mencionados y a estas se las denomina mixotróficas. Y finalmente encontramos las microalgas heterótrofas, mismas que se diferencian de

las anteriores por captar la energía y el carbono solamente de fuentes orgánicas, además de desarrollarse en condiciones con ausencia de luz solar (Ruiz, 2011).

Según Gómez (2007) asegura que algunas de las microalgas se caracterizan por desarrollarse en condiciones físico químicas particulares, como es el caso de las microalgas *Coccomonas sp.* e *Hydrurus sp.*, mismas que se desarrollan en ambiente con presencia elevada de calcio. En el caso de aguas distróficas con niveles bajos en el pH, se desarrollan las microalgas desmidiáceas y en caso de que el agua tenga mayor presencia de nutrientes se puede encontrar *Volvocales*, *Chlorococcales* y *Euglenofíceas*.

De igual forma Gómez (2007) afirma que existe un modelo de distribución que es característico dependiendo de acuerdo a los ecosistemas acuáticos tanto lóticos como lénticos dependiendo directamente de la cantidad de nutrientes que se pueden producir en estos ecosistemas.

4.5.3. *Chlorella sp.*

4.5.3.1. Generalidades

Durante los últimos años la especie *Chlorella sp.* ha sido estudiada por sus grandes beneficios en diversos ámbitos, debido a su facilidad de crecimiento se han desarrollado cultivos a gran escala por su bajo riesgo de contaminación (Chiu *et al.*, 2008). Las condiciones en las que se puede desarrollar esta especie son fotoautotróficas, heterotróficas y mixotróficas, sin embargo, la más común es la fotoautotrófica, usando luz natural o artificial para su desarrollo (Bhagyalaskhmi y Sarma, 2016).

Chlorella sp. es una microalga que en base a archivos fósiles de hace al menos 540 millones de años se ha determinado que probablemente es uno de los primeros organismos que aparecieron en la Tierra. Se asegura además que luego estas células

fueron la base de la evolución para las células de las plantas que más tarde crecieron en tierra y que debido a su capacidad de adaptabilidad a cambios climáticos lograron desarrollarse hasta la actualidad, este grado de supervivencia viene dando por dos características fundamentales que estas microalgas poseen: Una pared celular muy resistente, que le permite habitar en lugares con altas concentraciones de toxinas y metales pesados; Además de sus altos niveles de reproducción en períodos cortos de tiempo (Aksu y Donmez, 2006).

4.5.3.2. Morfología y Estructura

Estas microalgas son pequeñas células de color verde, esféricas, que no poseen movilidad, ni flagelos, por lo general se las encuentra solitarias o también formando colonias de manera irregular, su diámetro varía de 100 a 1000 veces menor a 1 mm, su color verde característico se debe a la presencia de cloroplastos, mismos que cumplen la función de realizar la fotosíntesis. El nombre de *Chlorella* proviene de dos vocablos griegos; *Chloros* que significa verde y *ela* que significa pequeño (Barsanti y Gualteri, 2006).

Dentro de su estructura posee clorofila a y b, indispensables para realizar la fotosíntesis, la coloración verde puede tener una variación de acuerdo a las condiciones ambientales a las que este expuesta; cantidad de luminosidad, disponibilidad de nutrientes y aireación (Chisti, 2007).

Esta especie tiene la capacidad de adaptarse a diferentes ambientes, pero son propias de agua dulce como ríos, arroyos y lagunas. Guardan grandes similitudes con las plantas vasculares ya que estas microalgas además de clorofila contienen otros pigmentos como; luteína, xantofilas y zeaxantina, sin embargo, las concentraciones en las que se encuentran son muy bajas por lo que predomina la clorofila. Además, la pared celular de *Chlorella sp.* esta constituido mayormente por celulosa al igual que en las plantas (Martínez y García, 2012).

4.5.3.3. Taxonomía de la Microalga

Para la especie *Chlorella sp.* según su clasificación taxonómica puede clasificarse de la siguiente manera:

Clase: Trebouxiophyceae

Orden: Chlorellales

Familia: Chlorellaceae

Género: *Chlorella*

Especie: *Chlorella sp.*

(SIB, sf)¹

4.5.3.4. Aplicaciones

El género *Chlorella* ha sido estudiado en los últimos años por su gran potencial bioquímico y estructural: entre las aplicaciones más relevantes se destaca el uso como materia prima en la fabricación de combustibles, siendo aprovechable para esta actividad hasta el 40% de su peso (Hu *et al.*, 2008).

Las características fisiológicas que posee esta especie hacen que su uso en la biorremediación sea muy efectivo ya que se puede remover contaminantes orgánicos e inorgánicos, como N, P y metales pesados (López, 2016). En el tema de los metales pesados las microalgas poseen el potencial de acumular altas concentraciones en sistemas acuáticos contaminados. Esta actividad comprende dos etapas; inicialmente la adsorción inicial rápida, seguidamente se da una adsorción pausada, en conjunto estos dos procesos dan lugar a la biosorción. Se puede también presentar un proceso de bioacumulación en la pared celular (Bates *et al.*, 1982). Se emplea además en la elaboración de suplementos nutricionales, por su alto valor proteico, favoreciendo la actividad del sistema inmunológico (González, 2014).

¹ Sistema de Información de Biodiversidad de Argentina.

4.5.4. *Scenedesmus* sp.

4.5.4.1. Generalidades

Esta microalga se puede localizar solitaria o en parejas formando cenobios. Se caracteriza por su capacidad de resistir en elevadas concentraciones de nutrientes al estar en interacción con aguas residuales, además de que posee gran actividad metabólica y fácilmente puede sobrevivir a variaciones ambientales (Forero *et al.*, 2016).

Las microalgas se reproducen a través de la formación de autocenobios, que consisten en la división de la célula madre en un número determinado de células hijas simples, mismas que después de quedar libres al romperse la pared de la célula madre, crecen y adquieren las características propias de la especie (Ruiz *et al.* 2011).

El género *Scenedesmus* son microalgas propias de lugares donde se presenten altas concentraciones de nutrientes, determinándose, así como la microflora que habita en una variedad de ambientes de agua dulce. Esta característica es una de las principales razones por las que se la considera además como una especie cosmopolita, pudiendo así denotar que existen alrededor de 100 especies y variedades, mismas que se adaptan fácilmente a las condiciones de cultivo fuera de su hábitat natural (Ruiz *et al.*, 2011).

4.5.4.2. Morfología y Estructura

Son especies de color verde no móviles aproximadamente oscilan entre 12-14 μm de ancho y 15-20 μm de largo. Estas células se presentan de forma elíptica y algunas de ellas de acuerdo a la especie como la *Scenedesmus subspicatus* presentan espinas. (SEMS, 2012)²

² Sociedad Española de microalgas y subproductos.

El agrupamiento de sus células y la forma de cómo se asocian unas con otras, se realiza directamente a través de su pared celular o por medio de proyección de la propia pared (Komarek 1974, Komarek & Fott, 1983)

Esta microalga está compuesta de la siguiente manera; Proteínas totales en un porcentaje de 24 a 35%, Lípidos 2 a 3%, Nutrientes digeridos 56 a 60%, Fibra bruta 10 a 15%, Materia orgánica 35% y Minerales 23 a 25% (SEMS, 2012).

4.5.4.3. Taxonomía de la Microalga

Para la especie *Scenedesmus* según su clasificación taxonómica puede clasificarse de la siguiente manera:

Clase: Chlorophyceae

Orden: Chlorococcales

Familia: Scenedesmaceae

Género: Scenedesmus

Especie: *Scenedesmus* sp.

(Ruiz *et al.*, 2011)

4.5.4.4. Aplicaciones

La investigación con microalgas ha alcanzado mayor importancia debido a la cantidad de usos que estas pueden tener; se pueden utilizar con fines energéticos, principalmente para la obtención de biodiésel y otros biocombustibles como bioetanol, biometano, biohidrógeno, generar calor y electricidad. Entre otras aplicaciones comerciales de las microalgas se destacan la nutrición, acuicultura, cosméticos y biofertilizantes.

Estos usos son económicamente viables y ambientalmente sostenibles, de manera que reducen significativamente los costos de implementación al ser comparados con

los procedimientos tradicionales además de mitigar los impactos ambientales, consiguiendo una sostenibilidad global dentro de los procesos productivos.

En los últimos diez años el uso de las microalgas para biorremediación ha sido una de las alternativas más factibles, por tal motivo se ha impulsado investigaciones encaminadas en esta temática, mismas que hasta la actualidad han representado numerosos aportes para el desarrollo de nuevas técnicas. El uso de las microalgas tiene como fin disminuir las concentraciones de metales pesados que se encuentren en los ecosistemas contaminados (Kumar, 2018).

4.5.5. Medios de Cultivo

Para el cultivo de microalgas se destacan dos procedimientos básicos, estos son los cultivos abiertos que se caracterizan por tener la biomasa expuesta directamente a condiciones ambientales y los cultivos cerrados que también se los denomina fotobiorreactores, en los que se aísla la biomasa de las condiciones ambientales como la contaminación y la lluvia, las características que presente el cultivo dependerá para el desarrollo de la biomasa ya sea esta monoalgal o la combinación de dos o más microalgas. (Hernández, Pérez y Labbé, 2014).

En los sistemas de cultivos abiertos de microalgas, se utilizan medios naturales que pueden ser lagunas y estanques, así como también existen varios diseños artificiales que proporcionan mayor reproducción, si es el caso de producción a gran escala, pero sin embargo mediante este procedimiento hay más posibilidades de que este medio se contamine y también se dificulta la producción de un solo tipo de microalga. Así como también puede presentarse inconvenientes con la estabilidad de las condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo. (AST Ingeniería, 2014).

(AST Ingeniería, 2014) menciona además que los sistemas de cultivos cerrados se implementaron con el fin de suplantar los aspectos negativos de los sistemas de cultivos abiertos, lo que caracteriza a los cultivos cerrados y los hace eficaces es que se encuentran aislados de las condiciones atmosféricas, lo que asegura que no se

contamine y además se da la posibilidad de controlar las condiciones del cultivo generando una mayor rentabilidad. Mediante esta forma de cultivo se pueden mencionar cuatro tipos que dependen de las necesidades y condiciones óptimas de los cultivos que se utilicen:

- **Cámaras de Algas:** Son sistemas de producción a pequeña escala, su característica principal es que sus cultivos son escalares en los cuales el volumen del cultivo va aumentando exponencialmente, en estas cámaras el control de la temperatura se la realiza mediante termostatos o calefactores, la luz se proporciona de manera artificial mediante tubos fluorescentes para que de esta forma tenga una iluminación constante y homogénea, los requerimientos de estas deben estar en un rango de 2,000 y 4,000 lux y la temperatura promedio oscila entre 15 y 22°C.
- **Fotobiorreactores:** En este sistema se exigen al máximo cumplir con las condiciones necesarias para el desarrollo y crecimiento óptimo de las microalgas, de tal forma que se reduzcan las posibilidades de contaminación los fotobiorreactores pueden ser planos o tubulares, horizontales, verticales, inclinados (verticales), serpentines o múltiples, mismo que pueden ser impulsados por bombas, el tipo del biorreactor que se use está directamente relacionado con el tipo de microalgas que se requiera utilizar.

Actualmente se ha considerado optar por fusionar varios pasos del sistema de fotobiorreactores, de cultivos abiertos y cerrados, teniendo así una primera etapa de reproducción en fotobiorreactores y una vez que el cultivo alcance las condiciones deseadas se pase el cultivo a un sistema abierto de lagunas o estanques con la finalidad de complementar la captación de nutrientes que no fueron los suficientes en la etapa que paso en las condiciones del fotobiorreactor.

En el caso de los cultivos heterotróficos, para la producción de microalgas emplean únicamente concentraciones de carbono orgánico sin la necesidad de luz. Los cultivos iniciales se realizan en biorreactores agitados con la finalidad de aumentar

la producción de biomasa, el único aspecto negativo es el uso excesivo de energía para este procedimiento (AST Ingeniería, 2014).

Como se había mencionado anteriormente, la producción de microalgas ha adquirido mucha importancia en la actualidad, debido a la demanda que existe en los campos como: la acuicultura, en la industria de los biocombustibles, en varios estudios sobre contaminación (biorremediación), entre otros. Para la industria acuícola, la producción de algas es de gran importancia para el desarrollo de especies como los copépodos, los rotíferos, algunas larvas de moluscos, caracoles, almejas, mejillones, ostiones, camarones blancos, azules y cafés de igual forma también de ranas toro, peces como pargos y botetes; y dulceacuícolas como carpas, tilapias y de ornato (Medina, *et al.*, 2012).

4.6. INMOVILIZACIÓN DE MICROALGAS

4.6.1. El potencial de micro y macroalgas para la descontaminación de metales pesados:

Estos microorganismos tienen la capacidad de fusionar la función fotosintética de las plantas, con la rapidez de crecimiento de los organismos unicelulares, características que proporcionan el eficaz desarrollo en medios de cultivos y generan un gran potencial de productividad. Como resultados a estudios con estos microorganismos demuestran su capacidad para remover metales pesados en ambientes acuosos, fundamentando así su potencial para la biorremediación de aguas residuales industriales, varias cepas pueden remover hasta un 97% de metales pesados como es el caso de *Chlorella vulgaris* (Lau *et al.*, 1998).

Mientras que el empleo de macroalgas también tiene la capacidad de biorremediación, además de que se encuentran fácilmente en zonas litorales y se puede cosecharlas en grandes cantidades. (Rincón *et al.*, 2005). Como resultados de varias investigaciones se pudo comprobar que la eficiencia de remoción con

macroalgas para metales pesados se da en un 80%. (Patrón-Prado *et al.*, 2010). De igual forma en el caso de *Scenedesmus obliquus* sin inmovilizar, la remoción incrementó de un 12 a 27%, a diferencia de los mismos microorganismos inmovilizados que tuvieron una remoción de del 95% (Pellon *et al.*, 2003).

4.6.2. Tipos de Inmovilización

4.6.2.1. Inmovilización Pasiva

Consiste en el proceso mediante el cual las microalgas se adhieren a una superficie con la finalidad de que crezcan sobre ella, dicha superficie son estructuras de adhesión donde se produce un biofilm, el cual abarca alrededor del 15 a 25% de las células vivas y el porcentaje restante corresponde a biomasa muerta y agua (Kourkoutas *et al.*, 2004). Este proceso de formación de biofilm se da en cuatro pasos; inicialmente las células distinguen la superficie y se adhieren a ella, seguidamente empieza a aumentar la biomasa celular de las microalgas, formando colonias en el área de adherencia de manera irreversible, luego el biofilm crece y madura permitiendo la adhesión total de las colonias de microalgas y finalmente estas colonias se separan del biofilm mediante procesos de erosión y desgaste dando lugar para que nuevas colonias se adhieran a esta superficie (Nazar, 2007).

4.6.2.2. Inmovilización Activa

Este procedimiento también se lo denomina como inmovilización artificial y se diferencia del anterior por la influencia de geles naturales o sintéticos, que permite una interacción e intercambio de sustancias entre las microalgas y el medio que lo rodea. La matriz más usada para la inmovilización de las microalgas es el alginato (Moreno, 2008).

4.6.3. Alginato

Es un polisacárido lineal poliónico e hidrofílico, que forma geles en presencia de iones de calcio, el modelo de gelificación se lo denomina como “caja de huevo” por su forma muy parecida a esta, procede de algas marinas con características gelificantes y espesantes, por tal motivo ha sido de gran interés en la industria alimenticia. Las primeras investigaciones acerca de la extracción de alginatos a partir de algas fueron realizadas por el químico británico E. Stanford en el año de 1883. La extracción de esta sustancia se da principalmente de las especies de algas marrones *Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum* y *Macrocystis pyrifera* (McHugh, 1987).

4.6.4. Beneficios ambientales de este procedimiento y una proyección a futuro:

Este sistema se considera eficiente y sobre todo amigable con el ambiente, además de ser una innovación en el contexto actual, por ende, este mecanismo evaluado a nivel de laboratorio tiene la posibilidad de tener replicabilidad para emplearse a gran escala por su gran eficacia de remoción en investigaciones y estudios anteriores (Le-Feuvre *et al.*, 2015)

4.7. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA

De acuerdo con lo establecido en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua que corresponde al Anexo I del TULSMA señala que:

“Se entiende por uso del agua para preservación de la vida acuática y silvestre, su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuacultura.”

Teniendo en consideración lo antes mencionado se tomará en cuenta los siguientes parámetros de análisis en el presente estudio:

Tabla 3

Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

PARÁMETROS	EXPRESADOS COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Cromo Hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Potencial Hidrógeno	pH	H ⁺ / OH ⁻	6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20

Fuente Anexo I TULSMA, 2015

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Producción de la biomasa:

Se emplearon cepas de microalgas del laboratorio de la PUCESI, posteriormente se procedió a realizar la selección de las especies requeridas, tomando en cuenta la viabilidad y estabilidad de los cultivos por medio de conteos celulares en la cámara Neubauer. Una vez seleccionados se aislaron de los demás para conservar su pureza y evitar que se contaminen, seguidamente se les adicionó nutriente (Nitrógeno 24% Fósforo 8% y Potasio 20%) en proporción 1ml/l, las microalgas permanecieron con aireación y luz constante durante siete días.

Después de este tiempo, se comenzó a aumentar la concentración de las microalgas, pasando el 50% de volumen de cada recipiente de 6 litros, en nuevos recipientes del mismo volumen, añadiendo agua destilada para igualar el volumen inicial de 5 litros, conjuntamente se realizó un control microscópico de manera continua para determinar el aumento o disminución de la producción de las microalgas y finalmente se realizaron mediciones de las concentraciones mediante la cámara de Neubauer (Sánchez *et al.*, 2008)



Figura 1 Producción de Biomasa de microalgas

5.2. Preparación de las concentraciones de microalgas

Se realizó la cuantificación de la concentración de los cultivos de microalgas a través de la cámara Neubauer con el fin de determinar la cantidad inicial de microorganismos de la cual inició la experimentación.

Una vez obtenida la mayor producción de microalgas de cada una de las especies, se mantuvo en refrigeración a 15 °C por un lapso de 24 a 48 horas máximo con el fin de que las microalgas formen un sedimento altamente concentrado en el fondo del recipiente.

Seguidamente se eliminó el agua que se encontraba por encima del sedimento y tomando como referencia la concentración mayor C3 = 250 ml de solución de microalgas que corresponde al 100% se realizaron las siguientes diluciones:

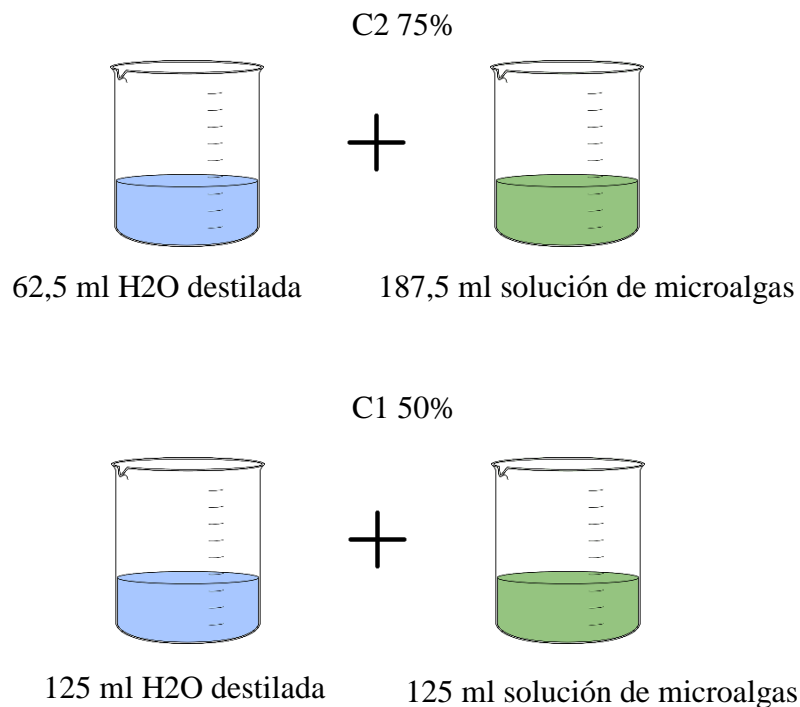


Figura 2 Preparación de las concentraciones de microalgas

(Rodríguez, et al., 1999)

5.3. Inmovilización de microalgas en esferas de alginato

Este procedimiento se realizó de acuerdo a lo descrito por Bashan y Hernández (2002). Se preparó una disolución al 4% de Alginato de sodio y agua destilada con una relación de 10 g en 250 ml. a continuación, la solución fue diluida a baño maría durante un período de 10 a 15 min., agitando constantemente con la ayuda de una barrilla agitadora hasta obtener una mezcla homogénea evitando en su totalidad la presencia de grumos.

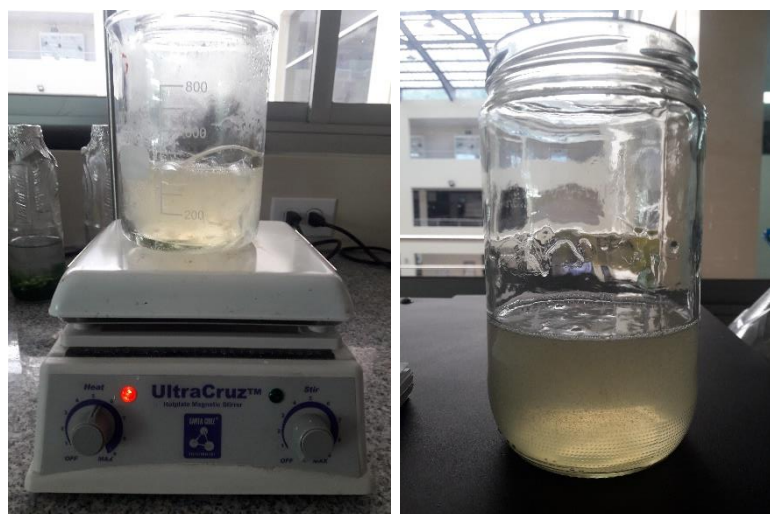


Figura 3 Preparación de la disolución al 4% de viscosidad de Alginato de sodio.

Esta solución se le adicionó en cada volumen de concentración de microalgas y se mezclaron hasta obtener una solución homogénea finalmente se colocó la solución estabilizada en una jeringa de 20 ml y se dejó gotear lentamente en una solución de CaCl 2%.

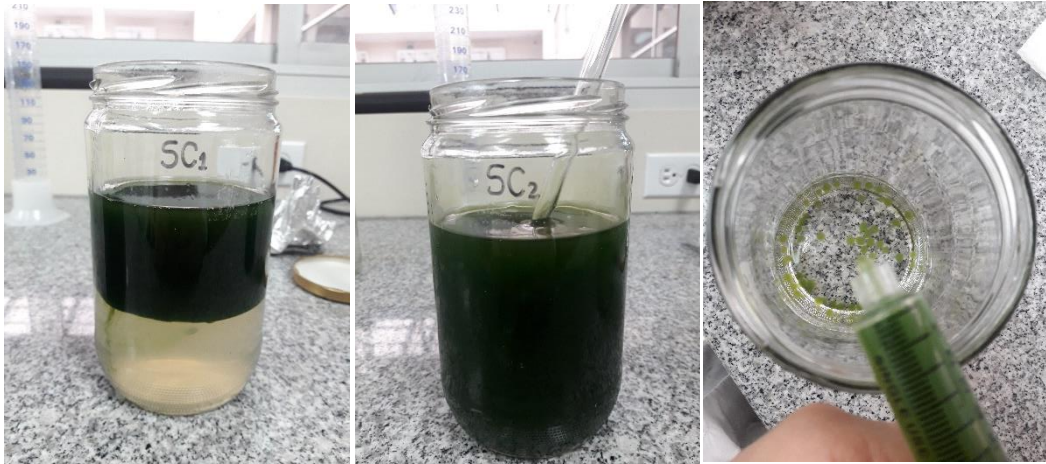


Figura 4 Mezcla de la solución de Alginato con las concentraciones de microalgas.

Después de terminar el goteo, se filtraron y lavaron las perlas de alginato con las microalgas para eliminar los residuos de cloruro de calcio y posteriormente se colocaron en agua destilada y con aireación (Arias, 2017).

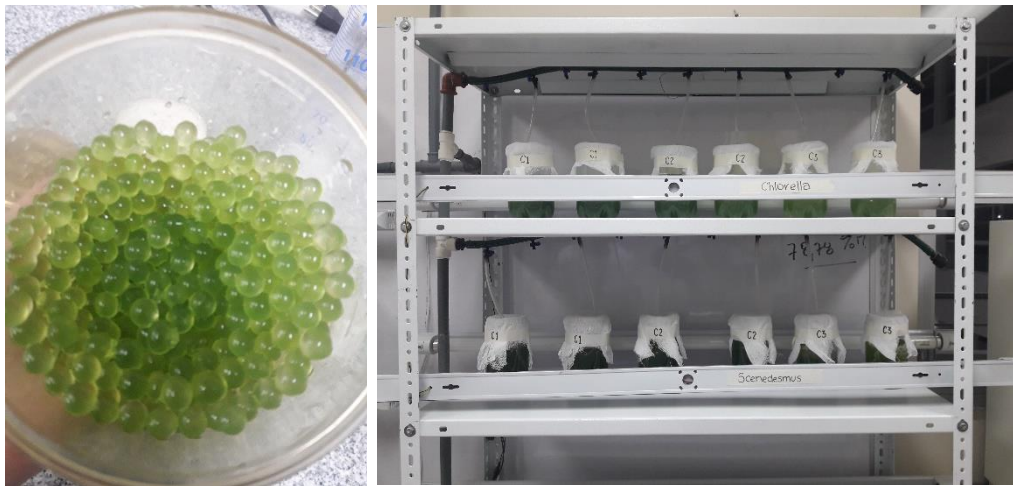


Figura 5 Obtención de microalgas inmovilizadas en perlas de Alginato.

5.4. Preparación de la solución sintética de cromo

Para preparar la solución de Cr con una concentración de 1 ppm el procedimiento se lo realizó de la siguiente manera; se necesitaron 6 balones con un volumen de 1000 ml, en cada uno de ellos se colocaron 500 ml de agua destilada y con una micropipeta se adicionó 1 ml de solución estándar de cromo de 1000 ppm (AccuStandard AA13N-1) y finalmente se procedió a aforar cada uno de ellos, obteniendo así una concentración final de 1 ppm que representa el doble del valor límite permisible; con la finalidad de que con la técnica utilizada los resultados lleguen a tener valores iguales o menores a los límites permisibles para descarga a un cuerpo de agua dulce según lo establecido en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes al Recurso Agua (TULSMA, 2015).



Figura 6 Preparación de la Solución sintética de Cromo

Una vez que todos los balones estuvieron aforados se trasvasaron a un recipiente de mayor tamaño para que se distribuyeran 200 ml a cada uno de los recipientes que se usaron como unidades experimentales del análisis, después se colocaron tapones en cada uno de los recipientes, posteriormente se colocó en el autoclave para que quedarán esterilizados tanto los recipientes como la solución.



Figura 7 Distribución de la solución sintética en cada uno de los recipientes que serán las unidades experimentales.

5.5. Análisis de la solución sintética de cromo y de las microalgas inmovilizadas

El tiempo de exposición con el metal fue de 15 días y para determinar la concentración de cromo final se tomaron muestras diariamente pasando un día, en cada una de ellas se analizó la cinética de remoción de cromo mediante un análisis de laboratorio en el espectrofotómetro de absorción atómica. Obteniendo así una curva con las mediciones de las muestras obtenidas. Así como también se realizó análisis de conductividad, absorbancia y pH (Invemar, 2003).

En el caso de la absorbancia, la densidad óptica fue evaluada mediante espectrofotometría medida a 750nm usando el espectrofotómetro (Optizen POP). La longitud de onda analizada corresponde a la longitud de onda de la Clorofila A, presente en las microalgas del género *Chlorella* y *Scenedesmus*. Mientras que para la medición de la concentración de cromo las muestras fueron analizadas a 580nm (Abou, *et al.*, 2011).



Figura 8 Análisis de laboratorio en el espectrofotómetro de absorción atómica para la determinación de la concentración de cromo.

Con respecto a los análisis de las muestras en las microalgas inmovilizadas de igual forma se realizaron pasando un día, de la siguiente manera; de cada uno de los recipientes usados como unidades experimentales se tomó 1 gr. de esferas de microalgas inmovilizadas y se colocó en un tubo cónico de 50 ml a esto se le adicionaron 9 ml de solución de bicarbonato al 4%, esta mezcla se dejó en reposo por 4 horas, para luego realizar los respectivos conteos celulares, mediciones de pH, conductividad y absorbancia (Ardila, 2012).

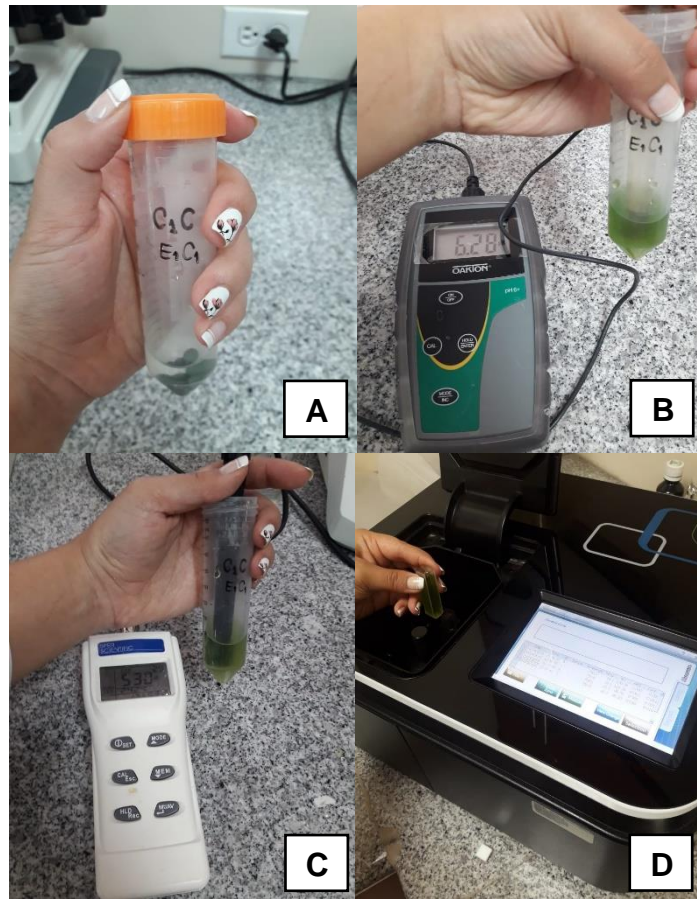


Figura 9 A) Dilución de perlas de alginatos con solución de bicarbonato al 4%, B) Mediciones de pH, C) Mediciones de conductividad, D) Mediciones de absorbancia de las microalgas inmovilizadas.

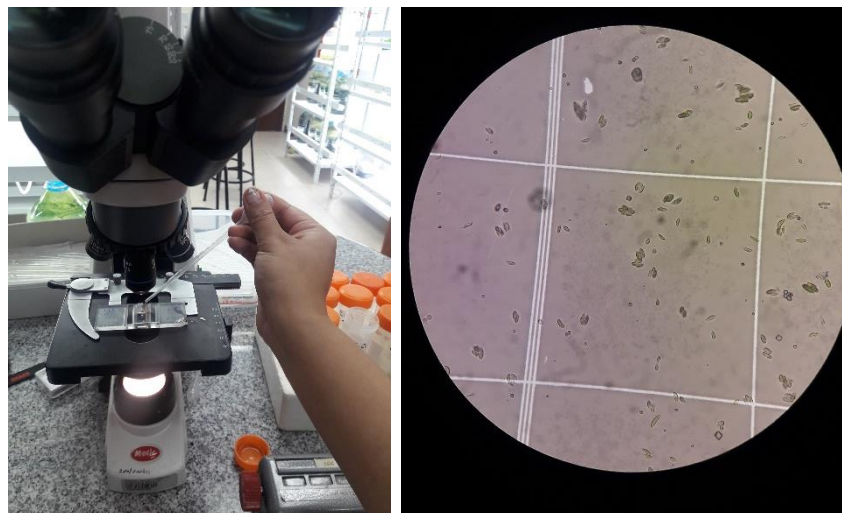


Figura 10 Conteos de las microalgas después de inmovilizarlas.

5.6. Análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizó el software estadístico R versión 3.5.1 y para los cálculos el software Excel.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de realizar la prueba Shapiro en cada uno de los grupos de datos en estudio; pH, conductividad, absorbancia, conteo celular y concentración de cromo, se pudo determinar que existe normalidad del modelo que se utilizó; diseño de bloques completamente al azar, de igual forma se presentó homogeneidad de las Varianzas confirmándose así, la validación del procedimiento estadístico empleado.

6.1. SOLUCIÓN SINTÉTICA DE CROMO (Concentración 1ppm)

6.1.1. pH de la solución sintética de cromo con la especie *Chlorella sp.*

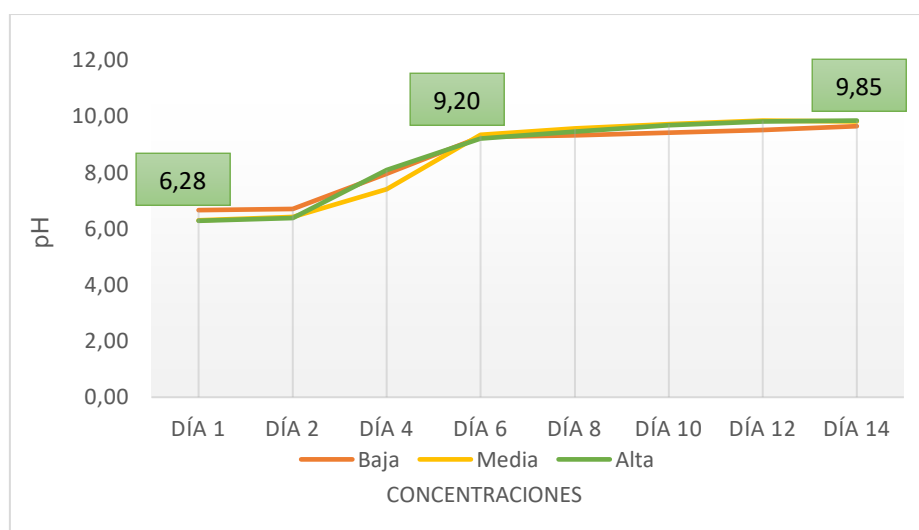


Figura 11 Resultados de pH de la solución sintética de cromo con la especie *Chlorella sp.*
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Figura 11 el pH de la solución sintética de Cr presentó diferentes comportamientos de acuerdo a las concentraciones de microalgas *Chlorella sp.* que se emplearon para la investigación. Teniendo como resultado que durante los primeros cuatro días la solución sintética se mantuvo en pH neutro, a partir del sexto día el agua comenzó paulatinamente a tornarse alcalina hasta el día catorce que finalizó la investigación. La concentración Alta de *Chlorella sp.* presentó mayor pH con relación a las otras concentraciones. Al comparar estos resultados con la investigación realizada por Sen (2018) se concluye que al Biorremediar Cr (VI) usando microorganismos nativos vivos, las condiciones óptimas para la eliminación máxima de Cromo se da en un pH de 9,0 o valores mayores a este.

6.1.2. pH de la solución sintética de cromo con la especie *Scenedesmus sp.*

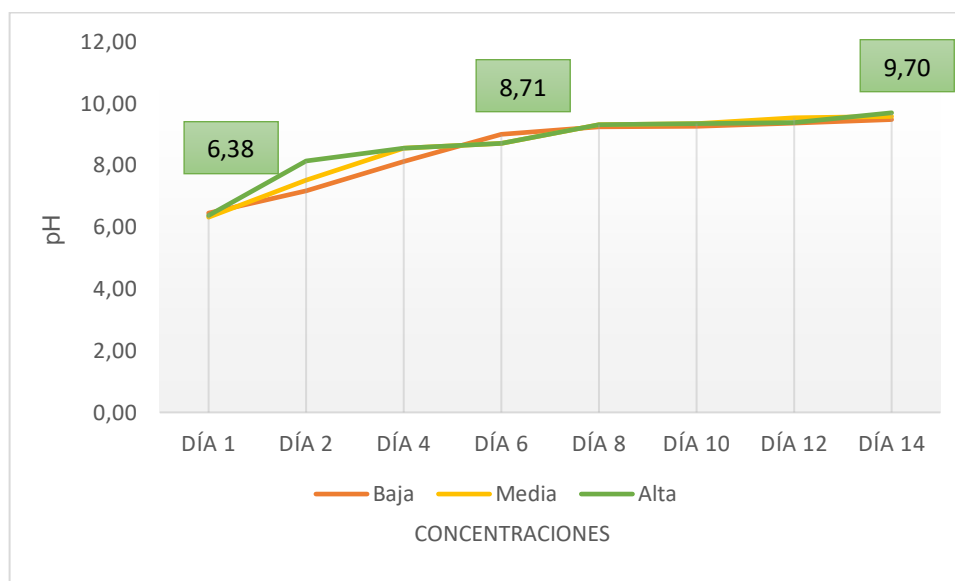


Figura 12 Resultados de pH de la solución sintética de cromo con la especie *Scenedesmus sp.*
Fuente: Elaboración propia.

Para la especie *Scenedesmus sp.* como se presenta en la Figura 12 de igual forma las diferentes concentraciones presentaron distintos valores de pH, teniendo como resultado que durante los dos primeros días se mantuvo un pH neutro, a partir del cuarto día la solución sintética comenzó a presentar alcalinidad hasta el día catorce que terminó la investigación. La concentración Alta presentó mayor pH con relación a las otras concentraciones.

Sin embargo, al comparar los resultados con la investigación realizada por Ardila (2012) en el cual se investigó acerca de la medición de la capacidad de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* para la remoción de cromo de aguas de curtiembre, se muestra que existió mayor alcalinidad en la Solución Sintética de Cromo para la especie *Chlorella sp* frente a la especie *Scenedesmus sp.* cabe recalcar que a pesar de que la especie *Chlorella sp.* obtuvo mayor eficacia de remoción, con la especie *Scenedesmus sp.* se presentó también una remoción menor pero significativa.

6.1.3. pH de la solución sintética de cromo con relación a las dos especies en estudio (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*)

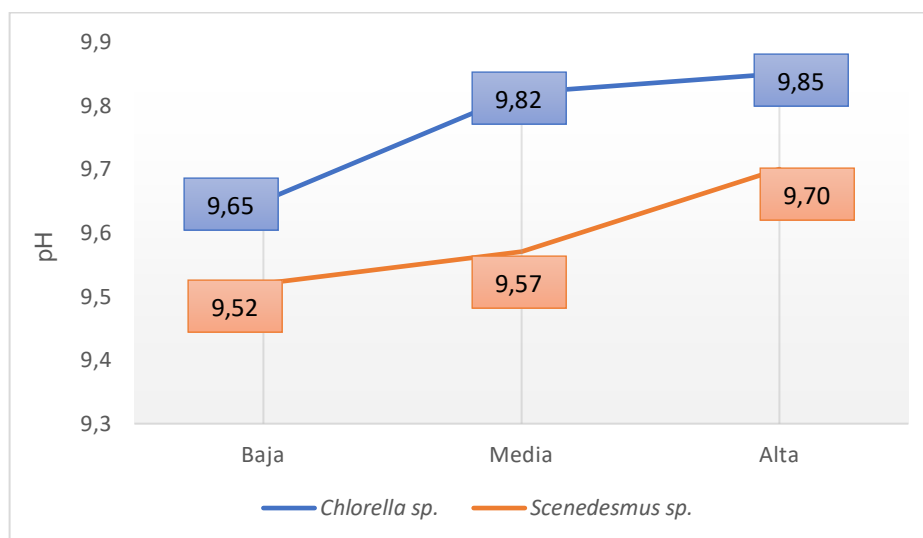


Figura 13 Resultados de pH de la solución sintética de cromo con relación a las dos especies en estudio, Día 14 (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*)
Fuente: Elaboración propia.

Mediante la figura 13 se puede concluir que en las dos especies la concentración de las microalgas es directamente proporcional al pH de la solución sintética de cromo, es decir a mayor concentración de microalgas mayor pH.

Tabla 4

Análisis de Varianza para la variable pH de la solución sintética

FV ³	GL	SC	CM	F ₀	p value
Total	23	0,74			
Bloques	3	0,04	0,01	0,62	
Tratamientos	5	0,36	0,07	3,16	
Especies (E)	1	0,19	0,19	8,36*	0.0112
Concentración (C)	2	0,15	0,07	3,30 ns	0.0648
I ExC	2	0,02	0,01	0,43 ns	0.6587
Error	15	0,34	0,02	1,00	
CV	1,39%				

Fuente: Elaboración propia.

³ FV= Fuentes de Variación, GL= Grados de Libertad, SC= Suma de Cuadrados, CM= Cuadrados Medios, F₀= Valor de F calculado.

En la Tabla 4 mediante el análisis de Varianza para la variable pH de la solución sintética determina la existencia de diferencias significativas solo para especies ($p < 0.05$). El coeficiente de variación fue de 1,39% lo que representa el correcto manejo del experimento.

- Para la variable “Especies” (Figura 14), se identificó que la solución sintética de Cr con la E1 (*Chlorella sp.*), presentó mayor alcalinidad frente a la E2 (*Scenedesmus sp.*), luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$); determinándose así la remoción de la concentración de Cr de la solución sintética.

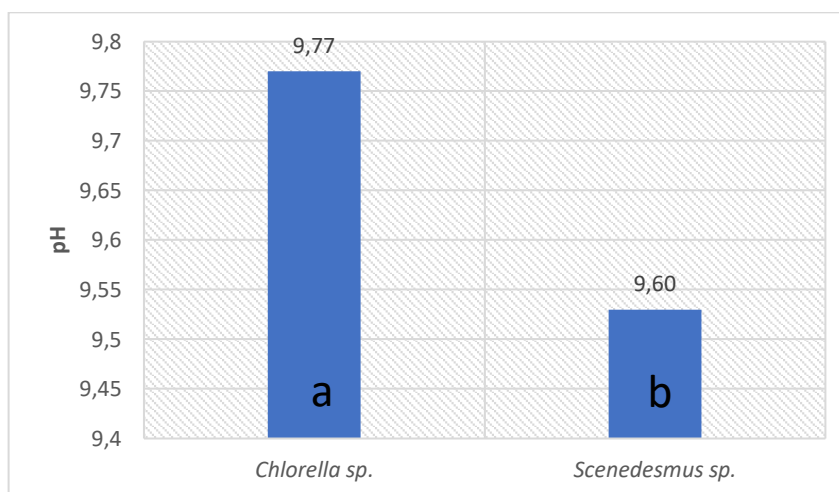


Figura 14 Resultados de pH de la solución sintética de cromo mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las especies *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*

Fuente: Elaboración propia.

- Para la variable “Concentraciones” (Figura 15), se identificó que no existen diferencias significativas por lo que estadísticamente el pH es igual en las dos especies.

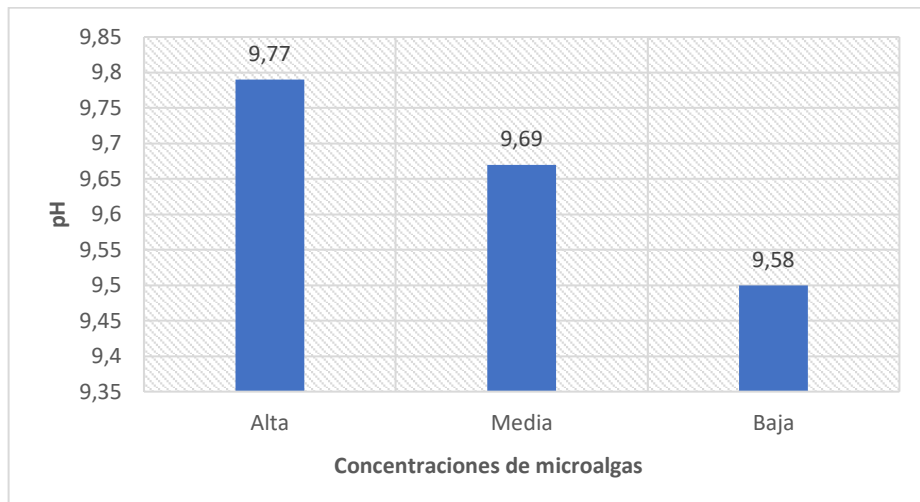


Figura 15 Promedios de pH de la solución sintética de cromo entre las concentraciones; Alta, Media y Baja.

Fuente: Elaboración propia.

- Y finalmente para la interacción entre “Especies” x “Concentraciones” (Figura 16) se identificó que no existen diferencias significativas por lo que estadísticamente el pH es igual en todos los tratamientos, definiéndose así la remoción de Cr de la solución sintética.

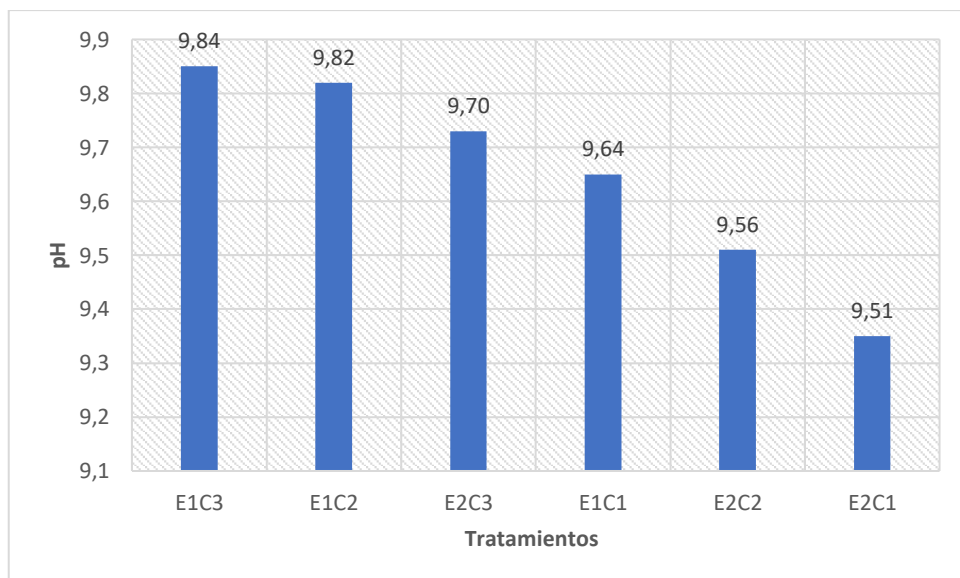


Figura 16 Promedios de pH de la solución sintética de cromo entre los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Tomando como referencia el trabajo de investigación de Jaiswar y Chauhan (2017) donde se estudió la concentración de metales pesados en el agua, se concluyó que, al aumentar el pH del agua los metales pesados son removidos de la solución, disminuyendo su disponibilidad, es decir que a medida que el pH sea más alto la concentración de Cr será menor. Al comparar los dos resultados de pH entre las dos especies en estudio se puede concluir que la especie *Chlorella sp* alcanzó mayor alcalinidad de la solución sintética con un pH de 9,84 concluyendo así que esta especie tuvo mayor efectividad en la remoción de Cr con un 86%.

Por otra parte, la investigación realizada por Veranes (2012), tras realizar el Estudio del comportamiento de la microalga *Scenedesmus obliquus* para la precipitación de cromo en albañal sintético concluye que; la forma de remoción de Cr más favorecida fue posible en valores de pH de 10,1, es decir alcalinos, datos que al compararse con los de la presente investigación son muy similares, pues la especie *Chlorella sp* volvió alcalina la solución sintética de Cr, alcanzando un valor de pH 9,85.

Estudios recientes realizados por Chao (2018) acerca de la Eliminación de cromo hexavalente de las aguas subterráneas mediante hidróxidos dobles de Mg / Al con características de síntesis in situ, muestran también como resultados que el comportamiento de las aguas que contienen Cromo, presenta una disminución de la concentración del metal generando dependencia a los valores de pH, mismos que pueden variar en un rango de 5 – 12 de acuerdo a las concentraciones que el metal presente en solución.

6.1.4. Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo con la especie *Chlorella sp.*

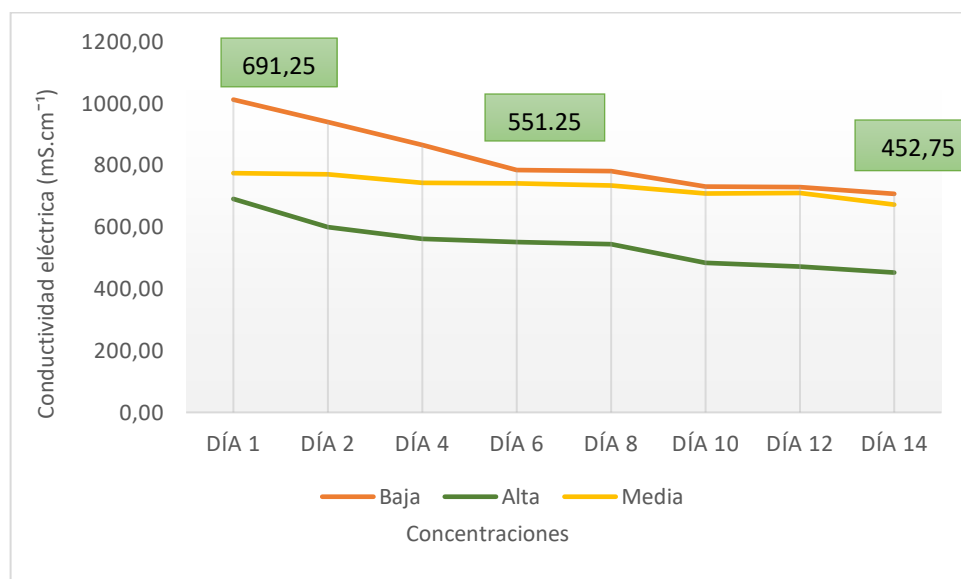


Figura 17 Resultados de Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo con la especie *Chlorella sp.*

Fuente: Elaboración propia.

La solución sintética de Cr presentó inicialmente valores altos de conductividad eléctrica, esto indica la presencia de cromo en el agua, inmediatamente a partir del segundo día estos valores empezaron a disminuir paulatinamente, demostrando remoción de Cr por parte de la especie *Chlorella sp.* en cuanto a las concentraciones que se usaron para la experimentación se puede mostrar que la concentración alta presentó menor conductividad eléctrica en comparación con las demás. Teniendo estos resultados y al ser comparados con la investigación realizada por Liu (2016) donde habla acerca de una nueva tecnología para el tratamiento de las aguas residuales de cromo basada en la biosorción, manifiesta que los valores de conductividad y pH medidos durante el proceso de biosorción son de gran importancia para monitorear el proceso, Además afirma la relación de que existe mayor conductividad eléctrica cuando existe mayor concentración de Cromo en la solución.

6.1.5. Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo con la especie *Scenedesmus sp.*

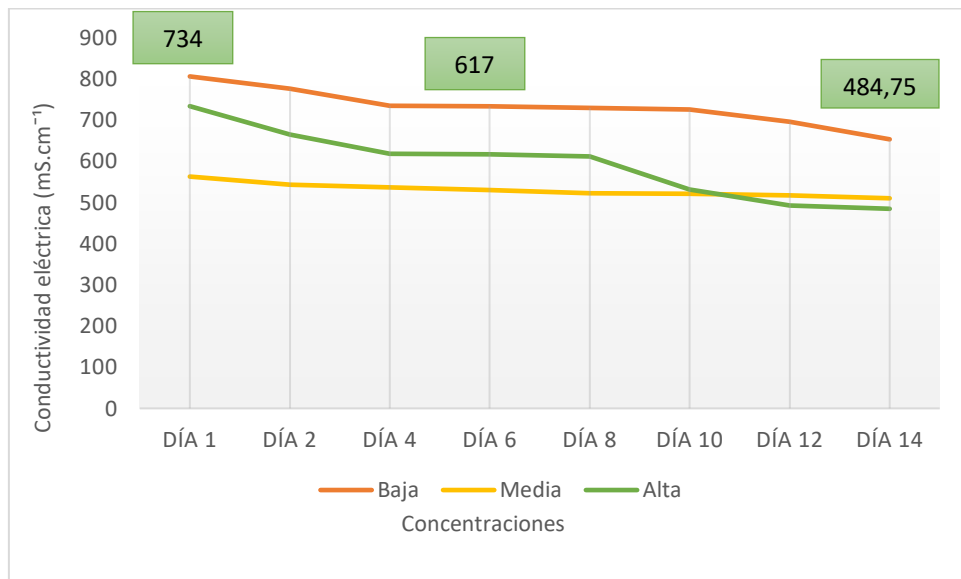


Figura 18 Resultados de Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo con la especie *Scenedesmus sp.*

Fuente: Elaboración propia.

Para la especie *Scenedesmus sp* la conductividad eléctrica tuvo el mismo comportamiento mencionado anteriormente, inicialmente se presentaron valores altos de conductividad mismos que fueron disminuyendo hasta la finalización de la experimentación. La concentración alta de *Scenedesmus sp.* mostró menor conductividad frente a las demás concentraciones.

6.1.6. Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo con relación a las dos especies en estudio (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*)

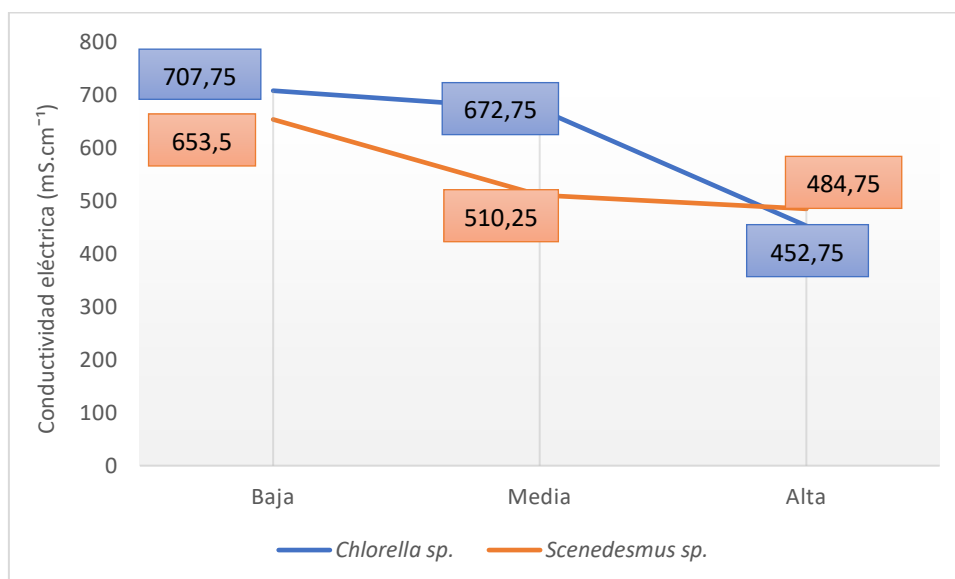


Figura 19 Resultados de Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo con relación a las dos especies en estudio, Día 14 (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*)
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 19 se puede observar la interacción de las dos especies con respecto a la conductividad eléctrica, concluyendo en que la concentración de las microalgas es inversamente proporcional a la conductividad es decir que a mayor concentración menor conductividad eléctrica.

Tabla 5

Análisis de Varianza para la variable conductividad eléctrica de la solución sintética

FV	GL	SC	CM	F ₀	p value
Total	23	262831.0			
Bloques	3	3676.5	1225.5	1.1	
Tratamientos	5	241818.2	48363.6	41.8**	
Especies (E)	1	22755.0	22755.0	19.7***	0.000480
Concentración (C)	2	181071.6	90535.8	78.3***	1.15x10 ⁻⁸
I ExC	2	37991.6	18995.8	16.4***	0.000166
Error	15	17336.3	1155.8	1.00	
CV	5.29%				

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5 mediante el Análisis de Varianza para la variable conductividad eléctrica de la solución sintética de Cromo; se determina la existencia de diferencias altamente significativas para especies, concentración y la interacción entre especies y concentración ($p < 0,001$). El coeficiente de variación fue de 5,29% lo que representa el correcto manejo del experimento.

- Para la variable “Especies” (Figura 20) se identificó que la solución sintética de Cr con la E1 (*Chlorella sp.*), presentó menor conductividad eléctrica frente a la E2 (*Scenedesmus sp.*), luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$), demostrando así la disminución de la concentración de Cr de la solución sintética.

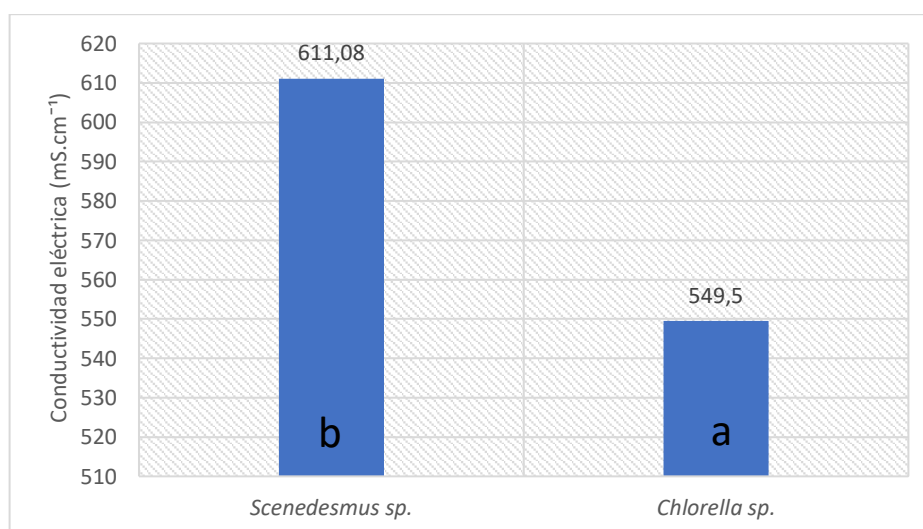


Figura 20 Resultados de Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las especies *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*
Fuente: Elaboración propia.

- Para la variable “Concentraciones” (Figura 21) se identificó que las concentraciones altas C3 en las dos especies, hicieron que la solución sintética de Cr presente menor conductividad eléctrica, luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$), concluyendo que las concentraciones altas remueven mayor concentración de Cr de la solución sintética.

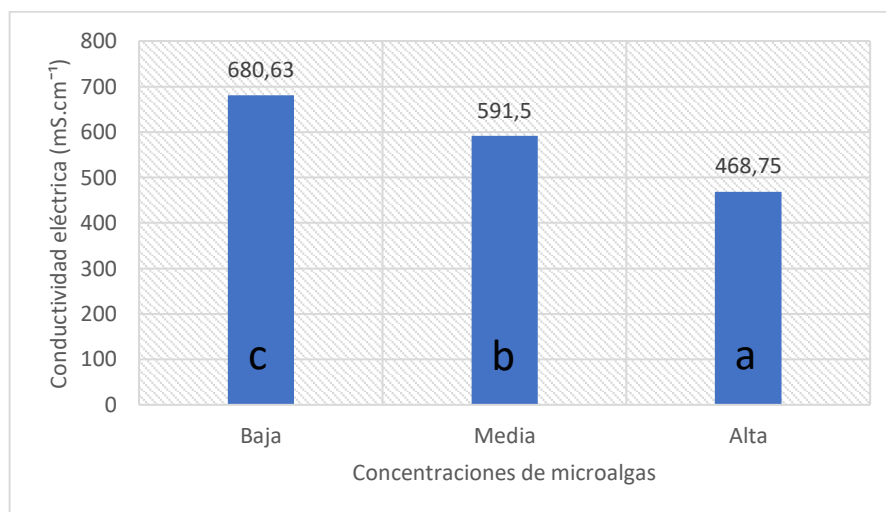


Figura 21 Resultados de Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media y Baja.

Fuente: Elaboración propia.

- Y finalmente para la interacción entre “Especies” x “Concentraciones” (Figura 22) se identificó dos grupos con tres datos estadísticamente iguales en cada caso. Es decir que en la experimentación se identificaron los siguientes tratamientos como los mejores; E1C3, E2C3 y E2C2, luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$), determinando que los tres tratamientos presentaron mayor efectividad en la remoción de Cr en la solución sintética.

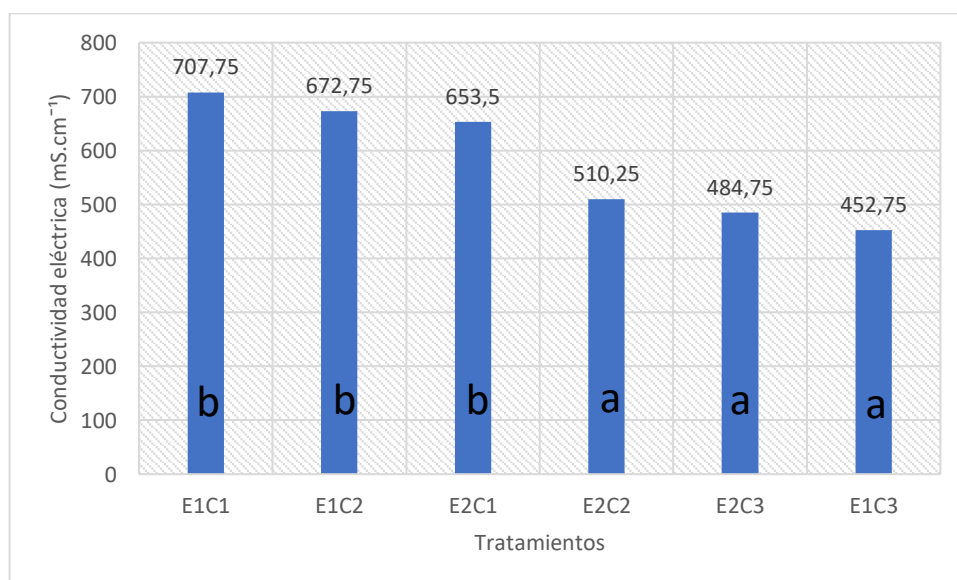


Figura 22 Resultados de Conductividad eléctrica de la solución sintética de cromo mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos de conductividad se concluye que a medida que la concentración de Cr en la solución sintética disminuye, también disminuye la conductividad eléctrica de la misma. Obteniendo así que la especie *Chlorella sp* al presentar menor conductividad con $452,75 \text{ mS.cm}^{-1}$, tuvo mayor eficiencia frente a la especie *Scenedesmus sp*. Lo mencionado anteriormente se puede fundamentar con el estudio realizado por Ahmad (2017), donde al realizar la inmovilización de *Chlorella sp*. para el tratamiento eficiente de efluentes de la planta de aceite de palma y la remoción de metales pesados, concluye en lo siguiente; La conductividad siempre presentó valores muy altos independientemente del efluente analizado, esto indica la presencia de Cr y de iones que impactan en la dureza del agua como: Ca^{++} , Na^+ , Mg^{++} y provenientes de productos químicos usados en el proceso.

De igual manera se puede citar para la investigación realizada por Kumar (2018) donde al realizar investigaciones en fitorremediación de aguas residuales municipales de la planta de tratamiento basadas en procesos de lodos activados, menciona que los resultados revelaron que existió una relación de reducción con respecto a la concentración de cromo y conductividad, concluyendo que existe estos dos parámetros son inversamente proporcionales entre sí.

6.1.7. Absorbancia de la solución sintética de cromo con la especie *Chlorella sp.*

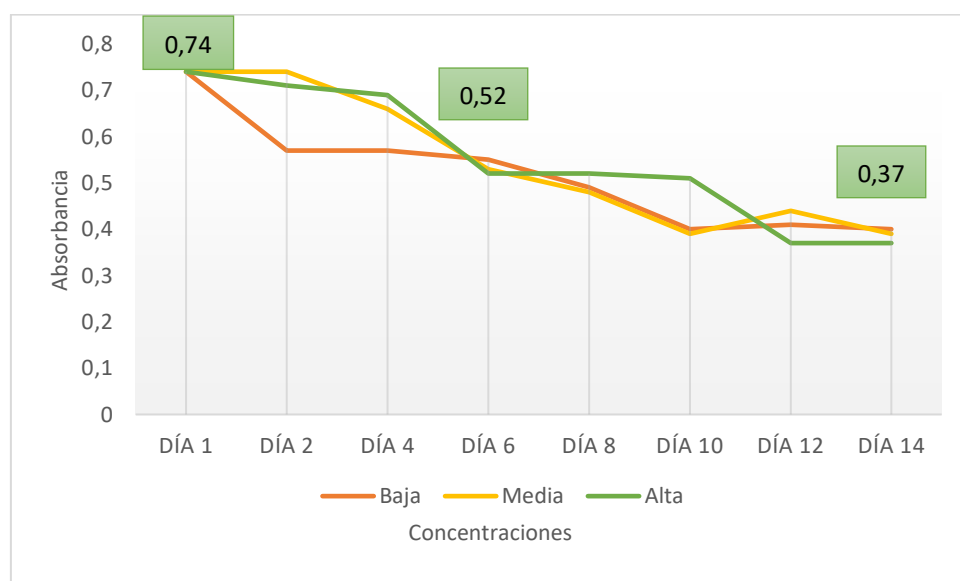


Figura 23 Resultados de Absorbancia de la solución sintética de cromo con la especie *Chlorella sp.*
Fuente: Elaboración propia

Los valores de absorbancia presentes en la Figura 23 que fueron medidos en la presente experimentación para la especie *Chlorella sp* presentaron variaciones de acuerdo a las concentraciones que se emplearon, es así que inicialmente se observó que los valores de absorbancia para las diferentes concentraciones fue el mismo, sin embargo, a partir del segundo día, estos valores fueron disminuyendo hasta la finalización de esta investigación. Se puede recalcar además que la concentración Alta obtuvo un valor menor de absorbancia frente a las demás concentraciones en estudio.

Tomando como referencia los resultados de López (2015), donde se realizó la determinación de cromo en agua potable, se concluye que la absorbancia es proporcional a la concentración de cromo de las muestras, es decir que la disminución en los resultados obtenidos de la presente experimentación, muestran también una disminución de la concentración de cromo, es decir que si existió una biorremediación efectiva con la especie *Chlorella sp.*

6.1.8. Absorbancia de la solución sintética de cromo con la especie *Scenedesmus sp.*

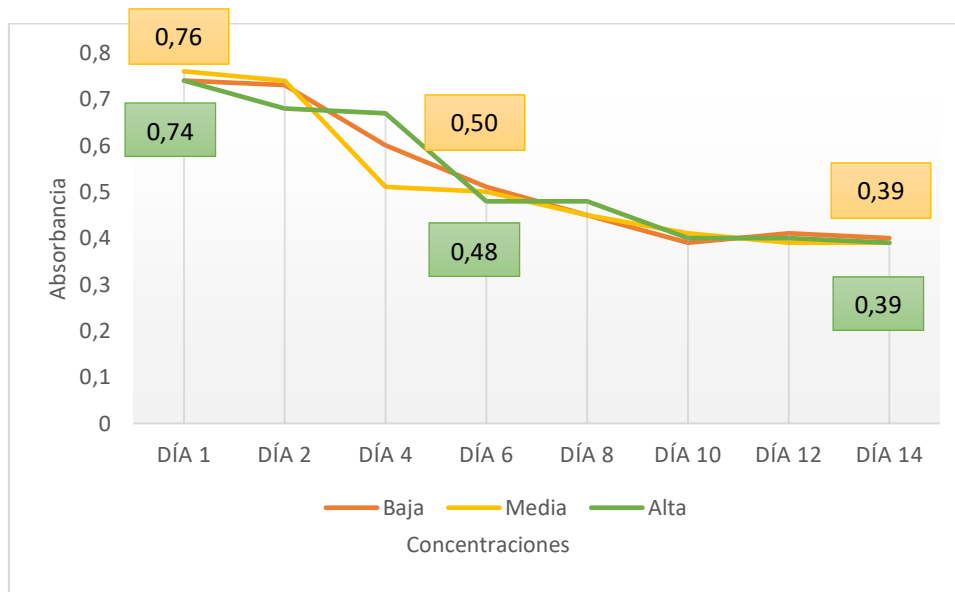


Figura 24 Resultados de Absorbancia de la solución sintética de cromo con la especie *Scenedesmus sp.*

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, los valores de absorbancia detallados en la Figura 24 que fueron medidos en la presente experimentación para la especie *Scenedesmus sp* presentaron variaciones de acuerdo a las concentraciones que se emplearon, es así que inicialmente se observó que los valores de absorbancia para las diferentes concentraciones presentaron valores altos, mismo que fueron disminuyendo hasta la finalización de esta investigación. Se puede recalcar además que la concentración Alta y Media obtuvieron valores iguales de conductividad al finalizar la experimentación frente a la concentración baja.

Comparando los presentes resultados con los de la especie *Chlorella sp.* y considerando los estudios de López (2015), se puede determinar que la especie más eficiente para la remoción de cromo tomando como referencia los resultados de absorbancia es la especie *Chlorella sp.* ya que sus valores finales son menores, mostrando así bajas concentraciones de cromo en la solución sintética.

6.1.9. Absorbancia de la solución sintética de cromo con relación a las dos especies en estudio (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*)

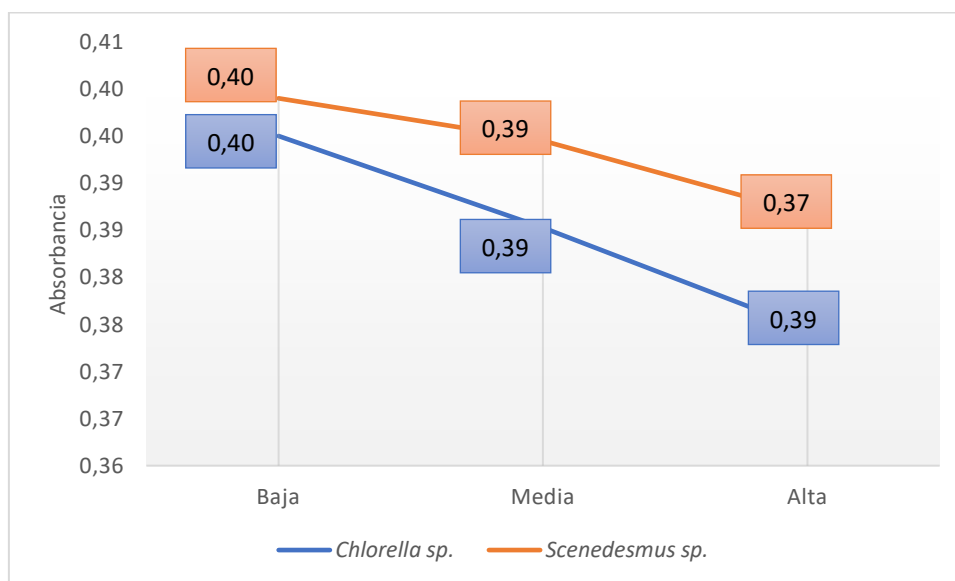


Figura 25 Resultados de Absorbancia de la solución Sintética de Cromo con relación a las dos especies en estudio, Día 14 (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 25 se puede observar la interacción de las dos especies con respecto a la absorbancia, concluyendo en que la concentración de las microalgas es inversamente proporcional a la absorbancia es decir que a mayor concentración de Cr menor absorbancia.

Tabla 6

Análisis de Varianza para la variable absorbancia de la solución sintética

FV	GL	SC	CM	F ₀	p value
Total	23	0,0078			
Bloques	3	0,0008	0,0003	0,69	
Tratamientos	5	0,0016	0,0003	0,86	
Especies (E)	1	0,0004	0,0004	1,18 ns	0.294
Concentración (C)	2	0,0001	0,00003	0,10 ns	0.262
I ExC	2	0,0011	0,0005	1,46 ns	0.910
Error	15	0,0055	0,0004	1,00	
CV	3,69%				

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 mediante el Análisis de Varianza para la variable absorbancia de la solución sintética se concluye que no existen diferencias significativas para especies, para concentración y para la interacción entre especies y concentración ($p>0,05$). El coeficiente de variación fue de 3,69% lo que representa el correcto manejo del experimento.

- Para la variable “Especies” (Figura 26) se identificó que no existen diferencias significativas por lo que estadísticamente los valores de absorbancia es igual en las dos especies, es decir que las dos especies disminuyeron la concentración de Cr en la solución sintética.

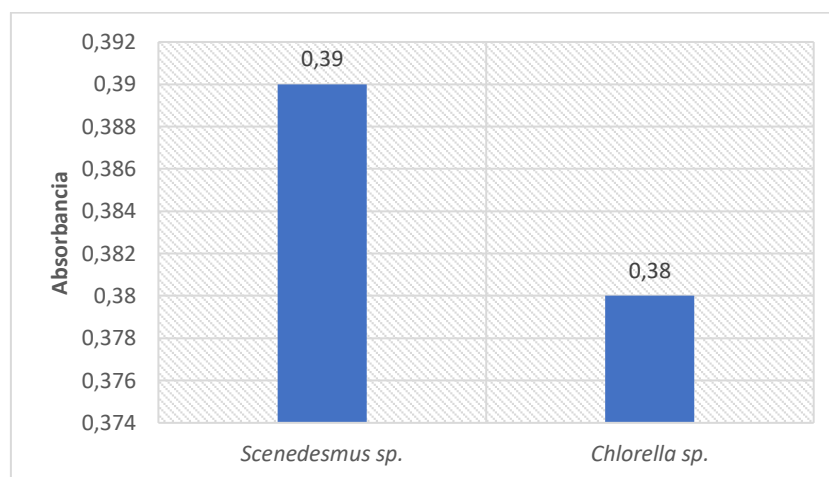


Figura 26 Promedios de Absorbancia de la solución sintética de cromo entre las especies *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*

Fuente: Elaboración propia.

- Para la variable “Concentraciones” (Figura 27) se identificó que no existen diferencias significativas por lo que estadísticamente los valores de absorbancia son iguales en todas las concentraciones.

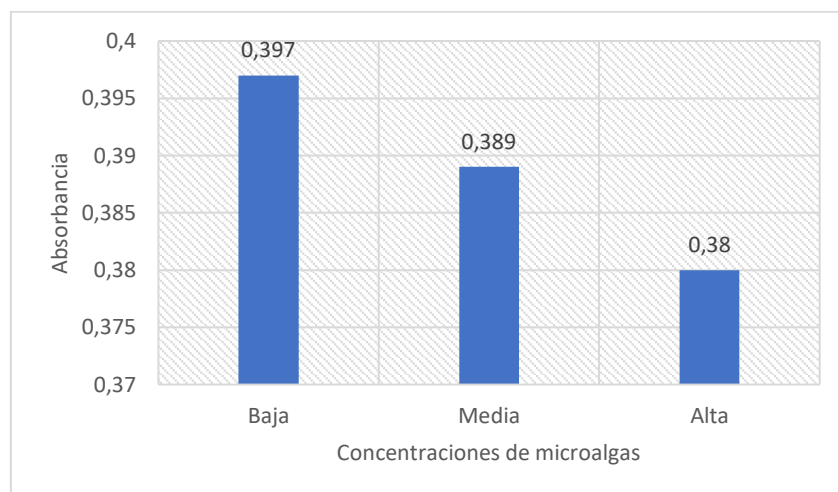


Figura 27 Promedios de Absorbancia de la solución sintética de cromo, entre las concentraciones; Alta, Media, Baja.
Fuente: Elaboración propia.

- Y finalmente para la interacción entre “Especies” x “Concentraciones” (Figura 28) se identificó que no existen diferencias significativas por lo que estadísticamente los valores de absorbancia son iguales en todos los tratamientos.

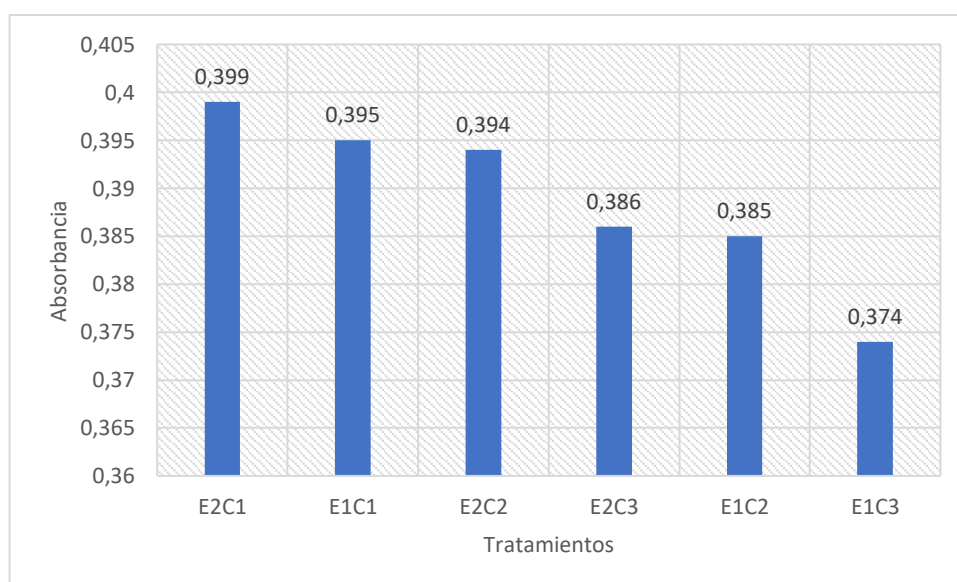


Figura 28 Promedios de Absorbancia de la solución sintética de cromo, entre los tratamientos
Fuente: Elaboración propia

Teniendo como antecedentes la investigación de Armijo (2014), donde después de realizar el Estudio de la Cinética de recuperación de Cromo Hexavalente provenientes de Aguas Residuales Industriales. Parte I; concluye que la Absorbancia es directamente proporcional a la Concentración de Cromo presente en el Agua Residual. Al comparar estos resultados con la presente investigación se obtiene que las dos especies tuvieron igual disminución de los valores de absorbancia, determinándose así que las dos especies atenuaron la concentración de Cromo en la solución sintética.

6.1.10. Remoción de cromo de la solución sintética con la especie *Chlorella sp.*

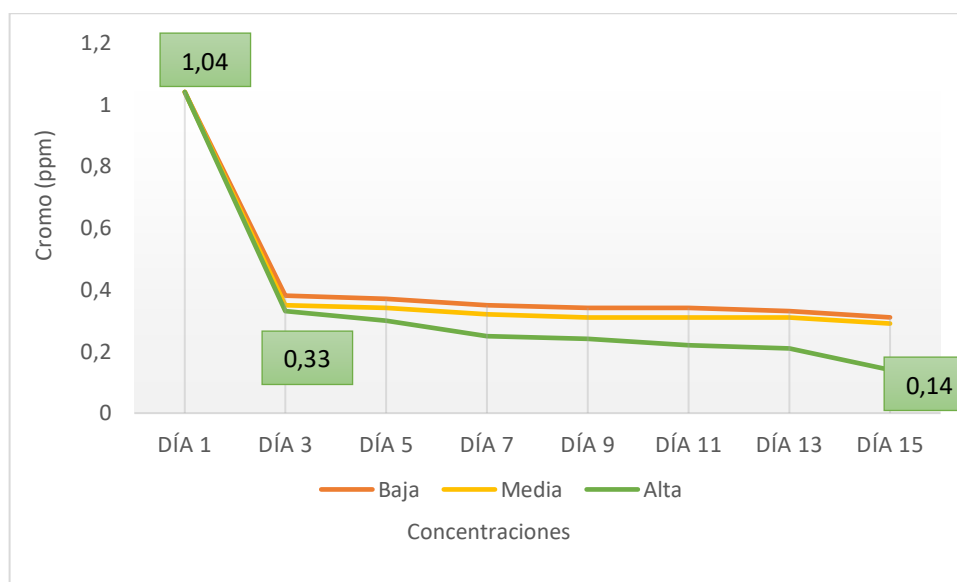


Figura 29 Resultados de Remoción de Cromo de la solución sintética con la especie *Chlorella sp.*
Fuente: Elaboración propia

Después de realizar el análisis de los datos en la Figura 29 se obtuvieron los resultados esperados utilizando el procedimiento de inmovilización de microalgas en esferas de alginato para la remoción de Cromo, inicialmente la solución sintética presentó una concentración de 1,04 ppm de Cr, al finalizar la experimentación las tres concentraciones de *Chlorella sp* presentaron diferentes porcentajes de remoción, sin embargo la concentración Alta de microalgas *Chlorella sp* tuvo una mayor remoción con 86% y el valor de 0,14 ppm de concentración de Cr de la solución

sintética final, todo esto se fundamenta en la investigación realizada por Das (2018) donde después de realizar la Biorremediación de aguas residuales de curtiembre por el consorcio de *Chlorella sp.* y *Phormidium sp.* concluye que las eficiencias de remoción para Cromo pueden llegar a ser hasta del 90%.

La efectividad que se presenta en la remoción de las microalgas se puede fundamentar además con las investigaciones realizadas por Torres, Hess, McNeil, Guy y Quinn (2017) en el Impacto de los contaminantes inorgánicos en la productividad de las microalgas y el potencial de biorremediación, donde se concluye que la efectividad de las microalgas para biorremediar metales pesados es mayor cuando los niveles de concentración del metal son lo suficientemente bajos de tal forma que esto no afecta negativamente a la productividad de la biomasa de las microalgas.

Como se puede observar en la gráfica la remoción de Cr de la solución sintética se da de manera inmediata en el transcurso del primero y segundo día, a partir del tercer día en adelante la disminución de la concentración se presenta de manera más homogénea hasta la finalización de la investigación, este comportamiento se relaciona con la investigación realizada por Nasirpour (2017), donde al desarrollar técnicas de inmovilización para biorremediación microbiana de metales tóxicos, señala que la técnica de inmovilización utilizada en la presente investigación proporciona más flexibilidad en comparación con los sistemas convencionales de biorremediación, en conjunto con una mayor densidad de células. Por tal razón la concentración alta de *Chlorella sp.* tuvo mayor eficacia en la remoción de Cromo de la solución sintética en la presente experimentación.

6.1.11. Remoción de cromo de la solución sintética con la especie *Scenedesmus sp.*

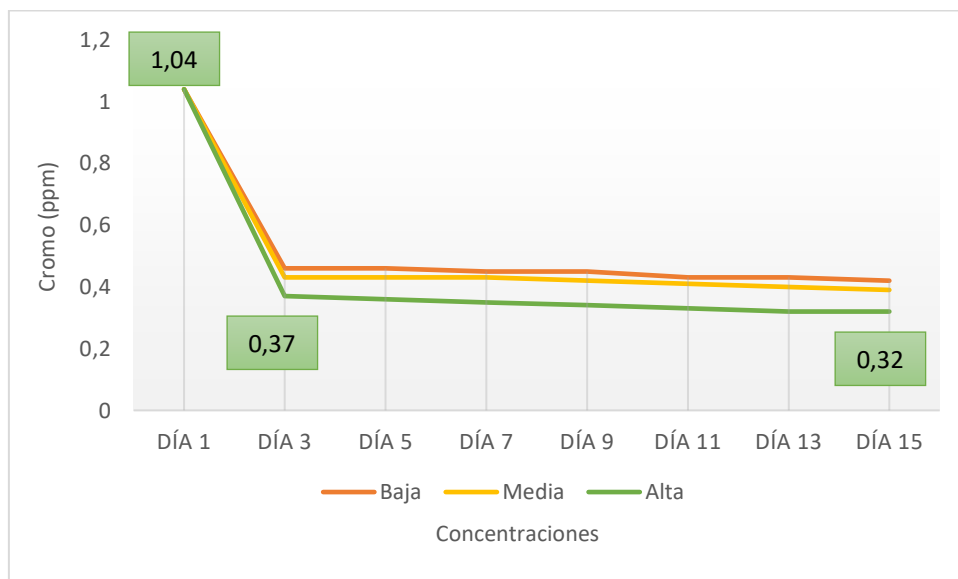


Figura 30 Resultados de Remoción de Cromo de la solución sintética con la especie *Scenedesmus sp.*

Fuente: Elaboración propia

Para la especie *Scenedesmus sp.* de igual forma se obtuvieron los resultados esperados utilizando el procedimiento de inmovilización de microalgas en esferas de alginato para la remoción de Cromo, inicialmente la solución sintética presentó una concentración de 1,04 ppm de Cr, al finalizar la experimentación las diferentes concentraciones de *Scenedesmus sp.* presentaron distintos comportamientos, sin embargo la concentración Alta de microalgas *Scenedesmus sp.* tuvo una mayor remoción con 69% frente a las demás concentraciones (Figura 30).

Por otra parte, en la gráfica la remoción de Cr de la solución sintética de igual forma se muestra como de manera inmediata se da la remoción de Cr en el transcurso del primero y segundo día, a partir del tercer día en adelante la disminución de la concentración se presenta de manera más homogénea hasta la finalización de la investigación.

6.1.12. Remoción de Cromo de la solución sintética con relación a las dos especies en estudio (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*)

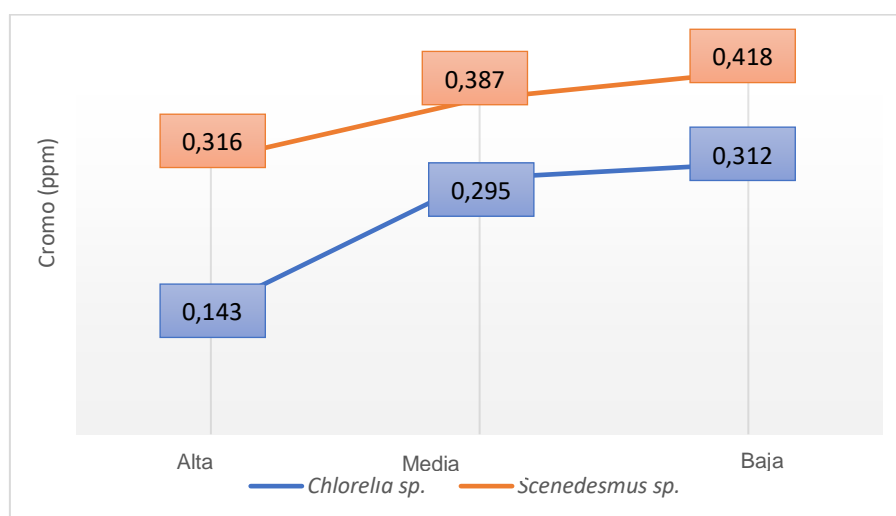


Figura 31 Resultados de Remoción de Cromo de la solución sintética con relación a las dos especies en estudio, Día 14 (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*).

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la Figura 31 muestra la interacción de las dos especies con la concentración de cromo de la solución sintética, según la figura 31 se puede observar que la concentración de las algas es inversamente proporcional a la concentración de cromo de la solución sintética, ya que, a mayor concentración de microalgas, menor concentración de cromo.

Tabla 7

Análisis de Varianza para la variable Cr de la solución sintética

FV	GL	SC	CM	F ₀	P value
Total	23	0,1866			
Bloques	3	0,0008	0,0003	1,13	
Tratamientos	5	0,1820	0,0364	145,23 **	
Especies (E)	1	0,0917	0,0917	365,85 ***	6.02x10 ⁻¹²
Concentración (C)	2	0,0828	0,0414	165,23 ***	6.06x10 ⁻¹¹
I ExC	2	0,0075	0,0037	14,92 ***	0.000271
Error	15	0,0038	0,0003	1,00	
CV	3,81%				

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 mediante el análisis de Varianza para la variable Cr de la solución sintética; se determina la existencia de diferencias altamente significativas para especies, concentración y la interacción entre especies y concentración ($p < 0,001$). El coeficiente de variación fue de 3,81% lo que representa el correcto manejo del experimento.

- Para la variable “Especies” (Figura 32) se identificó que la E1 (*Chlorella sp.*) tuvo mayor remoción de cromo, demostrando así mayor efectividad de remoción de Cr frente a la E2 (*Scenedesmus sp.*), luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$).

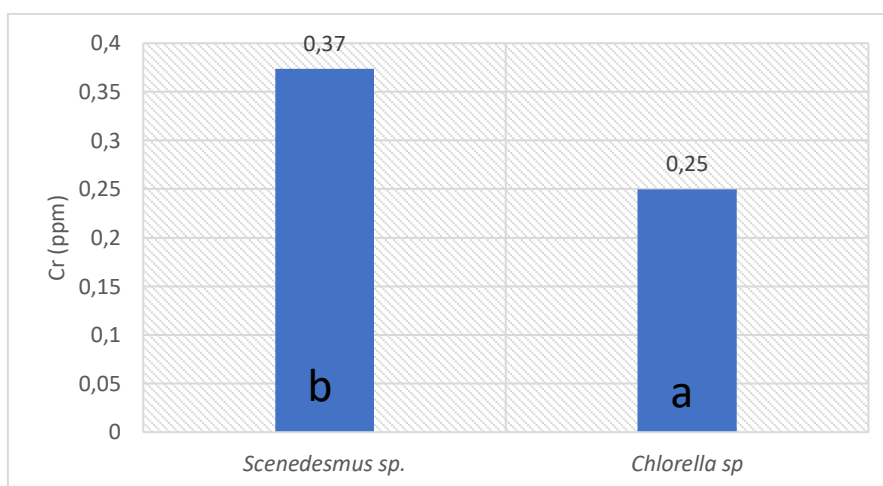


Figura 32 Resultados de Remoción de Cromo de la solución sintética mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las especies *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*
Fuente: Elaboración propia

- Para la variable “Concentraciones” (Figura 33) se identificó que las concentraciones altas C3 en las dos especies tuvieron mayor remoción de cromo, luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$).

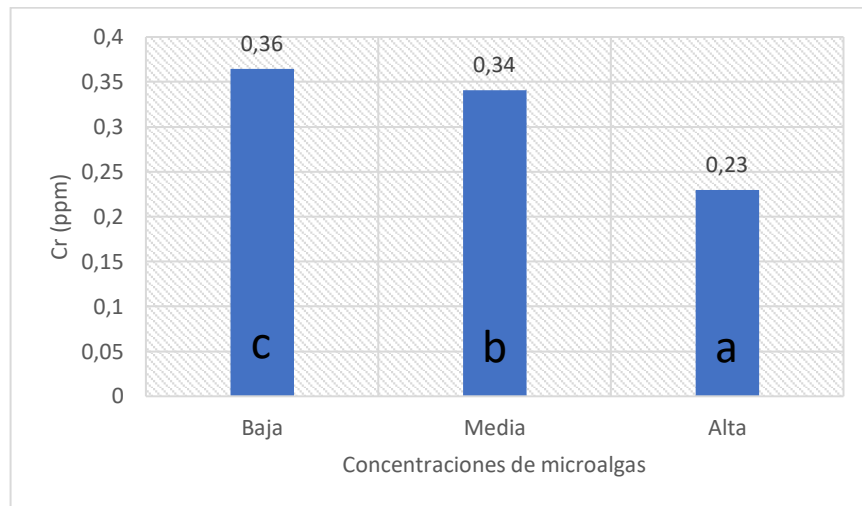


Figura 33 Resultados de Remoción de Cromo de la solución sintética mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media, Baja.
Fuente: Elaboración propia.

- Para la interacción entre “Especies” x “Concentraciones” (Figura 34) se identificó que el tratamiento con el que obtuvo mayor remoción de cromo fue E1C3 luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$), correspondiente a la especie *Chlorella sp.* Concentración Alta.

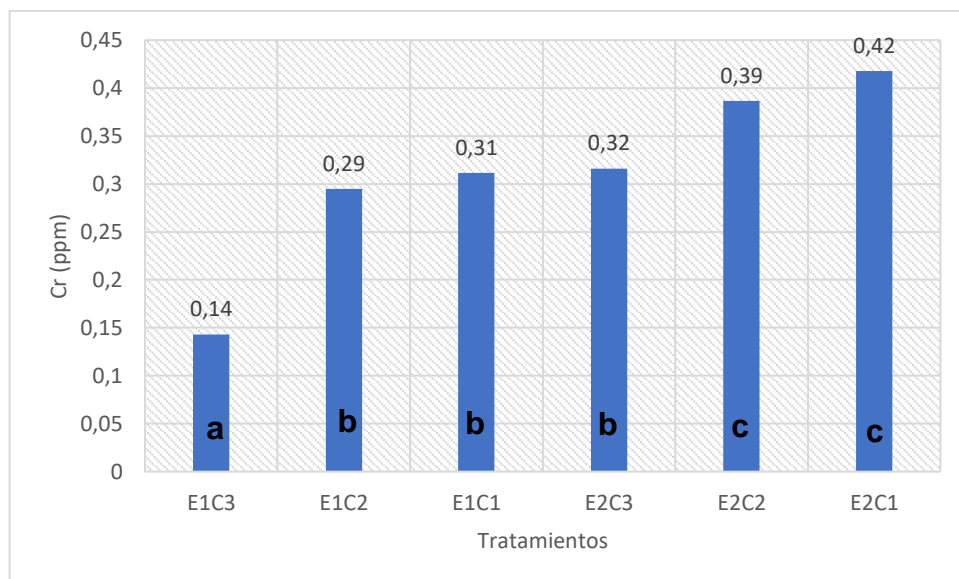


Figura 34 Resultados de Remoción de Cromo de la solución sintética mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre los tratamientos.
Fuente: Elaboración propia

Tomando como referencia el trabajo de Ardila (2012) en el cual se investigó acerca de la medición de la capacidad de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* para la remoción de cromo de aguas de curtiembre, se concluye que la remoción de Cr con *Chlorella sp.* inmovilizadas en perlas de alginato en concentraciones de 10 ppm de Cr, se obtuvieron resultados de 56% de remoción del metal. De igual forma en la presente investigación por intervención de la misma especie se obtuvo la remoción de Cr del 86%, en concentraciones de 1 ppm de Cr.

Con relación a la Investigación realizada por Maznah (2012) donde mediante la biosorción de cobre y zinc utilizando microalgas inmovilizadas y libres *Chlorella sp.* concluye en que la principal función de la encapsulación de las microalgas en una matriz de alginato de calcio, es su fácil utilización y accesibilidad, además de que al actuar en conjunto con la microalga *Chlorella sp.* aumenta la capacidad de remoción de metales pesados. Los datos obtenidos de las muestras de la presente investigación indican que los tratamientos en los que se empleó la microalga *Chlorella sp.* posee un mayor grado de remoción frente a la otra especie en estudio *Scenedesmus sp.*, es decir que la asociación del alginato de calcio con la especie *Chlorella sp.* tuvo mayor eficacia en la remoción de Cr en la experimentación.

6.2. MICROALGAS INMOVILIZADAS

6.2.1. pH de las microalgas inmobilizadas *Chlorella sp.*

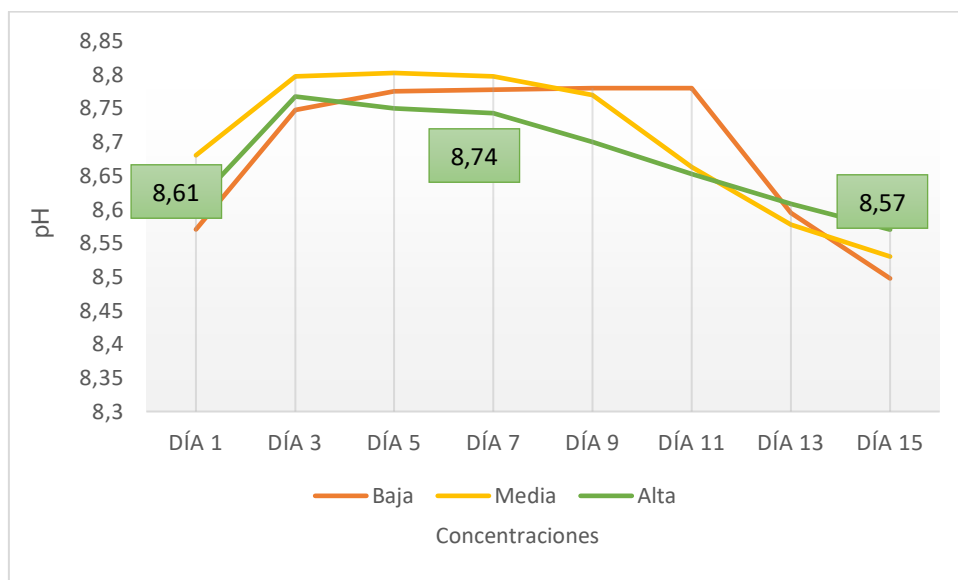


Figura 35 Resultados de pH de las microalgas Inmovilizadas *Chlorella sp.*
Fuente: Elaboración propia.

El pH de las microalgas inmobilizadas de la especie *Chlorella sp.* presentaron diferentes comportamientos de acuerdo a las concentraciones que se presentan en la Figura 35; en el caso de la concentración baja y media a partir del primer día el pH aumentó con valores de 8,78 y 8,80 respectivamente y se mantuvo estable hasta el día nueve, desde este día los valores de pH comenzaron a disminuir hasta 8,50 y 8,53 para las dos concentraciones respectivamente, mientras que en el caso de la concentración alta se presentó un incremento de pH de 8,75 hasta el tercer día a partir de este día el pH fue disminuyendo paulatinamente hasta la finalización de la experimentación con 8,57. La concentración Alta de *Chlorella sp.* presentó al final de la investigación mayor pH con relación a las otras concentraciones.

6.2.2. pH de las microalgas inmovilizadas *Scenedesmus sp.*

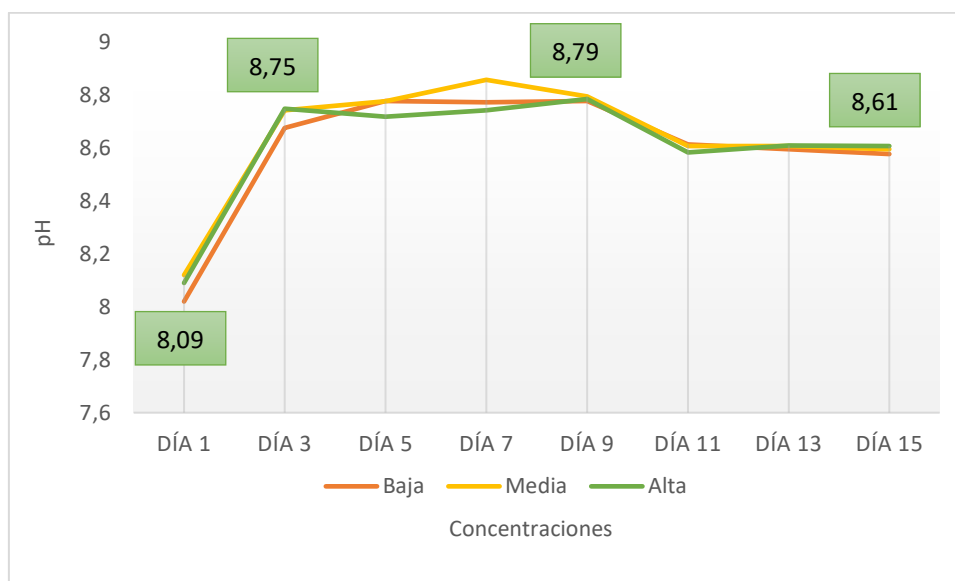


Figura 36 Resultados de pH de las microalgas Inmovilizadas *Scenedesmus sp*
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la especie *Scenedesmus sp.* en la Figura 36 se puede determinar que para la concentración baja desde el inicio de la experimentación hasta el día cinco se presentó un aumento de pH hasta 8,78, a partir del día seis el pH se mantuvo constante y desde el día once se empezó a presentar una disminución de pH de 8,58. En la concentración media el pH aumento hasta el día nueve con 8,80, a partir del día 11 empezaron a disminuir los valores de pH hasta 8,60. Y finalmente para la concentración alta el pH aumentó en los primeros tres días con un valor de 8,75 seguidamente desde el quinto día se dio una disminución de pH hasta 8,74, en el día nueve presentó un aumento de 8,79 mismo que fue disminuyendo hasta el día quince con un valor de 8,61.

6.2.3. pH de las microalgas inmovilizadas (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*)

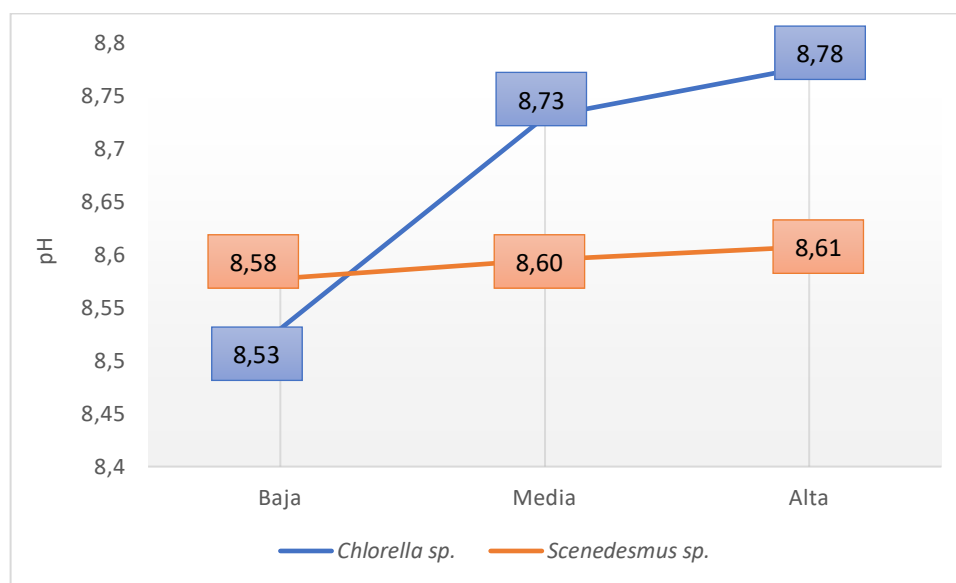


Figura 37 Resultados de pH de las microalgas inmovilizadas (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*), Día 14

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la figura 37 se puede concluir que la concentración de las microalgas es directamente proporcional a su pH, es decir que, a mayor concentración de microalgas, mayor pH. Además, se puede indicar que la especie *Chlorella sp.* mantuvo una mayor concentración con respecto a *Scenedesmus sp.* durante la experimentación.

Tabla 8

Análisis de Varianza para la variable pH de microalgas inmovilizadas

FV	GL	SC	CM	F ₀	p value
Total	23	0,193			
Bloques	3	0,002	0,001	1,424	
Tratamientos	5	0,182	0,036	62,702	
Especies (E)	1	0,043	0,043	74,598***	3,31x10 ⁻⁷
Concentración (C)	2	0,085	0,042	72,928***	1,87x10 ⁻⁸
I ExC	2	0,054	0,027	46,527***	3,70x10 ⁻⁷
Error	15	0,009	0,001	1,000	
CV	0,20%				

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 8 mediante el análisis de Varianza para la variable pH de las microalgas inmovilizadas; se determina la existencia de diferencias altamente significativas para especies, concentración y la interacción entre especies y concentración ($p < 0,001$). El coeficiente de variación fue de 0,20% lo que representa el correcto manejo del experimento.

- Para la variable “Especies” (Figura 38) se identificó que la E1 (*Chlorella sp.*), presentó mayor pH frente a la E2 (*Scenedesmus sp.*), mostrando así mayor crecimiento de las microalgas, luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$).

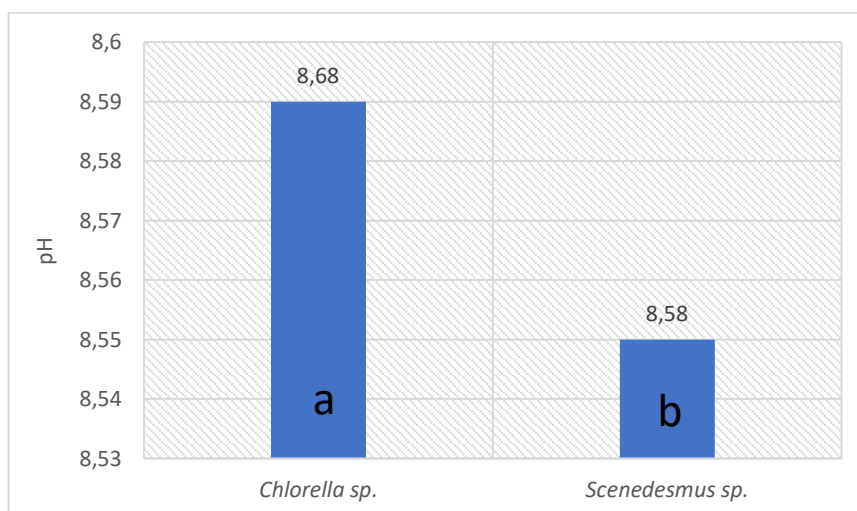


Figura 38 Resultados de pH de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

- Para la variable “Concentraciones” (Figura 39) se identificó que las concentraciones altas C3 y medias C2 en las dos especies, presentaron mayor alcalinidad, luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$); sin embargo, de acuerdo a los valores de pH de la C3 esta presenta un mayor crecimiento celular con respecto a las demás concentraciones.

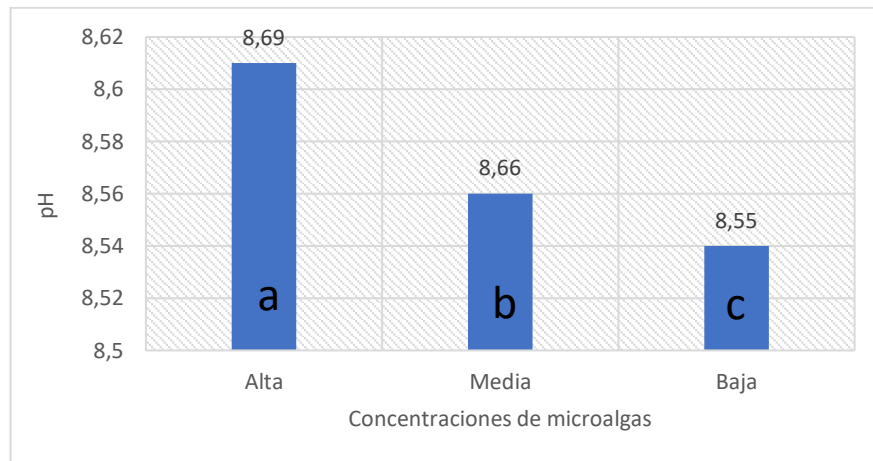


Figura 39 Resultados de pH de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media, Baja.
Fuente: Elaboración propia.

- Para la interacción entre “Especies” x “Concentraciones” (Figura 40) luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$) se identificó dos grupos con tres valores estadísticamente iguales en cada caso. Es decir que en la experimentación los siguientes tratamientos; E1C3, E1C2 y E2C3 se identificaron como los que tuvieron mayor crecimiento celular.

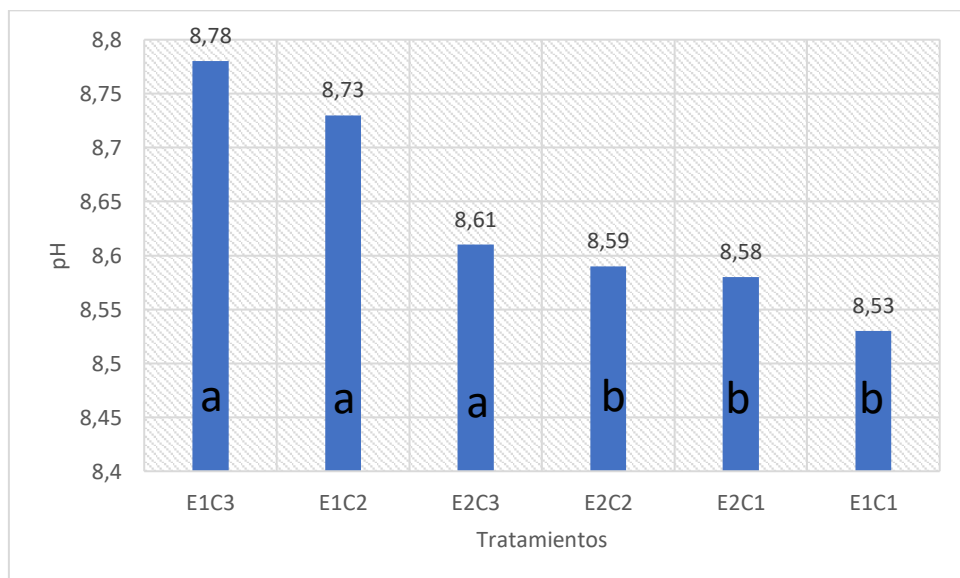


Figura 40 Resultados de pH de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre los tratamientos
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de pH es un factor muy importante para determinar el desarrollo de las microalgas, durante la experimentación se emplearon tres concentraciones de microalgas mismas que presentaron variación en el pH en función de la concentración que contenían, los valores de pH tuvieron una variación entre 8,5 y 8,8, estos datos al ser comparados con los resultados de la experimentación realizada por Benavente (2012) en su investigación sobre Tecnología de cultivo de microalgas en fotobiorreactores, concluye que los rangos óptimos para el crecimiento de la mayoría de microalgas está entre 8,2 y 8,7, es decir que la especie *Chlorella sp.* esta dentro de estos requerimientos pero sin embargo se excede un poco en estos parámetros.

Por otra parte, en la investigación realizada por Alyabyev (2011) acerca de la influencia del cambio de pH y la salinización de las microalgas *Chlorella vulgaris* y *Dunaliella* marina, menciona que en el caso de la especie *Chlorella sp.* ha demostrado que en pH fuera del rango antes mencionado tiene la capacidad de incrementar la producción, de manera que de esta forma se podría explicar los valores altos de pH calculados en los tres tratamientos que sobresalen en el análisis de Varianza luego de hacer la prueba Tukey ($p < 0,05$).

6.2.4. Conductividad eléctrica de las microalgas inmobilizadas *Chlorella sp.*

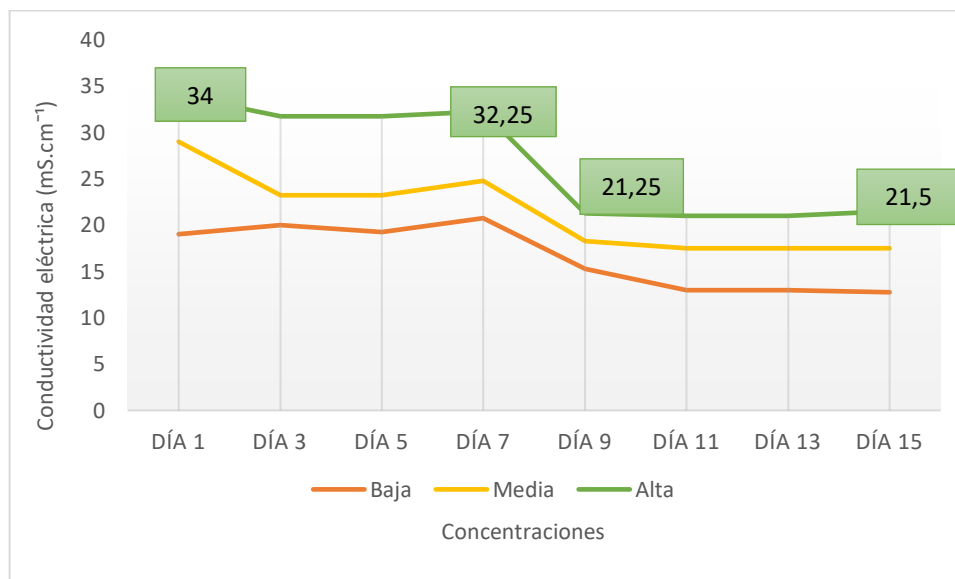


Figura 41 Resultados de Conductividad eléctrica de las microalgas inmobilizadas *Chlorella sp.*
Fuente: Elaboración propia.

La conductividad eléctrica para la especie *Chlorella sp.* en la Figura 41 presenta tendencias descendientes en cada una de sus concentraciones, para la concentración baja la conductividad inicial fue de 19 mS.cm⁻¹, misma que disminuyó hasta 12,75 mS.cm⁻¹, en el caso de la concentración media se puede observar que tuvo una conductividad de 29 mS.cm⁻¹, seguidamente empezó a disminuir hasta llegar a un valor de 17,5 mS.cm⁻¹, finalmente para la concentración alta con 34 mS.cm⁻¹, se redujo hasta 21,5 mS.cm⁻¹, siendo este valor el más alto con respecto a las demás concentraciones.

6.2.5. Conductividad eléctrica de las microalgas inmovilizadas *Scenedesmus sp.*

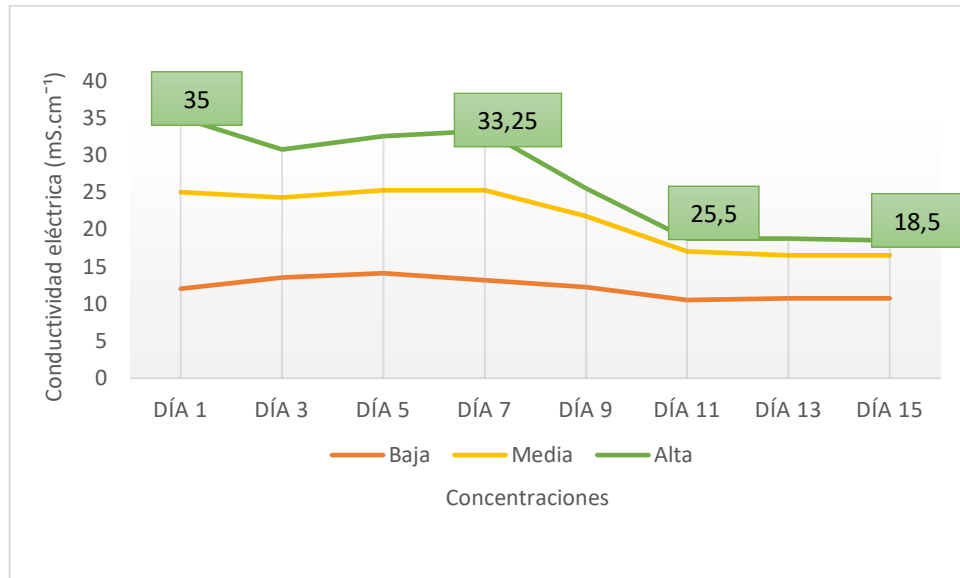


Figura 42 Resultados de Conductividad eléctrica de las microalgas inmovilizadas *Scenedesmus sp*
Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento de las microalgas se presentó muy variable en la Figura 42 de acuerdo a las concentraciones que se usaron en la experimentación; para la concentración baja inicialmente se presentó un incremento de conductividad eléctrica de 12 a 14,1 mS.cm⁻¹, hasta el día cinco, a partir de este día en adelante hubo una disminución hasta llegar a 10,75 mS.cm⁻¹, de conductividad. Para la concentración media inicialmente presentó una disminución de 25 a 24,25 mS.cm⁻¹, en el día cinco, seguidamente la conductividad empezó a disminuir hasta llegar a 16,5 mS.cm⁻¹. Finalmente, en el caso de la concentración alta inició con 35 mS.cm⁻¹, de conductividad y hasta la finalización de la experimentación obtuvo 18,5 mS.cm⁻¹, siendo este el valor final más alto de conductividad frente a las demás concentraciones.

6.2.6. Conductividad eléctrica de las microalgas inmobilizadas (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*)

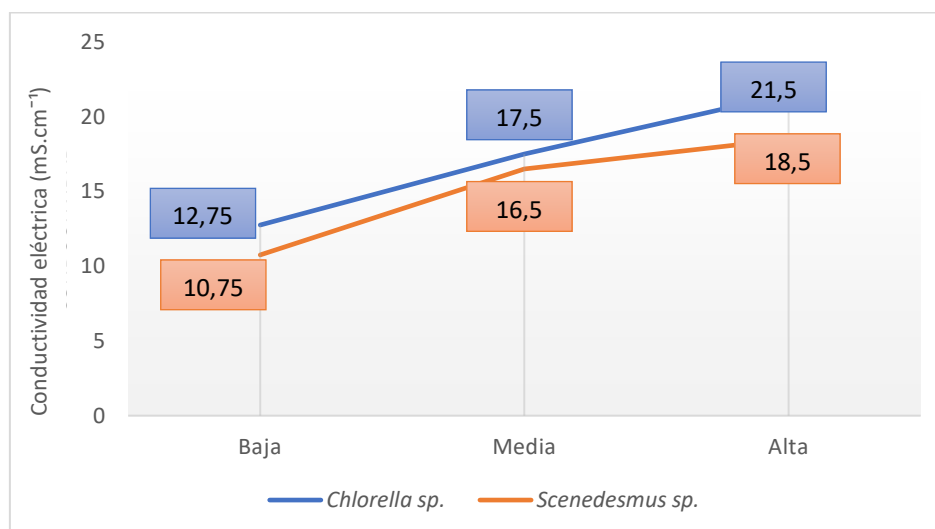


Figura 43 Resultados de Conductividad eléctrica de las microalgas inmobilizadas (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*), Día 14
Fuente: Elaboración propia.

Mediante la figura 43 se puede concluir que la concentración de las microalgas es directamente proporcional a su conductividad, es decir que, a mayor concentración de microalgas, mayor conductividad. Además, se puede indicar que la especie *Chlorella sp.* mantuvo mayor conductividad con respecto a *Scenedesmus sp.* durante la experimentación.

Tabla 9

Análisis de Varianza para la variable conductividad eléctrica de microalgas inmobilizadas

FV	GL	SC	CM	F ₀	p value
Total	23	334,5			
Bloques	3	8,5	2,83	2,24	
Tratamientos	5	307	61,40	48,47	
Especies (E)	1	24	24,00	18,95***	0.000568
Concentración (C)	2	279	139,50	110,13***	1.08x10 ⁻⁹
I ExC	2	4	2,00	1,58	0.238613
Error	15	19	1,27	1,00	
CV	5,19%				

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9 mediante el análisis de Varianza para la variable conductividad eléctrica de microalgas inmovilizadas; se determina la existencia de diferencias altamente significativas para especies y concentración ($p < 0,001$). El coeficiente de variación fue de 5,19% lo que representa el correcto manejo del experimento.

- Para la variable “Especies” (Figura 44) se identificó que la E1 (*Chlorella sp.*), presentó mayor conductividad eléctrica frente a la E2 (*Scenedesmus sp.*), mostrando así mayor crecimiento de las microalgas, luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$).

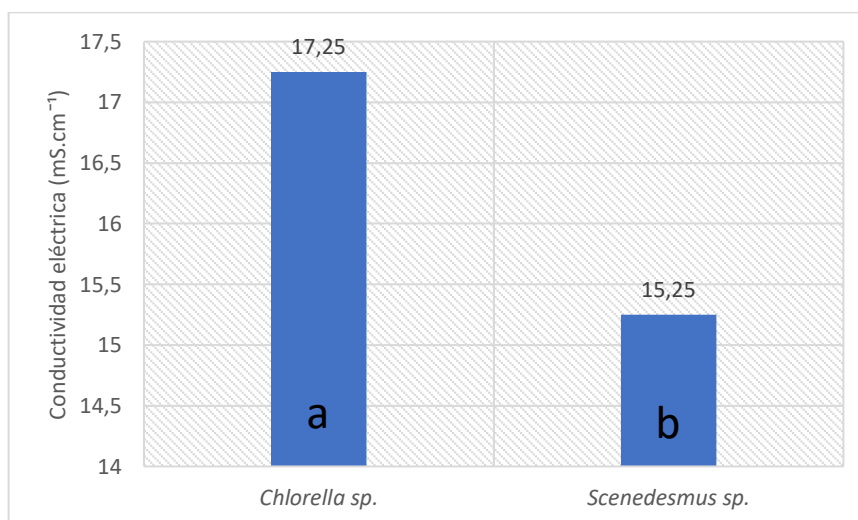


Figura 44 Resultados de Conductividad eléctrica de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$).
Fuente: Elaboración propia.

- Para la variable “Concentraciones” (Figura 45) se identificó que las concentraciones altas C3 en las dos especies, presentaron mayor conductividad eléctrica, luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$); determinando así un aumento en la densidad poblacional de las microalgas.

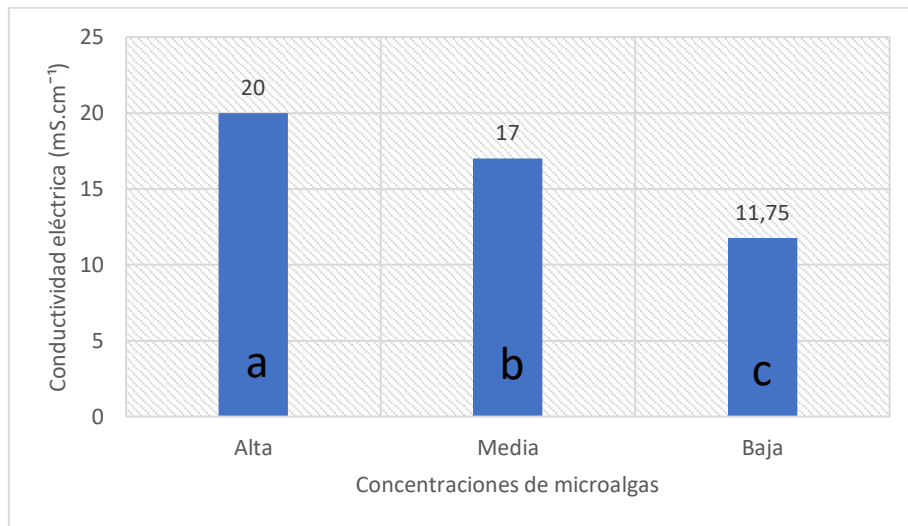


Figura 45 Resultados de Conductividad eléctrica de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media y Baja.
Fuente: Elaboración propia.

- Para la interacción entre “Especies” x “Concentraciones” (Figura 46) se identificó que no existen diferencias significativas por lo que los valores de conductividad eléctrica son estadísticamente iguales, es decir que todos los tratamientos presentaron crecimiento de las microalgas.

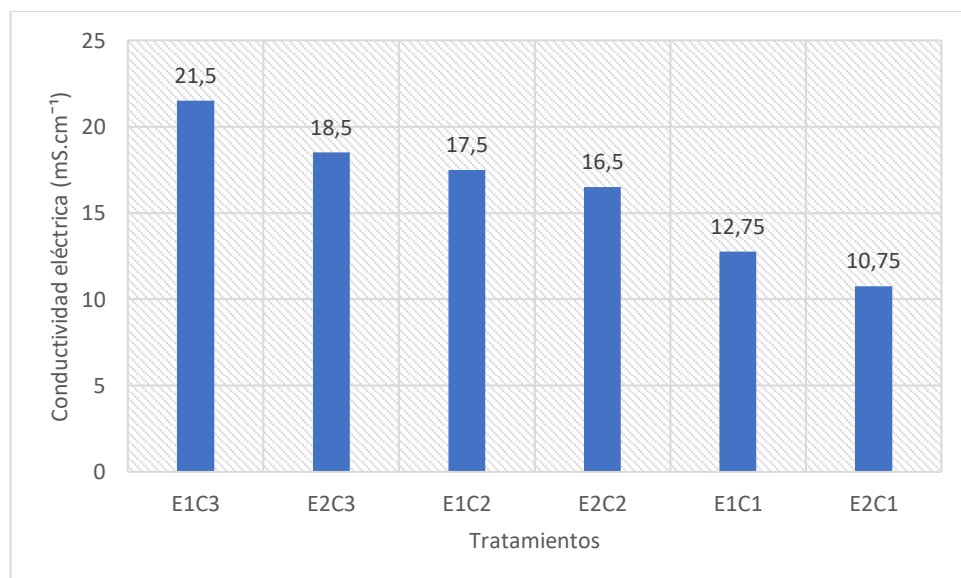


Figura 46 Promedios de Conductividad eléctrica de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*, entre los tratamientos
Fuente: Elaboración propia.

Tomando como referencia la investigación de Brito (2013) acerca de la Cinética de crecimiento de un cultivo mixto de las microalgas *Hyaloraphidium contortum* y *Pseudokirchneriella subcapitata*, se concluye que el aumento de la conductividad en un cultivo de microalgas, indica el crecimiento de la densidad poblacional del mismo, comparando esto con los datos de la presente investigación se interpretaría que la especie *Chlorella sp.* frente a la especie *Scenedesmus sp.* tuvo mayor crecimiento poblacional de microalgas, es decir mayor concentración.

Por su parte Guionet (2018) en su investigación acerca de la conductividad del medio y la etapa de crecimiento como parámetros cruciales para la extracción eficiente de hidrocarburos por campo eléctrico a partir de microalgas coloniales, menciona que el período de cultivo de las microalgas está directamente relacionado con la conductividad. Es decir que mientras más tiempo se alargue el tiempo de cultivo a condiciones óptimas, mayor será la conductividad, al relacionarlo con la presente investigación se puede determinar que durante la etapa exponencial de las microalgas (etapa en la que se produjo mayor producción de microalgas) fue la etapa donde se presentaron valores mayores de conductividad.

6.2.7. Absorbancia de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.*

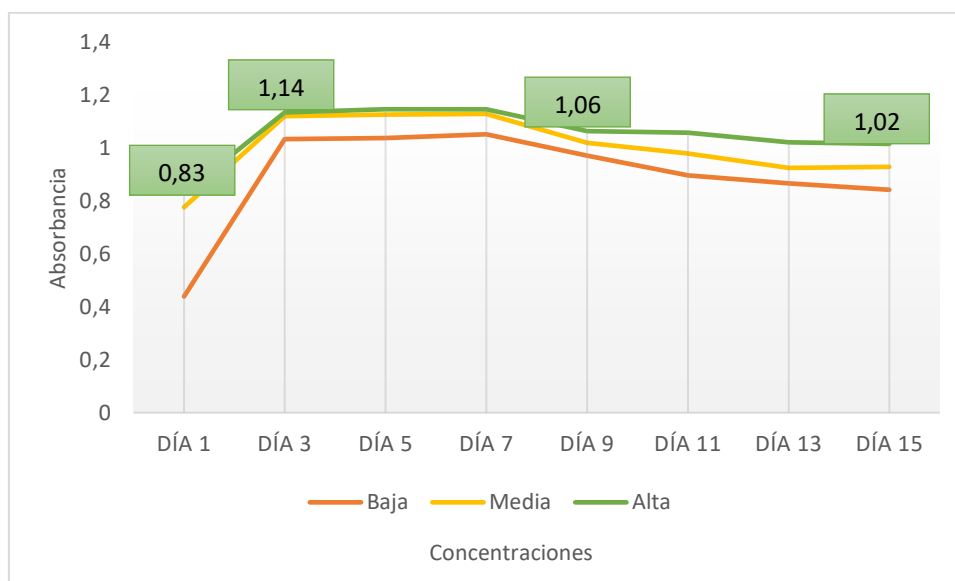


Figura 47 Resultados de Absorbancia de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.*
Fuente: Elaboración propia.

Los datos registrados en la Figura 47 para la absorbancia de la especie *Chlorella sp.* para las concentraciones se presentaron de la siguiente manera; para la concentración baja inicialmente se mostró un aumento en los valores de absorbancia con 1,03 hasta el día tres, a partir de este los valores se mantuvieron homogéneos y finalmente la absorbancia disminuyó hasta 0,84, en los datos de la concentración media de igual forma inicialmente hubo un incremento hasta 1,12 hasta el día tres de la experimentación desde este día en adelante se mostró un descenso en los valores de absorbancia hasta 0,92. Y finalmente para la concentración alta inicialmente presento 1,13, valor que fue disminuyendo paulatinamente conforme transcurría el experimento, el último dato tomado de absorbancia fue de 1,01, siendo este el valor más alto con relación a las demás concentraciones.

6.2.8. Absorbancia de las microalgas Inmovilizadas *Scenedesmus sp.*

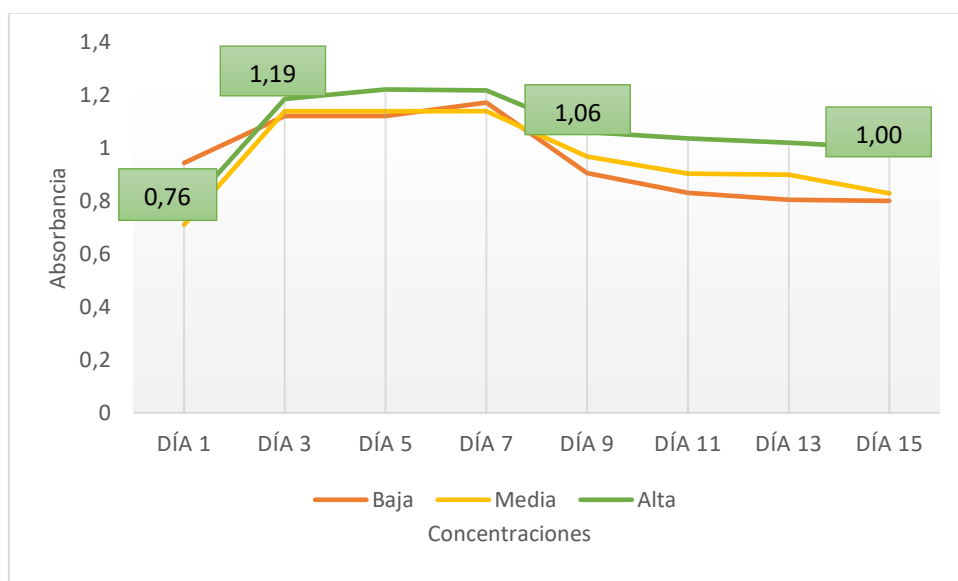


Figura 48 Resultados de Absorbancia de las microalgas inmovilizadas *Scenedesmus sp.*
Fuente: Elaboración propia

Por su parte para la especie *Scenedesmus sp.* en cuanto a los datos obtenidos de absorbancia en la Figura 48 se puede identificar que para la concentración baja de inicio presentó un valor de 0,94, mismo que aumentó hasta 1,17 en el día siete, a partir de ese día los valores empezaron a disminuir hasta llegar a 0,80. Para la concentración media de igual forma inicialmente se presentó un valor de 0,71, valor que fue ascendiendo hasta 1,13 en el día siete, este valor disminuyó hasta llegar a 0,82. En la concentración alta inicialmente tuvo un valor de absorbancia de 0,76, sin embargo al finalizar la experimentación obtuvo 1,00 siendo este el valor más alto registrado.

6.2.9. Absorbancia de las microalgas inmovilizadas (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*)

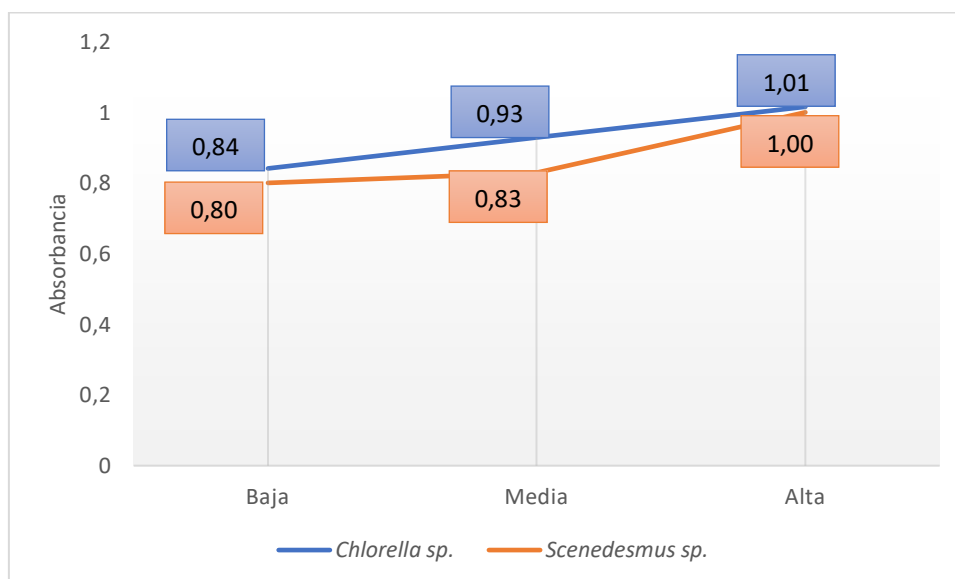


Figura 49 Resultados de Absorbancia de las microalgas inmovilizadas (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*), Día 14

Fuente: Elaboración propia

Mediante la figura 49 se puede concluir que la concentración de las microalgas es directamente proporcional a la absorbancia, es decir que, a mayor concentración de microalgas, mayor absorbancia. Además, se puede indicar que la especie *Chlorella sp.* mantuvo mayor absorbancia con respecto a *Scenedesmus sp.* durante la experimentación.

Tabla 10

Análisis de Varianza para la variable absorbancia de microalgas inmovilizadas

FV	GL	SC	CM	F ₀	p value
Total	23	0,183995			
Bloques	3	0,000027	0,000009	0,009886	
Tratamientos	5	0,170401	0,034080	37,679339	
Especies (E)	1	0,016156	0,016156	17,862740***	0.000627
Concentración (C)	2	0,146945	0,073473	81,232091***	9,16x10 ⁻⁹
I ExC	2	0,007299	0,003649	4,034887*	0.041359
Error	15	0,013567	0,000904	1,000000	
CV	2,5%				

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10 mediante el análisis de Varianza para la variable absorbancia de microalgas inmovilizadas; se determina la existencia de diferencias altamente significativas para especies y concentración ($p < 0,001$) mientras que para la interacción entre especies y concentración ($p < 0,05$). El coeficiente de variación fue de 2,5% lo que representa el correcto manejo del experimento.

- Para la variable “Especies” (Figura 50) se identificó que la E1 (*Chlorella sp.*), presentó mayor absorbancia frente a la E2 (*Scenedesmus sp.*), mostrando así mayor crecimiento de las microalgas, luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$).

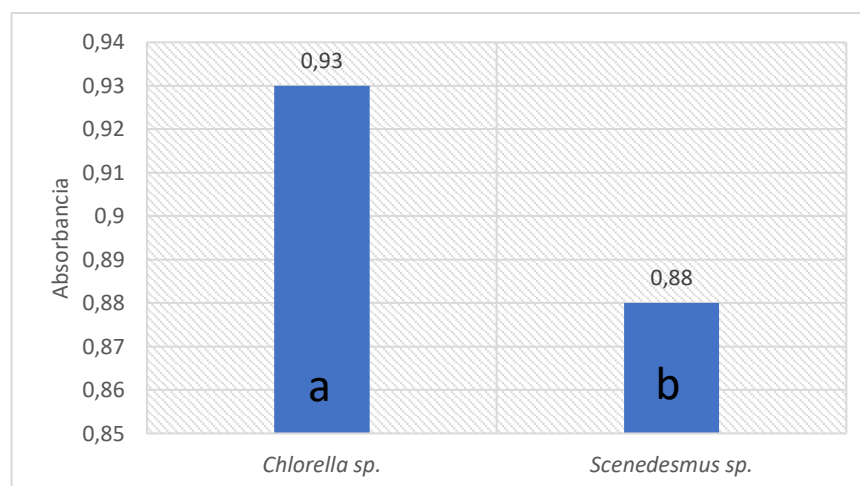


Figura 50 Resultados de Absorbancia de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

- Para la variable “Concentraciones” (Figura 51) se identificó que las concentraciones altas C3 en las dos especies, presentaron mayor absorbancia, luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$); concluyendo en que las concentraciones altas presentaron mayor crecimiento celular.

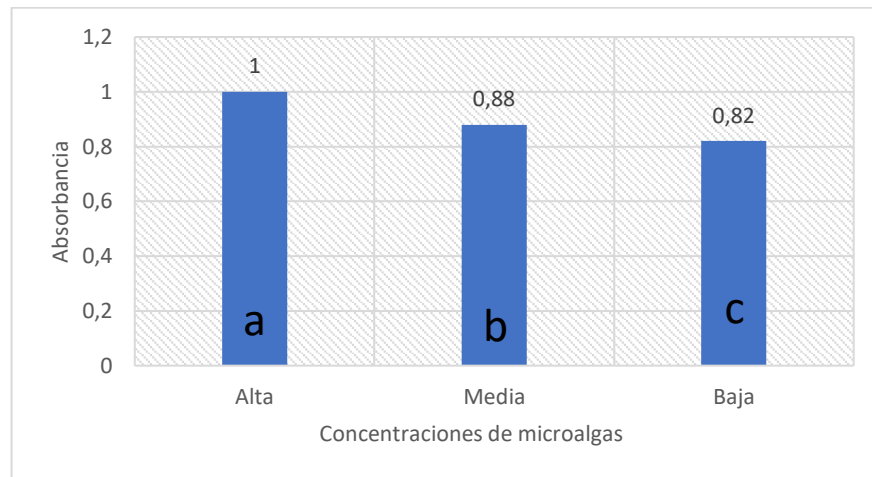


Figura 51 Resultados de Absorbancia de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media y Baja.
Fuente: Elaboración propia.

- Para la interacción entre “Especies” x “Concentraciones” (Figura 52) luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$) se identificaron dos tratamientos con mejores resultados y con mayor crecimiento de microalgas, estos fueron; E1C3 y E2C3 correspondientes a las dos especies en estudio con sus concentraciones más altas.

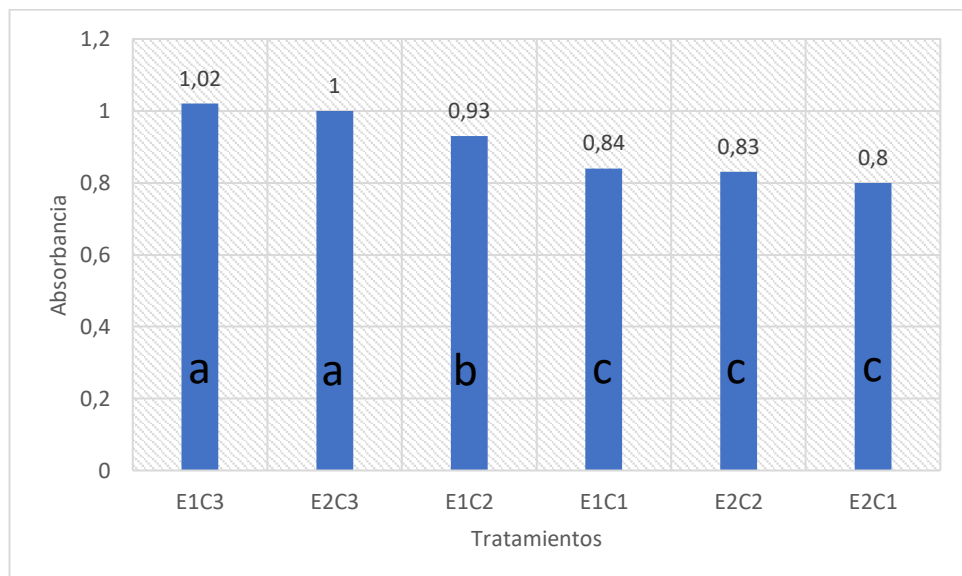


Figura 52 Resultados de Absorbancia de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre los tratamientos.
Fuente: Elaboración propia.

Las mediciones en la presente investigación muestran que la especie *Chlorella sp.* presentó valores mayores de absorbancia frente a la especie *Scenedesmus sp.* de forma que esto indica que esta especie presentó un mayor crecimiento de microalgas, todo esto fundamentado por los estudios realizados por Ruiz (2015) donde en su investigación acerca de la Instalación y Monitoreo de un Fotobiorreactor para el Cultivo Autotrófico y la Extracción de Lípidos de Microalgas *Chlorella* para la Producción de Biodiesel, concluye que los valores de absorbancia son directamente proporcionales a la concentración de microalgas.

Por otra parte, la investigación realizada por Lehmuskero (2018) mediante una revisión de los procesos ópticos a escala celular y molecular usando microalgas ligeras fotosintéticas, explica los mecanismos densidad óptica en las microalgas, definiéndose que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de microalgas como se había mencionado en la cita anterior.

6.2.10. Conteos de las microalgas Inmovilizadas *Chlorella sp.*

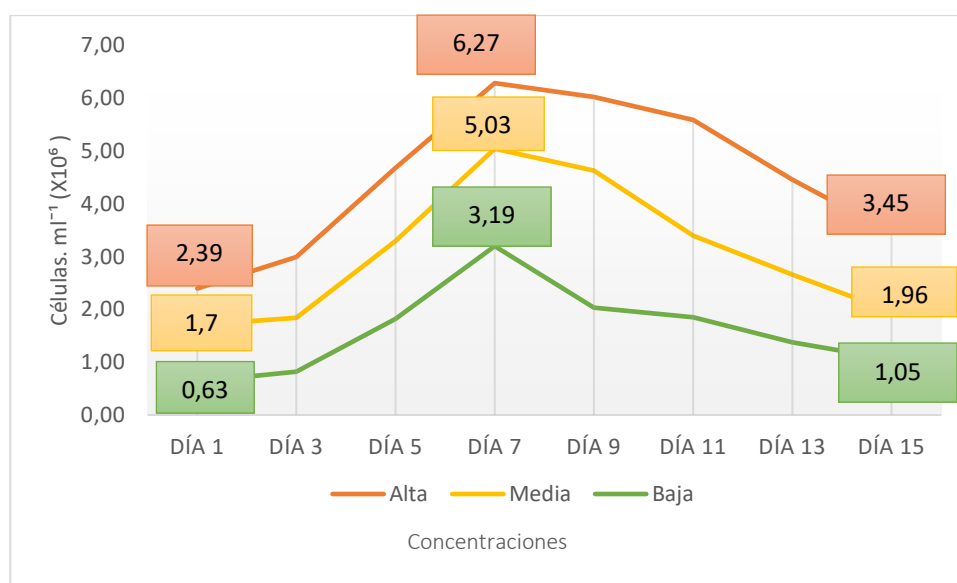


Figura 53 Resultados de Conteos de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.*
Fuente: Elaboración propia.

Para estimar el incremento de biomasa se lo realizó mediante el método de recuento celular a través del microscopio usando la cámara Neubauer, como se había mencionado anteriormente dentro de la investigación se emplearon tres concentraciones para la especie *Chlorella sp.* que fueron baja, media y alta; la dinámica de crecimiento en las tres concentraciones es la misma; inicialmente se dio lugar a la fase de adaptación o reposo donde no presentó un crecimiento significativo, a partir de ese día inició la fase exponencial donde las microalgas aumentaron rápidamente su volumen, según los datos analizados se puede determinar que no existe la fase estacionaria, es decir que inmediatamente culmina la fase exponencial, seguidamente se da la disminución de la biomasa de las microalgas (Figura 53).

La concentración alta de *Chlorella sp.* presentó mayor remoción de Cr de la solución Sintética, resultados que al ser comparados con las investigaciones de Yen (2017) indican que la densidad de la biomasa de microalgas es un factor crucial para mejorar la reducción en las concentraciones de Cr.

6.2.11. Conteos de las microalgas inmovilizadas *Scenedesmus sp.*

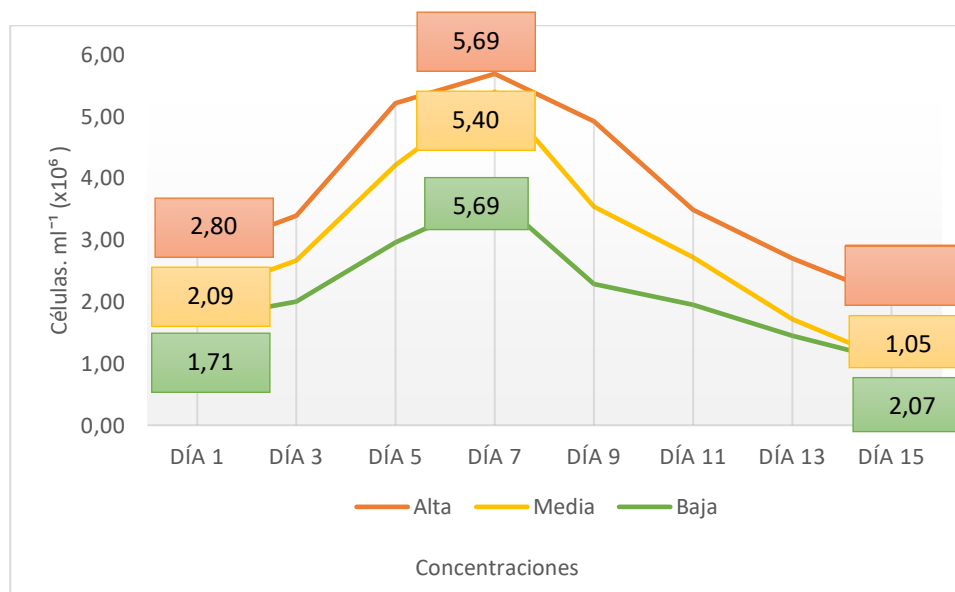


Figura 54 Resultados de Conteos de las microalgas inmovilizadas *Scenedesmus sp.*
Fuente: Elaboración propia.

De igual forma la para la especie *Scenedesmus sp.* se utilizó la misma metodología de recuento celular las concentraciones que se emplearon fueron baja, media y alta; la dinámica de crecimiento fue similar en las tres concentraciones; inicialmente se dio lugar a la fase de adaptación o reposo donde no presentó un crecimiento significativo, seguidamente inició la fase exponencial donde las microalgas aumentaron rápidamente su volumen, según los datos analizados se puede determinar que no existe la fase estacionaria, es decir que inmediatamente culmina la fase exponencial, seguidamente se da la disminución de la biomasa de las microalgas (Figura 54).

6.2.12. Conteos de las microalgas inmovilizadas (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*)

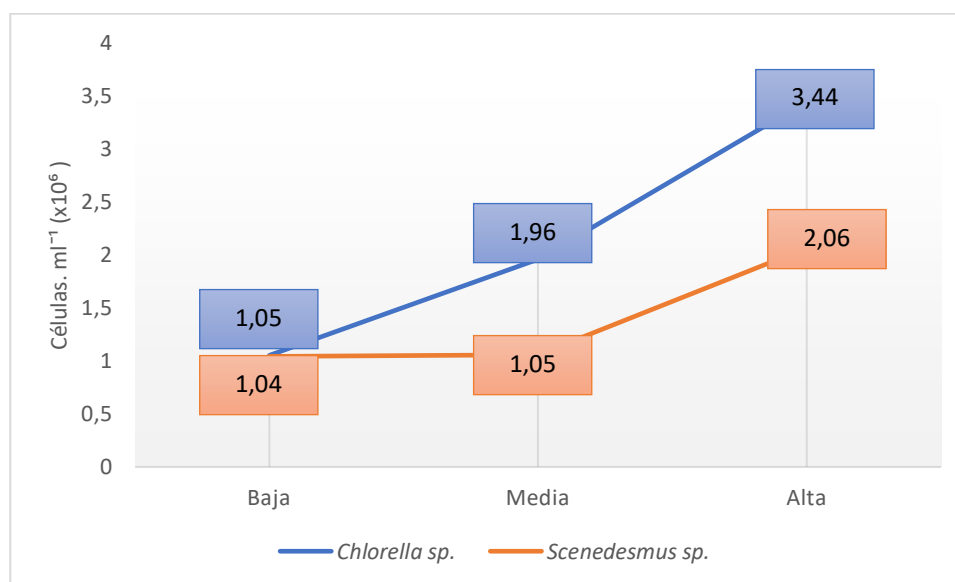


Figura 55 Resultados de Conteos de las microalgas inmovilizadas (*Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*), Día 14

Fuente: Elaboración propia.

Mediante los conteos se pudo determinar la curva de crecimiento de las microalgas mediante la figura 55, identificándose que la E1 *Chlorella sp.* presenta mayor crecimiento y adaptación al medio de experimentación con respecto a la E2 *Scenedesmus sp.* Además, se puede indicar que la especie *Chlorella sp.* mantuvo un mayor crecimiento con respecto a *Scenedesmus sp.* durante la experimentación.

Tabla 11

Análisis de Varianza para la variable conteos de microalgas inmovilizadas (1×10^6)

)

FV	GL	SC	CM	F ₀	p value
Total	23	18,07			
Bloques	3	0,03	0,01	1,36	
Tratamientos	5	17,96	3,59	576,21	
Especies (E)	1	3,51	3,51	563,42***	2.60×10^{-13}
Concentración (C)	2	12,50	6,25	1003,14***	2×10^{-16}
I ExC	2	1,94	0,97	155,68***	9.29×10^{-11}
Error	15	0,093	0,006	1	
CV	3,34%				

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 11 mediante el análisis de Varianza para la variable conteos de microalgas inmovilizadas; se determina la existencia de diferencias altamente significativas para especies, concentración y para la interacción entre especies y concentración ($p < 0,001$). El coeficiente de variación fue de 3,34% lo que representa el correcto manejo del experimento.

- Para la variable “Especies” (Figura 56) se identificó que la E1 (*Chlorella sp.*), presentó mayor crecimiento de las microalgas frente a la E2 (*Scenedesmus sp.*), luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$).

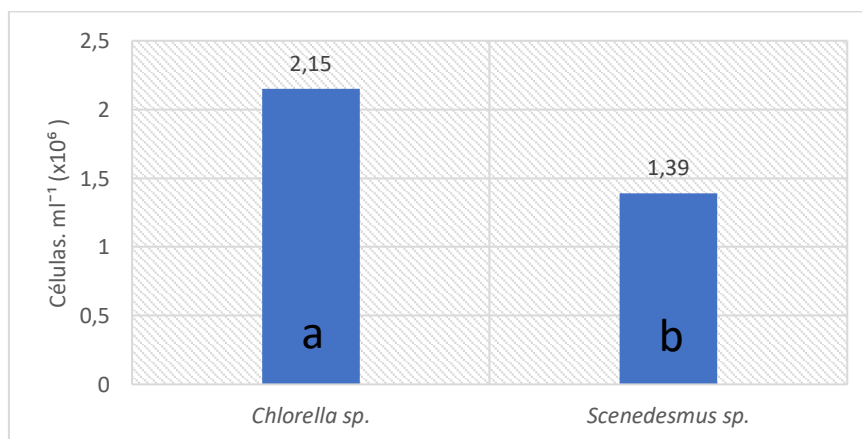


Figura 56 Resultados de Conteos de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* medi ante la prueba Tukey ($p < 0,05$).
Fuente: Elaboración propia

- Para la variable “Concentraciones” (Figura 57) luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$), se identificó que las concentraciones altas C3 en las dos especies, presentaron mayor crecimiento de las microalgas.

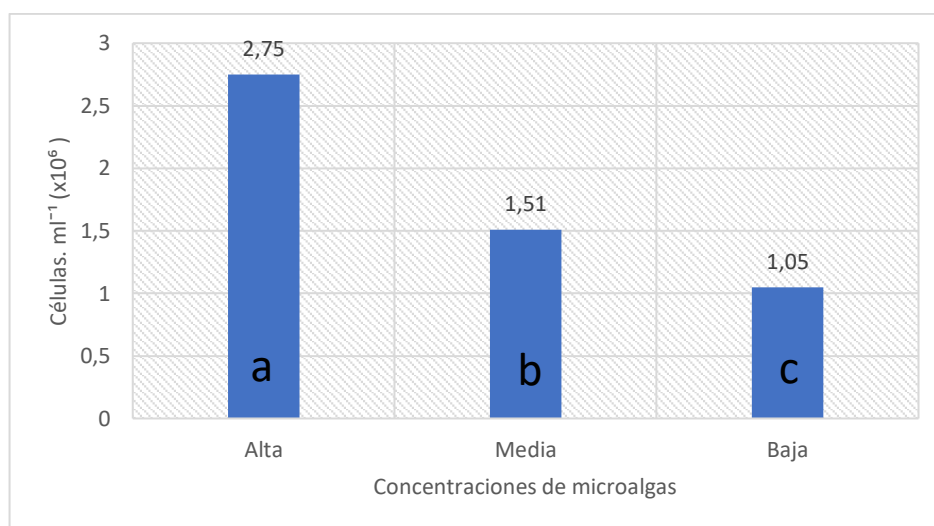


Figura 57 Resultados de Conteos de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* medi ante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre las concentraciones; Alta, Media y Baja.
Fuente: Elaboración propia

- Para la interacción entre “Especies” x “Concentraciones” (Figura 58) luego de utilizar la prueba Tukey ($p < 0,05$), se identificó que el mejor tratamiento fue E1C3 correspondiente a la especie *Chlorella sp.* Concentración Alta, obteniendo como resultado un mayor crecimiento celular de la especie *Chlorella sp.*

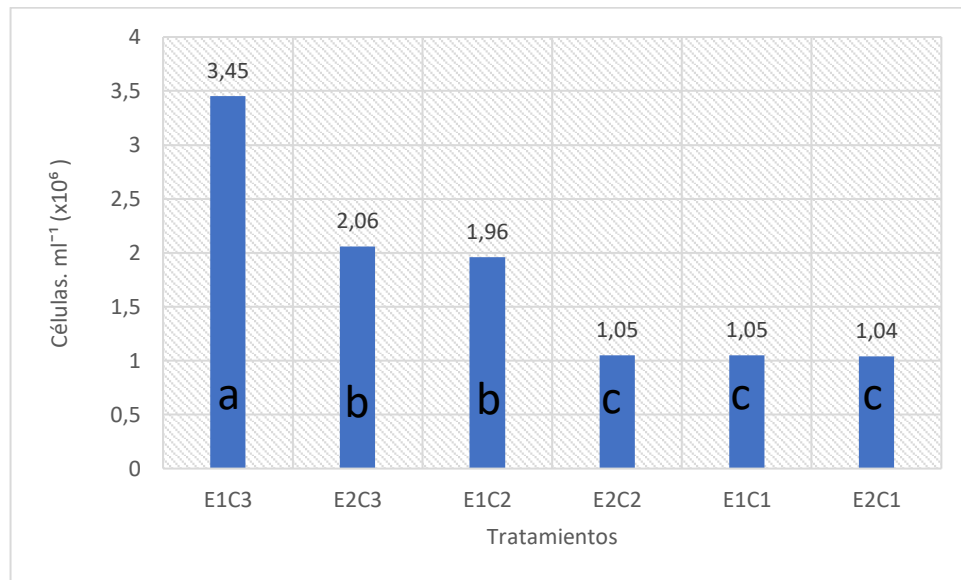


Figura 58 Resultados de Conteos de las microalgas inmovilizadas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$), entre los tratamientos.
Fuente: Elaboración propia

Los conteos celulares sirven para determinar cuál fue la dinámica de crecimiento de las microalgas, así como también para identificar sus diferentes fases. El presente estudio mediante las gráficas de cada una de las especies se pudo identificar cual es la que presenta mayor resistencia frente a la toxicidad del cromo, teniendo así que la especie *Chlorella sp.* es la especie que presentó mayor concentración celular (biomasa) al estar expuesta con el metal. Fundamentando esto con los estudios realizados por Sanchez (2008) en donde al utilizar la misma técnica de inmovilización de *Chlorella sp.* concluyen que para concentraciones de 10 ppm o menores existe una disminución considerable de Cr en cuanto a la exposición entre el metal y las perlas de Alginato con microalgas inmovilizadas, sin verse afectada la biomasa presente en dicha inmovilización.

Otras investigaciones como la de Xie (2018) acerca de Microalgas inmovilizadas para el tratamiento de efluentes de digestión anaeróbica en un sistema de fotobiorreactor-ultrafiltración, se obtuvieron como resultados que el uso de las perlas de microalgas inmovilizadas protege la integridad de las células, disminuyendo la lisis de las células. Además, de que el alginato funciona a su vez como una capa dinámica para atrapar los contaminantes residuales. De tal forma que según los

resultados en la presente investigación muestran que la concentración alta de la especie *Chlorella sp.* presentó mayor efectividad en la remoción de cromo presente en la solución sintética, así como también se observa que la dinámica de crecimiento de las microalgas no mostró cambios significativos lo que manifiesta la resistencia a la toxicidad del Cromo.

6.3. RESULTADOS DE LA SOCIALIZACIÓN

La socialización del presente trabajo de investigación estuvo dirigida a toda la comunidad académica de la PUCESI e instituciones privadas interesadas, con el propósito de dar a conocer el desarrollo del proceso investigativo y los resultados obtenidos en la fase experimental realizada en laboratorio, además de hacer un reconocimiento de la problemática actual del tema en estudio y proponer una solución viable con la implementación de la técnica de inmovilización de microalgas para biorremediar y asegurar la conservación de las condiciones naturales del ambiente. Además de propiciar en los estudiantes la búsqueda de nuevas investigaciones e identificación de problemáticas con el fin de dar seguimiento y articular el tema central en estudio.

Los resultados de la socialización fueron evaluados mediante un cuestionario que se muestran en el Anexo III.

7. CONCLUSIONES

- La inmovilización garantizó el mantenimiento de las propiedades funcionales de las microalgas sin alterar el crecimiento normal en cada una de las fases de su desarrollo. Además, mediante observaciones al microscopio se pudo determinar que no existieron cambios morfológicos en las microalgas, todas presentaron color verde intenso, forma esférica y elíptica propia de cada especie, es decir, un buen estado físico de todas sus células.
- Las cepas de microalgas empleadas en la presente investigación *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* en estado inmovilizado, alcanzaron una concentración de $6,27 \times 10^6$ y $5,69 \times 10^6$ células/ml respectivamente correspondientes a las concentraciones altas de biomasa. En cuanto a la biorremediación se presentó mayor eficiencia en la remoción de cromo total presente en la solución sintética con la especie *Chlorella sp.*, teniendo una efectividad de remoción del metal del 86%.
- La concentración de cromo total se encuentra por debajo de los límites permitidos, ya que al finalizar esta experimentación se pudo determinar que la concentración de cromo total fue de 0,14 mg/l, en función a los límites máximos permisibles para la descarga a un cuerpo de agua dulce descritos en el Anexo I del TULSMA, donde indica que el criterio de calidad para cromo total debe ser de 0,5 mg/l. Los datos obtenidos con el equipo de Absorción Atómica fundamentan su veracidad tomando en consideración que los límites de identificación y de cuantificación de Cr son de 0,09 mg/l en ambos casos y además se maneja un promedio de error de 0,5%.

8. RECOMENDACIONES

- Utilizar procedimientos mecanizados para la realización de perlas de alginato, en caso de que se desarrollen proyectos a gran escala, para de esta manera obtener mayor cantidad y calidad de perlas.
- Se debe dar continuidad en investigaciones con concentraciones bajas de cromo total de 1ppm, en las primeras 24 horas de interacción con la microalga inmovilizada para determinar la dinámica de remoción del metal cada hora.
- El pH de la solución sintética de cromo en estudio, alcanzó valores que sobrepasan los límites permitidos, ya que al finalizar esta experimentación se pudo apreciar que el pH fue de 9,85 para la especie *Chlorella sp* y 9,70 para *Scenedesmus sp.* en función a los límites máximos permisibles para la descarga a un cuerpo de agua dulce descritos en el Anexo I del TULSMA, donde indica que el criterio de calidad para potencial hidrógeno debe estar en un rango de 6 – 9. Por tal motivo se recomienda que el tiempo de exposición de las microalgas con la solución sintética de cromo sea de 5 días, en este período de tiempo el pH estará dentro de los límites permisibles y de igual forma no afectará en la concentración de cromo de la solución sintética.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abou S, Hwang J, Cho Y, Min B, Jeon B (2011). Characterization of microalgal species isolated from fresh water bodies as a potential source for biodiesel production. *Appl. Energy* 88:3300-3306.
- Ahmad, A., Bhat, A., y Buang, A. (2017). *Chlorella vulgaris* inmovilizada para el tratamiento eficiente de efluentes de la planta de aceite de palma y la remoción de metales pesados *Scopus*, 81(2), 105-117. Recuperado de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85029096799&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Ahmad&nlo=&nlr=&nls=&sid=4c7666fdf137def7852fcd75718b1772&sot=b&sdt=sisr&sl=18&s=AUTHOR-NAME%28Ahmad%29&ref=%28%28Bhat%29%29+AND+%28Buang%29&re-lpos=3&citeCnt=1&searchTerm=>
- Alejandro, K. (2012). Recuperación de residuos líquidos industriales mediante *Arthrospira* sp., y *Chlorella* sp., a escala de laboratorio, para la obtención de agua de riego. Región Arica y Parinacota. Proyecto de Grado. Arequipa: Universidad Católica de Santa María. Recuperado de: http://dspace.concytec.gob.pe/bitstream/concytec/28/1/alejandro_pk.pdf.
- Alyabyev, A., Andreyeva, I., y Rachimova, G. (2011). Influence of pH shift and salting on the energetics of microalgae. *ResearchGate*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/37147595_The_effect_of_changes_in_salinity_on_the_energy_yielding_processes_of_Chlorella_vulgaris_and_Dunaliella_martiana_cells.
- Alloway, B. J. (2013) Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability, Environmental Pollution., pp. 3-9: Springer Netherlands. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/reference/133822>.
- Aksu, Z. y Donmez, G. (2006). Binary biosorption of cadmium (II) and níquel (II) onto dried *Chlorella vulgaris*: Co-ion effect on mono-component isotherm parameters. *Process Biochemistry*. 41(1), Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511305004411>
- Arias, A. (2017) Análisis de remoción de cromo por acción de la microalga *Chlorella* sp., inmovilizada en perlas de alginato. Quito, Ecuador: Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales: Universidad Politécnica Salesiana.

- Ardila, L. (2012). Medición de la capacidad de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* para la remoción de cromo de aguas de curtiembre. Bogotá, Colombia: Facultad de ingeniería, Departamento de ingeniería química y ambiental.
- Armijo, J., Rivera, D., Delmás, D., y Yarango, A., (2014). Estudio de la cinética de recuperación de cromo hexavalente proveniente de aguas residuales industriales. parte I: sistemas agitados. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*. Vol. (6), págs. 11-16.
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (6 de agosto de 2014). Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. Recuperado de <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/LEYD-E-RECURSOS-HIDRICOS-II-SUPLEMENTO-RO-305-6-08-204.pdf>
- AST Ingeniería. (2014). Aplicaciones de las microalgas: estado de la técnica. Gijón (España): AST Ingeniería S.L. Recuperado de: <http://www.ast-ingenieria.com/guia-malgas-1>.
- Barsanti, L. y Gualteri, P. (2006). *Algae, Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*. Boca Ratón, Florida: Taylor & Francis Group. Recuperado de: https://archive.org/stream/Algae_Anatomy_Biochemistry_and_Biotechnology_2nd_Edition_By_Laura_Barsanti_Paolo/Algae_Anatomy_Biochemistry_and_Biotechnology_2nd_Edition_By_Laura_Barsanti_Paolo_Gualtieri_djvu.txt
- Bashan, L., Moreno, M., Hernandez, J. y Bashan, Y. (2002). Removal of ammonium and phosphorus ions from synthetic wastewater by the microalgae *Chlorella vulgaris* co-immobilized in alginate beads with the microalgae growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. *Water Research*, 36(1), Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004313540100522X>
- Bates, S., Tessier, A., Campbell, P. y Buffle, J. (1982). Zinc adsorption and transport by *Chlamydomonas variabilis* (Chlorophyceae) grown in semicontinuous culture. *Journal Phycology*. 18(1), Recuperado de: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1529-8817.1982.tb03218.x/full>.
- Bhagyalaskhmi, M. y Sarma, P. (2016). Biosorption of Cadmium from Aqueous Solutions using Blue Green Algae. *Bioengineering Environmental Sciences*. 15(2), Recuperado de <https://search.proquest.com/openview/bf09e0c59b9f311d0e51739a8bca73f7/1.pdf?pq-origsite=gscholar&cbl=1606374>
- Benavente, J., Montañez, J., Aguilar, C., Méndez, C., y Valdivia1, B., (2012). Tecnología de Cultivo de Microalgas en Fotobiorreactores. *Revista Científica de*

la Universidad Autónoma de Coahuila. Volumen (4). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/262560081_Tecnologia_de_Cultivo_de_Microalgas_en_Fotobiorreactores.

Brito, D., Castro, A., Colivet, J., Gómez, E., y Mora, R., (2013). Cinética de Crecimiento de un Cultivo mixto de las Microalgas *Hyaloraphidium contortum* y *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Redalyc; Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/html/339/33928557009/>.

Candela, R., (2016). Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica. (Monografía de grado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente Ingeniería Ambiental, Bucaramanga.

Cuizano, N., y Navarro, A. (2008). Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *Química y medio ambiente*, 120-130.

Chao, H., Wang, Y., y Tran, H. (2018) Eliminación de cromo hexavalente de las aguas subterráneas mediante hidróxidos dobles de Mg / Al con características de síntesis in situ Departamento de Ingeniería Ambiental, Chung Yuan Christian University, Chung-Li, Taiwán. *Scopus*, 243(7), 620-629.

Chávez, O. (2014). Diseño de una Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales para el Centro Experimental Udla-nono e Implementación de Tratamiento Primario. Recuperado de <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/2275/1/UDLA-EC-TIAM-2014-06.pdf>

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*. Palmerston North. Nueva Zelanda: *Elsevier*. Recuperado de <https://www.massey.ac.nz/~ychisti/Biodiesel.pdf>

Chiu, S., Kao, C., Chen, C., Kuan, T., Ong, S. y Lin, C. (2008). Reduction of CO₂ by a high-density culture of *Chlorella sp.* in a semicontinuous photobioreactor. *Bioresource Technology*. 99(1), Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17904359>

Das, C., Naseera, K., Ram, B., Meena, R. y Ramaiah, N. (2017). Biorremediación de aguas residuales de curtiembre por una cepa de *Chlorella vulgaris* tolerante a la sal. *Scopus*, 29(1), 235-243. Recuperado de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84984819834&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Chlorella+vulgaris+&nlo=&nlr=&nls=&sid=042464dd62d90d19d>

8bbff7d46b19aa9&sot=b&sdt=b&sl=34&s=TITLE-ABS-
KEY%28Chlorella+vulgaris+%29&relpos=702&citeCnt=4&searchTerm=

Das, C., Ramaiah, N., Pereira, E., y Naseera, K. (2018). Biorremediación eficiente de aguas residuales de curtiembre por monostrains y consorcio de la marina *Chlorella sp.* y *Phormidium sp Scopus*, 20(3), 284-292. Recuperado de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85043606642&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Chlorella+sp.+&nlo=&nlr=&nls=&sid=f08ce53f94ef449c2385b6b5ed79de49&sot=b&sdt=sisr&sl=29&s=TITLE-ABS-KEY%28Chlorella+sp.+%29&ref=%28Phormidium+sp.%29&relpos=2&citeCnt=0&searchTerm=>

Forero, M., Montenegro, L., y Ponilla, G. (2015). Inmovilización de las microalgas *Scenedesmus ovalternus* (Scenedesmaceae) Y *Chlorella vulgaris* (Chlorellaceae) en esferas de alginato de calcio. Bogotá, Colombia: Revistas UN. Recuperado el 19 de 09 de 2016, de BDIGITAL PORTAL DE REVISTAS:<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/51253/56027>

Flathman, P. (1988). Fitorremediación: puntos de vista de una tecnología verde emergente. 415-432. Recuperado el 09 de abril de 2018.

Fernández, G. y Guzmán, A. (2000). Presencia Antropogénica de Cromo (Cr) en el Ambiente y su Impacto en la Salud de los Pobladores de las Toscas. Santa Fé, Argentina: Ambiente Ecológico.

Flores, F. (2010). Toxicidad de Cromo en Ecosistemas Dulceacuícolas. Investigación y Ciencias. (págs. 17-19).

Forero, R. (2007). Aproximación a la problemática del manejo y tratamiento de las aguas residuales del corregimiento de Arauca (Palestina). Tesis de grado. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/973/#sthash.qIKYddPi.dpuf>.

Forero, M., Montenegro, L., Pinilla, G., Melgarejo, L., (2016). Inmovilización de microalgas *Scenedesmus ovalternus* (scenedesmaceae) y *Chlorella vulgaris* (chlorellaceae) en perlas de alginato de calcio. *Scopus*, 21(2), 437-442. Recuperado de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84965109249&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=microalgas&nlo=&nlr=&nls=&sid=e72907cd2b8bc326243a250db9cf391f&sot=b&sdt=b&sl=25&s=TITLE-ABS-KEY%28microalgas%29&relpos=21&citeCnt=1&searchTerm=>

- Gómez, L. (2007). Microalgas: aspectos biológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química*, 19 (2). Recuperado de: http://www.researchgate.net/publication/268424391_MICROALGAS_ASPECTOS_ECOLÓGICOS_Y_BIOTECNOLÓGICOS.
- González-Delgado, A., Peralta_Ruiz, Y., Córdoba, L., López, L. y Kafarov, V. (2014). Experimentación y optimización conjunta de la disrupción celular de microalgas y extracción Soxhlet de aceite para alimentación y biocombustibles. *Revista Especializada en Ingeniería*. 8(1), Recuperado de <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1295>
- Guionet, A., Hosseini, B., Akiyama, H., y Hosano, H. (2018) La conductividad del medio y la etapa de crecimiento como parámetros cruciales para la extracción eficiente de hidrocarburos por campo eléctrico a partir de microalgas coloniales. *Scopus*, 123(1), 88-93. Recuperado de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85046743402&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Chlorella+vulgaris+&nlo=&nlr=&nls=&sid=042464dd62d90d19d8bbff7d46b19aa9&sot=b&sdt=b&sl=34&s=TITLE-ABS-KEY%28Chlorella+vulgaris+%29&relpos=101&citeCnt=0&searchTerm=>
- Hernández-Pérez A. y Labbé, J. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49 (2). Recuperado de: <http://www.scielo.cl/pdf/revbiolmar/v49n2/art01.pdf>.
- Hu, Q., Sommerfeld, M., Jarvis, E., Ghirardi, M., Posewitz, M., Seibert, M. y Darzins, A. (2008). Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances. *The plant journal*. 54(1), Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18476868>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. (2011). Metales: Propiedades, Química y Toxicidad. En G. Nordberg, *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo* (págs. 63-69). España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo.
- Invemar, (2003). *Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos (aguas, sedimentos y organismos)*, Santa Marta, Colombia, Cargraphics - Impresión Digital. Recuperado de;

<http://www.invenmar.org.co/redcoastera1/invenmar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>

- Jaiswar, S. y Chauhan, P. (2017). Aspecto aplicado de microalgas en monitoreo de metales pesados. *Scopus*, 20(3), 431-442. Recuperado de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85043729008&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Jaiswar&nlo=&nlr=&nls=&sid=cf4b9656012b700c44ac991dc8c2a1f0&sot=b&sdt=b&sl=20&s=AUTHOR-NAME%28Jaiswar%29&relpos=25&citeCnt=0&searchTerm=>
- Kourkoutas, Y., Bekatorou, A., Banat, I., Marchant, R., Kuotinas, A. (2004). Tecnologías de inmovilización y materiales de apoyo adecuados para la producción de bebidas alcohólicas: una revisión. *Food Microbiol.* 21(1), Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002003001072>
- Komarek, J. (1974). Taxonomische Bemerkungen zu einigen Arten der Mikroflora der Teiche in Böhmen. *Acta Scientiarum Naturalium Musei Bohemici Meridionalis České Budejovice. Volumen 14*, 161-190 pp. Recuperado de: http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=58638.
- Komarek, J. y Fott B. (1983). Chlorophyceae (Grünalgen). Ordnung: Chlorococcales. Huber- Pestalozzi, G., Ed. *Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik and Biologie*, 7, Schweizerbart'ssche Verlagbuchhandlung, Stuttgart. 1044 pp. Recuperado de: https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510400232/Binnengewasser_Bd_16_Teil_7_1_Halft#t8205
- Kumar, V., y Nanda, M. (2018). Microalgas: una herramienta prometedora para la remediación de metales pesados. *Scopus*, 11(3), 141-153.
- Kumar, V., y Chopra, A. (2018) Potencial de fitorremediación del agua caltrop (*Trapa natans* L.) utilizando aguas residuales municipales de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales basadas en procesos de lodos activados. Laboratorio de Investigación de Agroecología y Contaminación, Departamento de Zoología y Ciencias Ambientales, Universidad Gurukula Kangri, Haridwar, Uttarakhand, India. *Scopus*, 39(1), 12-23.

- Lau, A., Wong, Y. S., Zhang, T. y Tam, N. F. Y. (1998). Metal removal studied by a laboratory scale immobilized microalgal reactor. *Journal of Environmental Sciences* 10, 474-78 pp.
- Le-Feuvre, R., Farías, J., Honorato, P., Troncoso, N., San Martín, S., Riquelme, y R., Agurto, C. (2015). Uso de Algas Inmovilizadas para la biorremediación de Aguas Contaminadas con Metales Pesados. Universidad de Concepción, Chile.
- Lehmuskero, A., Skogen, M., Boström, T. (2018). Microalgas ligeras y fotosintéticas: una revisión de los procesos ópticos a escala celular y molecular. *Sciencedirect. Volumen 168. Págs. 43-56. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079661118301058?via%3Dihub>.*
- Liner, B., Mundt, N., y Reig, B., (2017). Algas: Del agotamiento a la recuperación de recursos. España: Revista iagua. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/barry-liner/algas-agotamiento-recuperacion-recursos>
- Liu, C., Fiol, N., Poch, J., y Villaescusa, I. (2016) Una nueva tecnología para el tratamiento de las aguas residuales de electrodeposición de cromo basada en la biosorción. Colegio de Ciencias e Ingeniería Ambientales, Universidad Normal de Anhui, South Jiuhoa Road, Wuhu, China. *Scopus, 11(1)*, 143-151. Recuperado de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85056658660&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Chlorella+vulgaris+&nlo=&nlr=&nls=&sid=042464dd62d90d19d8bbff7d46b19aa9&sot=b&sdt=b&sl=34&s=TITLE-ABS-KEY%28Chlorella+vulgaris+%29&relpos=467&citeCnt=0&searchTerm=>
- López, M. (2011). Cromo Elemento Químico. Bogotá, Colombia: Fundación Universitaria Los Libertadores.
- López, I. (2016). Análisis de efectividad de *Chlorococcum littorale* y *Scenedesmus* sp. En biorremediación de aguas residuales. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Recuperado de <http://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/5733>
- Martínez, T., y García, R. (2012). Aplicaciones ambientales de microorganismos inmovilizados. *Revista Mexicana de Ingeniería Química. 11(1)*, Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382012000100005
- Maznah, W., AlFawwaz, O., y Surif, M. (2012). Biosorption of copper and zinc by immobilised and free algal biomass, and the effects of metal biosorption on the growth and cellular structure of *Chlorella* sp. and *Chlamydomonas* sp. isolated

from rivers in Penang, Malaysia. Penang, Malaysia: *ScienceDirect*. Volumen (24), págs. 1386-1393. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074211609315>.

Morales, L.; Callejo M. y Mejía A. (2007). Microalgas y biodiesel. (Proyecto de grado). Jalisco (México). Universidad de Guadalajara. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/AndyMejia/microalgas-47729027>.

Moreno, I. (2008) Inmovilización de microalgas: técnicas y usos actuales. *Bioresource technology*. 99(1), Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/6222376_Microalgae_immobilization_Current_techniques_and_uses

Medina, A., Piña, M., Nieves, J., Arzola, F. y Guerrero, M. (2012). La importancia de las microalgas. *CONABIO Diversitas*, 103. Recuperado de: <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv103art1.pdf>

McHugh, D. (1987). Producción, propiedades y usos de los alginatos. Departamento de Química, Colegio Universitario. Universidad de Nueva Gales del Sur, Australia.

Nasirpour, N., Zamir, S., Shojaosadati, S., (2017) Técnicas de inmovilización para biorremediación microbiana de metales tóxicos. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Tarbiat Modares, Teherán, Irán *Scopus*, 97(3), 467-476.

Nazar, J. (2007). Biofilms bacterianos. *Revista de otorrinolaringología*. 67(1), Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071848162007000100011.

Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Anexo I del TULSMA, Ecuador, 20 de febrero de 2015. Recuperado de <http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELERA/Reforma%20Anexo%2028%20feb%202014%20FINAL.pdf>

Peña J. y Quiroz C. (2013). Algas diminutas. Un recurso natural renovable, abundante y de gran potencial industrial. Medellín. Empresas públicas de Medellín. Recuperado de: <http://www.propiedadpublica.com.co/algas-diminutas-un-recurso-naturalrenovable-abundante-y-de-gran-potencial-industrial/>.

Pellón, A., Benítez, F., Frades, J., García, L., Cerpa, A. y Alguacil, F. (2003). Using microalgae *Scenedesmus obliquus* in the removal of chromium present in plating wastewaters. 39:9-16.

- Pérez, K., Vega, A., Hernández, L., Parra, D., y Ballen, M. (2016). Uso de *scenedesmus* para la remoción de metales pesados y nutrientes de aguas residuales de la industria textil. Bogotá. Colombia. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Miguel_Segura2/publication/313284355_Uso_de_Scenedesmus_para_la_remocion_de_metales_pesados_y_nutrientes_de_aguas_residuales_para_la_industria_textil/links/5949907e4585158b8fd5b893/Uso-de-Scenedesmus-para-la-remocion-de-metales-pesados-y-nutrientes-de-aguas-residuales-para-la-industria-textil.pdf
- Posten, C., y Feng Chen, S. (2016). Microalgae Biotechnology. Suiza, Switzerland: Springer International Publishing. Obtenido de Conteo de microalgas: <http://microalgasmodulo1.blogspot.com/2013/03/conteo-de-microalgas.html>
- Puga, S., Sosa, M., y Quintana, C., (2006). Contaminacion por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. Scielo Perú, 28-36.
- Pradhan, D., Sukla, L., y Sawyer, M. (2017). Biorreducción reciente del cromo hexavalente en el tratamiento de aguas residuales *Scopus*, 55(25), 1-20.
- Romero, J. (2004). Tratamiento de Aguas Residuales. Teorías y principios de Diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.
- Rodríguez, R., Calva, G., Ramos, E., Salazar, J., (1999). *Aspectos aplicados de la Biotecnología*. México. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/pucesp/reader.action?docID=3187441&query=refrigeración+microalgas#>
- Ruiz, A. (2011). Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente. (Tesis de grado). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12831/Ruiz%20Martinez%20Ana%20%20Tesina%20Fin%20Master%20-%202011.pdf?sequence=1>.
- Ruiz, A., Mendoza, L., y Sánchez, M., (2011). Características fotosintéticas y crecimiento de *Scenedesmus oblicuo* inmovilizado con alginato. *Scopus* 45(3), 303-313. Recuperado de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-79957582558&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=caracteristicas+scenedesmus&st2=&sid=34c9d826ce1f288552c6>

94470019eb6a&sot=b&sdt=b&sl=42&s=TITLE-ABS-
KEY%28caracteristicas+scenedesmus%29&relpos=0&citeCnt=2&searchTerm

- Ruiz, G. (2015). *Instalación y Monitoreo de un Fotobiorreactor para el Cultivo Autotrófico y la Extracción de Lípidos de Microalgas Chlorella para la Producción de Biodiesel*. (Tesis de grado). UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO, Quito. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4184/1/113631.pdf>.
- Salazar, P. (2005). Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales. universidad austral de chile. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmficis161s/doc/bmficis161s.pdf>
- Salazar, M.; Bernal, V. y Martínez, E. (2005). Tratamiento de efluentes anaerobios con microalgas clorofitas (*Chlorella vulgaris* y *Sphaerocystis* sp). Xi Congreso Nacional De Biotecnología y Bioingeniería. Recuperado de: http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/merida05/TRABAJOS/AREA_IV/CIV47.pdf.
- Sánchez, E., Garza, M., Almaguer, V., Sáenz, I. y Liñán, A. (2008). Estudio cinético e isotermas de adsorción de Ni (II) y Zn (II) utilizando biomasa del alga *Chlorella* sp. Inmovilizada. Ciencia UNAL: 11(2), 168-176. Recuperado de: <file:///C:/Users/EQUIP/Downloads/Dialnet-EstudioCineticoEIsotermasDeAdsorcionDeNiIIYZnIIUtI-2565693.pdf>.
- Sen, G., Sen, S., Thakurta, S., Chakrabarty, J., y Dutta, S. (2018) Biorremediación de Cr (VI) usando cianobacterias vivas: experimentación y modelado cinético. Ingeniería Química, Instituto Nacional De Tecnología, Durgapur, Bengala Occidental, India. *Scopus*, 144(9), 180-189.
- SIB. (s.f.). Taxonomía para *Chlorella* sp. Recuperado de: <http://www.sib.gov.ar/taxonomia/genero/chlorella>
- Sociedad Española de Microalgas y Subproductos S.L. (2012). *Scenedesmus* sp. Recuperado de: <https://www.seaweed.es/productos/scenedesmus/>.
- Sundaram, S., y Raghavan, P. (2011). Chromium – IV Reagents: Sintetic Applications. Verlag Berlin Heidelberg: Springer. Propiedades del Cromo. Recuperado de <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-642-02121-3>.
- Torres, E., Hess, D., McNeil, B., Guy, T., y Quinn, J., (2017). Impacto de los contaminantes inorgánicos en la productividad de las microalgas y el potencial de biorremediación. *Scopus*, 139(1), 367-376. Recuperado de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85011918374&origin=resultslist&sort=plf->

f&src=s&st1=Torres&nlo=&nlr=&nls=&sid=3d205cdb7176dfde32c125d1337e68dc&sot=b&sdt=sisr&sl=19&s=AUTHOR-NAME%28Torres%29&ref=%28%28%28%28Hess%29%29+AND+%28McNeil%29%29+AND+%28Guy%29%29+AND+%28Quinn%29&relpos=7&citeCnt=7&searchTerm=

Veranes, O., Pellón A., Espinosa, M., Oña, A., y Pérez, E. (2012). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA MICROALGA *Scenedesmus obliquus* PARA LA PRECIPITACIÓN DE CROMO EN ALBAÑAL SINTÉTICO. Recuperado de: <https://revistas.uo.edu.cu/index.php/cq/article/view/298/293>.

Verma, N., y Sharma, R. (2017). Biorremediación de metales pesados tóxicos. *Scopus*, 11(3), 171-187.

Villabona, A., Garces, L., y Tejada C. (2014). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnologías Aplicadas*, 18(34), 109-123. Recuperado el 09 de abril de 2018.

Volesky, B., Weber, J., y Park, J. (2003). Continuous-flow metal biosorption in regenerable *Sargassum* column. *Water Research*, 37(2), 297-306. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=EBE2C4A357E9D277AC2ED6656AB0ADCE?doi=10.1.1.668.5119&rep=rep1&type=pdf>.

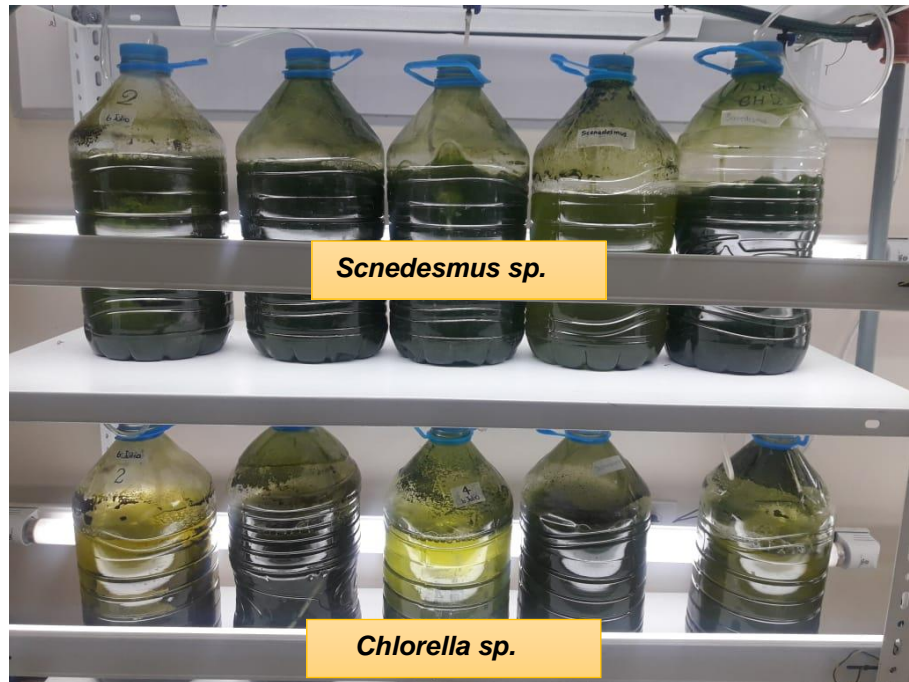
Vullo, D. (2003). Microorganismos y Metales Pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. España: Revista *Química Viva*.

Xie, B., Gong, W., Yu, H., Tang, X., Yan, Z., Luo, X., Gan, Z., Wang, T., Li, G., y Liang, H. (2018) Microalgas inmovilizadas para el tratamiento de efluentes de digestión anaeróbica en un sistema de fotobiorreactor-ultrafiltración: control de la recolección de algas. *Scopus*, 98(1), 150-161. Recuperado de; <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85050827451&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Chlorella+vulgaris+&nlo=&nlr=&nls=&sid=042464dd62d90d19d8bbff7d46b19aa9&sot=b&sdt=b&sl=34&s=TITLE-ABS-KEY%28Chlorella+vulgaris+%29&relpos=59&citeCnt=0&searchTerm=>

Yen, H., Chen, P., Hsu, C., y Lee, L. (2017). El uso de *Chlorella vulgaris* autótrofa en la reducción de cromo (VI) en diferentes condiciones de reducción. *Scopus* 74(1), 1-6. Recuperado de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85014172748&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Chlorella+vulgaris+&nlo=&nlr=&nls=&sid=042464dd62d90d19d8bbff7d46b19aa9&sot=b&sdt=b&sl=34&s=TITLE-ABS-KEY%28Chlorella+vulgaris+%29&relpos=654&citeCnt=0&searchTerm=>

10. ANEXOS

ANEXO I Evidencias Fotográficas



Fotografía 1: Producción de Biomasa
Fuente: El Autor.



Fotografía 2: Mezcla del Alginato con agua destilada.
Fuente: El Autor.



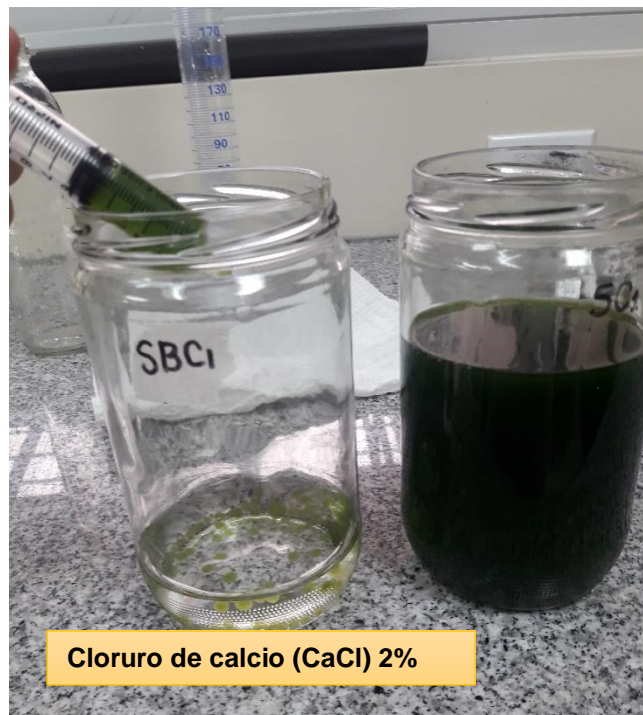
Fotografía 3: Homogenización del Alginato, mediante baño maría.
Fuente: El Autor.



Fotografía 4: Solución de Alginato libre de grumos y burbujas, lista para ser utilizada.
Fuente: El Autor.



Fotografía 5: Adición de las microalgas en la solución de Alginato.
Fuente: El Autor.



Fotografía 6: Inmovilización de las microalgas en esferas de Alginato.
Fuente: El Autor.



Fotografía 7: Hidratación y aireación de las microalgas inmobilizadas.
Fuente: El Autor.



Fotografía 8: Selección de las perlas que se encuentren en buen estado.
Fuente: El Autor.



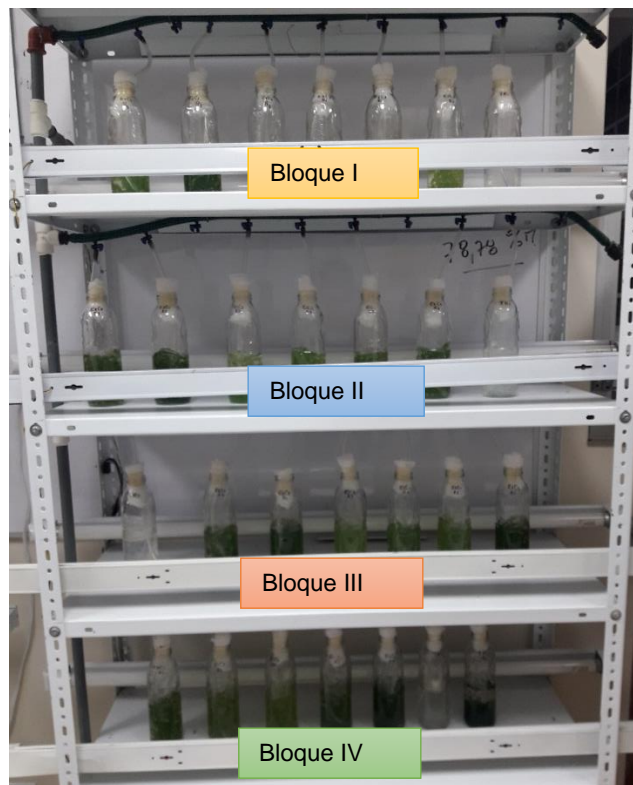
Fotografía 9: Distribución de las microalgas para cada una de las unidades experimentales.
Fuente: El Autor.



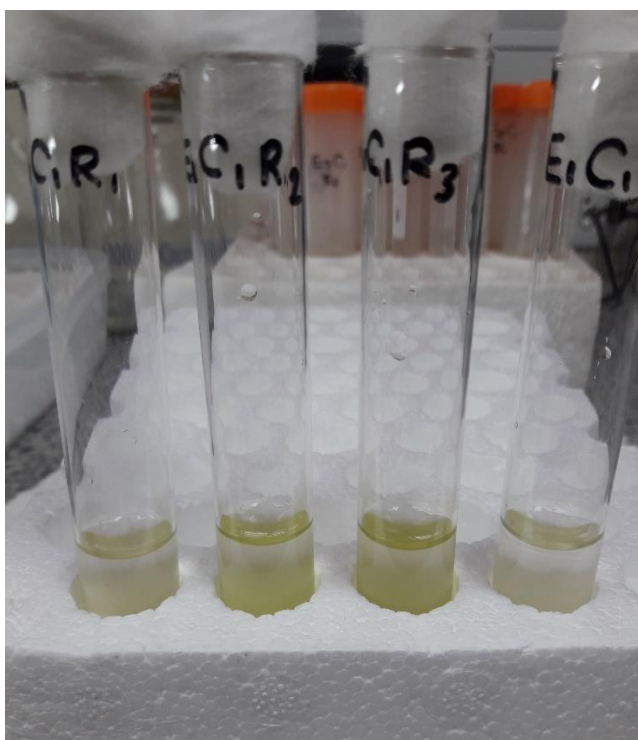
Fotografía 10: Preparación de la solución sintética de Cromo con concentración de 1 ppm.
Fuente: El Autor.



Fotografía 11: Distribución de la solución sintética de Cromo en cada una de las unidades experimentales.
Fuente: El Autor.



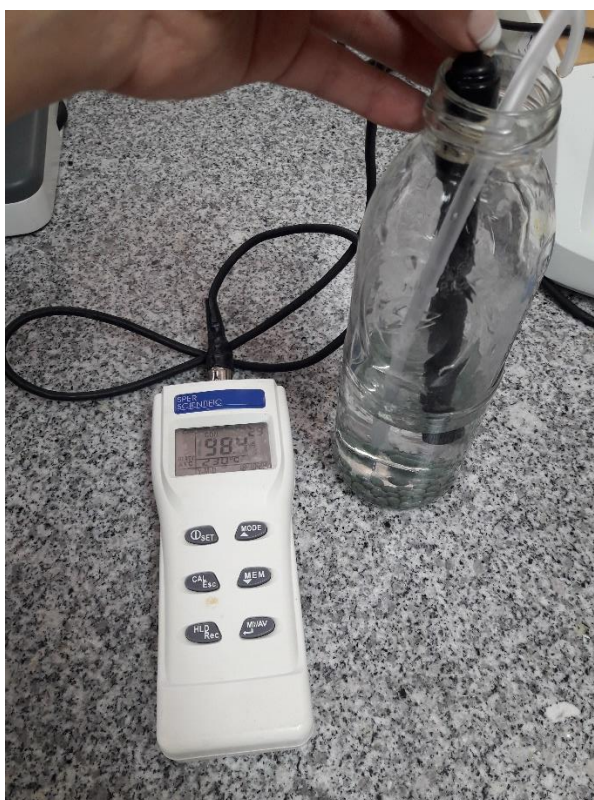
Fotografía 12: Montaje del experimento de acuerdo al DBCA $A \times B$ con cuatro repeticiones.
Fuente: El Autor.



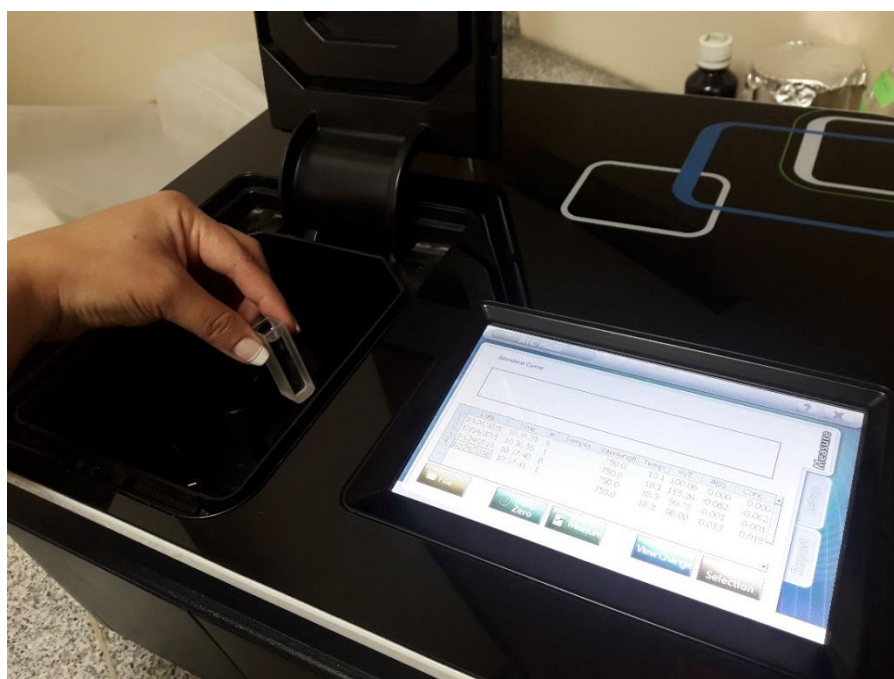
Fotografía 13: Muestras de la solución sintética de Cromo.
Fuente: El Autor.



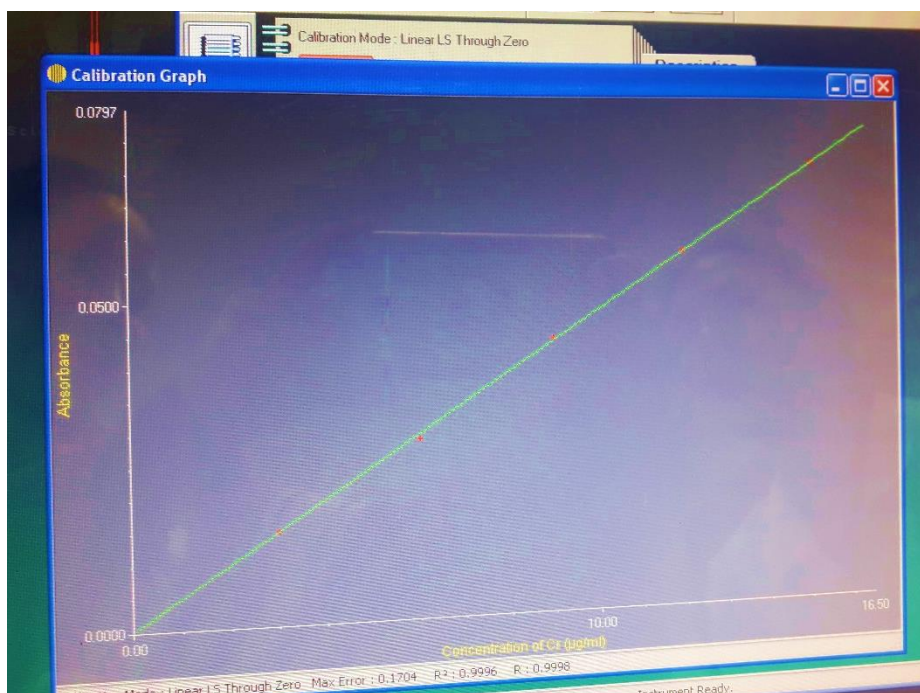
Fotografía 14: Mediciones de pH de la solución sintética de Cromo.
Fuente: El Autor.



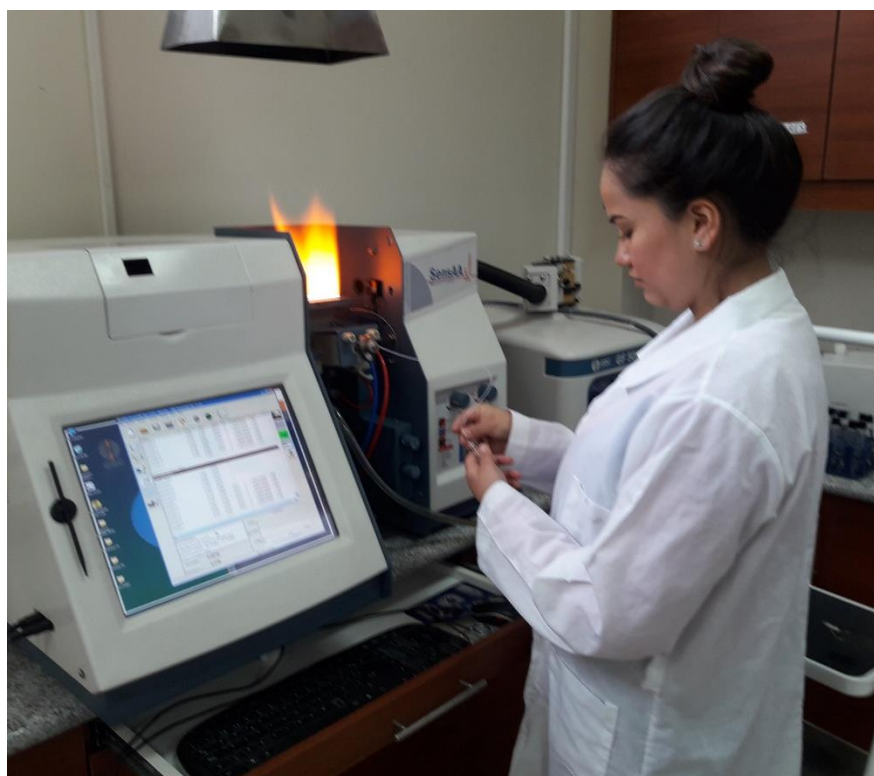
Fotografía 15: Mediciones de Conductividad de la solución sintética de Cromo.
Fuente: El Autor.



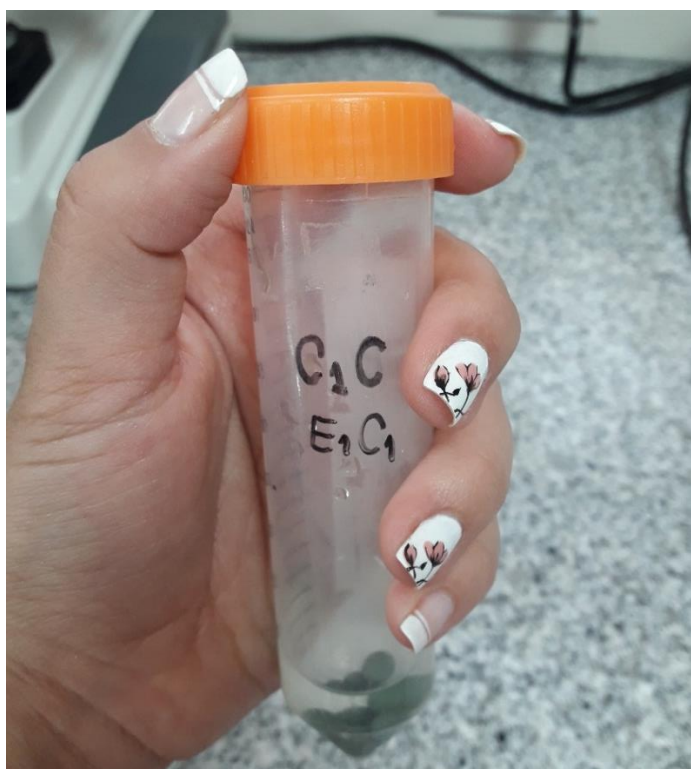
Fotografía 16: Mediciones de Absorbancia de la solución sintética de Cromo.
Fuente: El Autor.



Fotografía 17: Curva de calibración el espectrofotómetro de absorción atómica.
Fuente: El Autor.



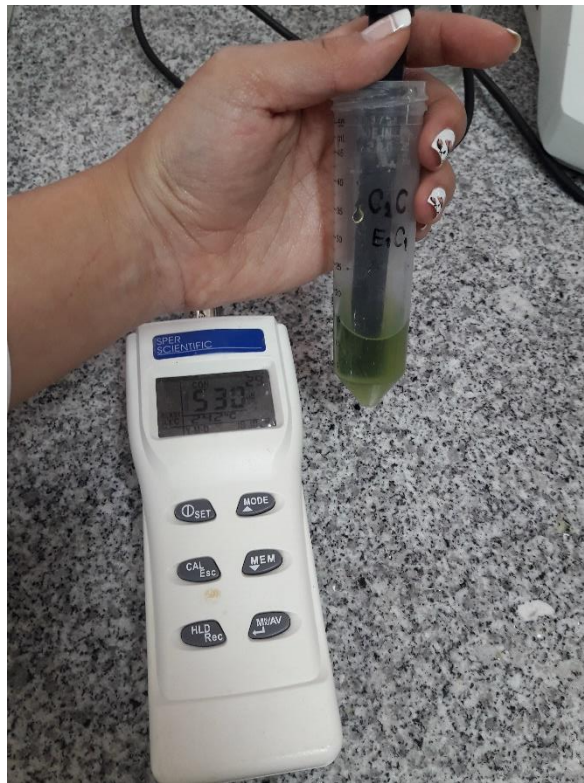
Fotografía 18: Análisis de las muestras de la solución sintética de Cromo en el espectrofotómetro de absorción atómica
Fuente: El Autor.



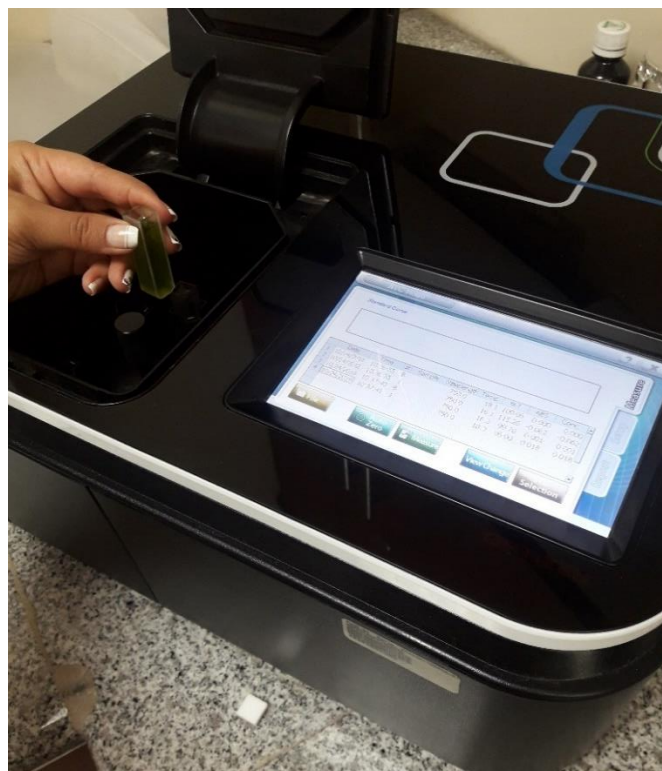
Fotografía 19: Microalgas inmobilizadas con una solución de bicarbonato 4% para la dilución de las esferas de alginato.
Fuente: El Autor.



Fotografía 20: Mediciones de pH para las Microalgas Inmovilizadas.
Fuente: El Autor.



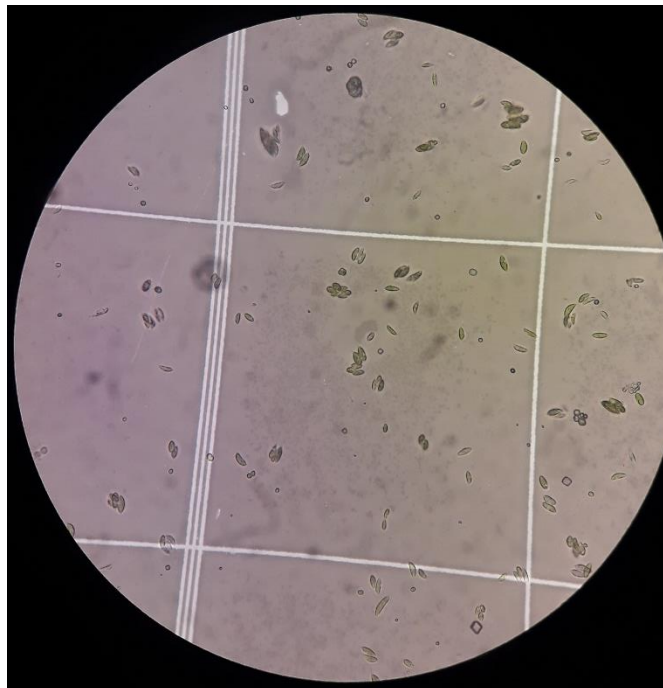
Fotografía 21: Mediciones de Conductividad de las Microalgas Inmovilizadas.
Fuente: El Autor.



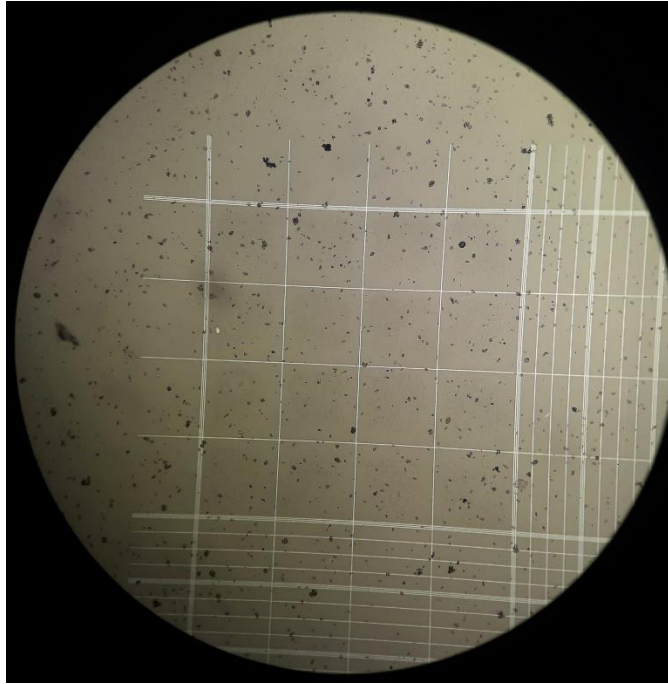
Fotografía 22: Mediciones de Absorbancia de las Microalgas Inmovilizadas.
Fuente: El Autor.



Fotografía 23: conteos celulares mediante la cámara Neubauer.
Fuente: El Autor.



Fotografía 24: Observación en el microscopio de los conteos de la especie *Scenedesmus sp.* 40x
Fuente: El Autor.



Fotografía 25: Observación en el microscopio de los conteos de la especie *Chorella sp.* 10x
Fuente: El Autor.



Fotografía 26: Socialización de los resultados obtenidos de la investigación a la comunidad universitaria de la PUCESI.
Fuente: El Autor.



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

ESCUELA CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES
ÁREA DE VINCULACIÓN CON LA COMUNIDAD

PROCESO DE SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN

El siguiente cuestionario nos permitirá implementar mejoras constantes en los procesos de socialización de trabajos de investigación, por favor háganos llegar sus comentarios y sugerencias:

FECHA	05/12/2018		
EXPOSITOR	Fernanda Vega		
LUGAR	DENTRO PUCESI	<input checked="" type="checkbox"/>	FUERA PUCESI

NOTA IMPORTANTE: Por favor conteste las preguntas según la siguiente escala:

5. MUY ALTO / 4. ALTO / 3. MEDIO / 2. BAJO / 1. NULO

DETALLE DE VALORACIÓN	1	2	3	4	5
ORGANIZACIÓN DEL EVENTO DE SOCIALIZACIÓN:					
1. ¿Considera Usted que la sala donde se desarrolló este evento brindó las comodidades necesarias?				<input checked="" type="checkbox"/>	
2. ¿Considera Usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado?					<input checked="" type="checkbox"/>
EJECUCIÓN DEL EVENTO POR PARTE DEL EXPOSITOR					
3. ¿Considera Usted que el expositor mostró dominio del tema?					<input checked="" type="checkbox"/>
4. ¿Estima Usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?					<input checked="" type="checkbox"/>
5. ¿Considera Usted que el Expositor demostró facilidad de expresión?					<input checked="" type="checkbox"/>
MEDICIÓN DE IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN:					
6. ¿Considera Usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?					<input checked="" type="checkbox"/>
7. ¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?					<input checked="" type="checkbox"/>
8. ¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución?					<input checked="" type="checkbox"/>
9. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que éstos se cumplieron?					<input checked="" type="checkbox"/>
REALICE UN COMENTARIO O SUGERENCIA PARA LOS ORGANIZADORES DE ESTE EVENTO					
Felicitaciones. Buen trabajo					
MENCIONE USTED OTRAS PROBLEMÁTICAS QUE A SU PARECER PODRÍAN SER INVESTIGADAS Y QUE POSEAN IMPORTANCIA PARA ALGÚN ACTOR Y/O SECTOR DE NUESTRA COLECTIVIDAD					
Recuperación de exoma en los microalgas					
INSTITUCIÓN U ORGANIZACIÓN A LA QUE PERTENECE EL ENCUESTADO					
PUCESI					

Fotografía 27: Formulario de Evaluación de la Socialización de la Investigación
Fuente: El Autor



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

ESCUELA CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES
ÁREA DE VINCULACIÓN CON LA COMUNIDAD

LISTA DE ASISTENCIA A SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN

NOMBRE DEL EXPOSITOR: Fernanda Vega
CARRERA: Ingeniería Ambiental
FECHA: 5/ diciembre / 2018

N°	NOMBRE ASISTENTE	NÚMERO DE CÉDULA	INSTITUCIÓN A LA QUE REPRESENTA	FIRMA
1	Cynthia Oca	045014795-4	PUCE-SI	
2	Andrea Guzmán	1003993332	PUCE-SI	
3	Karina Eraso	1751056274	PUCE-SI	
4	CECESWIS ATISBUDA	1003359569	PUCE-SI	
5	Johanna Urbina	100443555-6	PUCE-SI	
6	Katherine Chuquillo	100343381-8	PUCE-SI	
7	Erika Quiroz	100368180-4	PUCE-SI	
8	Carlos Hidelgo	100416477-0	PUCE-SI	
9	Marco Patiño	172148592-6	PUCE-SI	
10	Joselyn Zurrieta	100448702-9	PUCE-SI	
11	Evelin Ruiz	180476485-8	PUCE-SI	
12	Franco Sarmiento	100394170-3	PUCE-SI	
13	Mishel Villanuel	100355110-3	PUCE-SI	
14	David Maldonado	100376184-6	PUCE-SI	
15	Gabriel Minda	1715946891	PUCE-SI	
16	Bryan Pizarro	100342518-6	PUCE-SI	
17	Pedro Hincapié	040184931-0	PUCE-SI	
18	Franklin Fuentes	040178664-8	PUCE-SI	

Fotografía 28: Listado de Asistencia a la Socialización de la Investigación

Fuente: El Autor

ANEXO II Datos de Campo

Tabla 12

Datos diarios pH microalgas inmovilizadas

Fecha	Tratamientos	Bloques			
		I	II	III	IV
4/8/2018	E1C1	8,83	8,77	8,78	8,61
	E1C2	8,83	8,76	8,84	8,76
	E1C3	8,83	8,82	8,69	8,73
	E2C1	8,83	8,86	8,74	8,59
	E2C2	8,86	8,57	8,72	8,55
	E2C3	8,86	8,59	8,75	8,77
6/8/2018	E1C1	8,77	8,83	8,73	8,78
	E1C2	8,82	8,86	8,76	8,77
	E1C3	8,80	8,76	8,70	8,74
	E2C1	8,78	8,84	8,74	8,75
	E2C2	8,82	8,81	8,74	8,74
	E2C3	8,78	8,68	8,65	8,76
8/8/2018	E1C1	8,76	8,76	8,75	8,82
	E1C2	8,71	8,84	8,8	8,84
	E1C3	8,79	8,74	8,7	8,74
	E2C1	8,83	8,76	8,75	8,75
	E2C2	8,83	8,77	8,76	8,7
	E2C3	8,87	8,68	8,71	8,711
10/8/2018	E1C1	8,78	8,78	8,79	8,77
	E1C2	8,77	8,79	8,76	8,76
	E1C3	8,79	8,74	8,77	8,78
	E2C1	8,78	8,78	8,79	8,76
	E2C2	8,8	8,8	8,8	8,78
	E2C3	8,78	8,79	8,79	8,78
12/8/2018	E1C1	9,07	8,67	8,71	8,67
	E1C2	8,67	8,66	8,65	8,67
	E1C3	8,67	8,64	8,64	8,66
	E2C1	8,65	8,61	8,61	8,58
	E2C2	8,63	8,61	8,61	8,58
	E2C3	8,47	8,5	8,49	8,53
14/8/2018	E1C1	8,6	8,6	8,59	8,59
	E1C2	8,57	8,58	8,57	8,59
	E1C3	8,58	8,55	8,57	8,58
	E2C1	8,61	8,59	8,6	8,58
	E2C2	8,61	8,61	8,62	8,59
	E2C3	8,6	8,6	8,61	8,63
16/8/2018	E1C1	8,47	8,5	8,49	8,53
	E1C2	8,53	8,53	8,54	8,52
	E1C3	8,61	8,61	8,62	8,59
	E2C1	8,57	8,58	8,57	8,59
	E2C2	8,61	8,59	8,6	8,58
	E2C3	8,61	8,61	8,62	8,59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

Datos diarios conductividad eléctrica microalgas inmovilizadas

Fecha	Tratamientos	Bloques			
		I	II	III	IV
4/8/2018	E1C1	33	30	30	34
	E1C2	24	24	20	25
	E1C3	21	22	19	18
	E2C1	35	28	29	31
	E2C2	24	25	23	25
	E2C3	20	21	19	22
6/8/2018	E1C1	34	32	31	30
	E1C2	23	25	22	23
	E1C3	21	19	19	20
	E2C1	31	32	34	33
	E2C2	25	25	26	25
	E2C3	22	19	22	20
8/8/2018	E1C1	33	30	32	34
	E1C2	26	25	25	23
	E1C3	21	22	20	20
	E2C1	33	34	32	34
	E2C2	25	22	21	25
	E2C3	22	20	22	21
10/8/2018	E1C1	25	21	19	20
	E1C2	20	16	18	19
	E1C3	15	15	16	15
	E2C1	26	26	25	25
	E2C2	23	22	20	22
	E2C3	11	12	13	13
12/8/2018	E1C1	20	21	21	22
	E1C2	19	17	17	17
	E1C3	14	12	13	13
	E2C1	19	20	18	18
	E2C2	16	17	17	18
	E2C3	11	10	11	10
14/8/2018	E1C1	21	22	20	21
	E1C2	19	18	17	16
	E1C3	14	12	13	13
	E2C1	18	19	19	19
	E2C2	15	16	17	18
	E2C3	12	11	10	10
16/8/2018	E1C1	15	12	13	11
	E1C2	18	17	19	16
	E1C3	22	21	20	23
	E2C1	11	10	12	10
	E2C2	16	17	17	16
	E2C3	19	18	20	17

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14

Datos diarios absorbancia microalgas inmovilizadas.

Fecha	Tratamientos	Bloques			
		I	II	III	IV
4/8/2018	E1C1	1,129	1,226	1,181	1,005
	E1C2	1,104	1,084	1,293	1,002
	E1C3	1,030	1,033	1,123	0,949
	E2C1	1,205	1,234	1,084	1,223
	E2C2	1,103	1,097	1,170	1,183
	E2C3	1,146	1,139	1,055	1,142
6/8/2018	E1C1	1,142	1,228	1,183	1,03
	E1C2	1,104	1,09	1,295	1,017
	E1C3	1,034	1,033	1,125	0,96
	E2C1	1,230	1,267	1,099	1,29
	E2C2	1,098	1,099	1,174	1,185
	E2C3	1,148	1,139	1,057	1,144
8/8/2018	E1C1	1,14	1,229	1,186	1,03
	E1C2	1,105	1	1,21	1,2
	E1C3	1,06	1,04	1,127	0,98
	E2C1	1,183	1,199	1,29	1,198
	E2C2	1,098	1,1	1,174	1,186
	E2C3	1,145	1,34	1,059	1,144
10/8/2018	E1C1	1,153	1,083	1,024	0,994
	E1C2	1,04	1,045	1,08	0,913
	E1C3	1,052	0,98	0,999	0,853
	E2C1	1,15	1,076	1,02	0,993
	E2C2	0,968	0,927	1,147	0,827
	E2C3	0,944	0,916	0,932	0,828
12/8/2018	E1C1	1,02	1,06	1,089	1,065
	E1C2	0,95	0,948	1,172	0,843
	E1C3	0,94	0,92	0,904	0,826
	E2C1	1,05	1,076	1,024	0,993
	E2C2	0,908	0,907	0,9	0,902
	E2C3	0,844	0,816	0,832	0,828
14/8/2018	E1C1	1,036	1,0198	1,0177	1,0163
	E1C2	0,95	0,948	0,958	0,843
	E1C3	0,864	0,852	0,904	0,846
	E2C1	1,0176	1,0166	1,0111	1,0377
	E2C2	0,898	0,899	0,9	0,902
	E2C3	0,804	0,806	0,802	0,808
16/8/2018	E1C1	0,846	0,825	0,849	0,846
	E1C2	0,929	0,935	0,928	0,923
	E1C3	1,0147	1,0142	1,018	1,0175
	E2C1	0,799	0,806	0,789	0,808
	E2C2	0,808	0,809	0,9	0,802
	E2C3	1,03	1,0197	0,932	1,02

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

Datos diarios conteos celulares microalgas nmovilizadas. (1x10⁶)

Fecha	Tratamientos	Bloques			
		I	II	III	IV
4/8/2018	E1C1	2,78	3,63	2,69	2,87
	E1C2	1,23	1,41	3,00	1,70
	E1C3	8,20	7,50	8,70	8,50
	E2C1	2,98	3,84	3,82	2,93
	E2C2	2,43	3,46	2,89	1,88
	E2C3	2,00	2,33	1,81	1,86
6/8/2018	E1C1	4,18	5,45	4,99	4,08
	E1C2	3,04	2,87	3,79	3,46
	E1C3	2,07	1,47	1,94	1,83
	E2C1	5,06	4,84	5,03	5,93
	E2C2	4,07	3,90	4,04	4,83
	E2C3	2,78	3,27	2,87	2,91
8/8/2018	E1C1	5,71	6,06	7,00	6,32
	E1C2	5,14	4,58	5,66	4,74
	E1C3	3,04	2,63	3,68	3,42
	E2C1	6,03	5,41	4,89	6,45
	E2C2	5,66	5,92	5,13	4,89
	E2C3	4,03	3,41	4,13	3,25
10/8/2018	E1C1	6,13	5,52	6,33	6,06
	E1C2	5,07	4,67	4,49	4,25
	E1C3	2,95	1,60	1,59	1,99
	E2C1	6,12	4,84	4,43	4,31
	E2C2	3,34	3,05	3,99	3,81
	E2C3	2,57	2,05	3,02	1,54
12/8/2018	E1C1	5,13	5,73	5,83	5,60
	E1C2	3,66	3,10	3,60	3,22
	E1C3	1,96	2,10	1,30	2,06
	E2C1	3,40	3,07	3,48	4,02
	E2C2	2,80	2,67	2,49	2,93
	E2C3	2,50	1,60	1,80	1,93
14/8/2018	E1C1	4,08	4,83	4,60	4,28
	E1C2	2,62	2,57	2,76	2,66
	E1C3	1,29	1,37	1,39	1,43
	E2C1	2,08	2,90	2,87	2,95
	E2C2	1,67	1,66	1,79	1,77
	E2C3	1,48	1,39	1,46	1,49
16/8/2018	E1C1	1,05	1,05	1,05	1,06
	E1C2	1,97	1,94	1,98	1,95
	E1C3	3,74	3,35	3,32	3,38
	E2C1	1,04	1,04	1,04	1,05
	E2C2	1,08	1,04	1,05	1,06
	E2C3	2,08	2,08	2,04	2,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16

Datos diarios pH solución sintética de cromo.

Fecha	Tratamientos	Bloques			
		I	II	III	IV
2/8/2018	E1C1	8,04	6,79	6,13	5,68
	E1C2	7,25	6,50	6,28	5,63
	E1C3	6,89	6,88	6,10	5,62
	E2C1	7,56	6,89	5,69	5,68
	E2C2	7,07	6,82	5,82	5,57
	E2C3	6,85	6,91	6,06	5,69
3/8/2018	E1C1	7,08	6,76	6,49	6,49
	E1C2	6,13	6,03	6,75	6,28
	E1C3	6,46	6,26	6,12	6,28
	E2C1	7,35	6,98	6,86	7,51
	E2C2	7,62	7,92	7,24	7,27
	E2C3	8,99	8,47	7,95	7,14
5/8/2018	E1C1	8,05	7,76	7,72	8,28
	E1C2	7,25	7,66	7,57	7,14
	E1C3	8,3	7,93	7,97	8,14
	E2C1	8,72	7,15	7,74	8,89
	E2C2	8,22	7,73	8,25	8,74
	E2C3	8,54	8,7	8,3	8,66
7/8/2018	E1C1	9,32	9,24	9,43	9,68
	E1C2	9,72	9,57	9,67	9,3
	E1C3	9,91	9,94	9,78	9,76
	E2C1	9,50	6,78	9,06	9,49
	E2C2	10	9,84	9,61	9,89
	E2C3	10,06	9,97	10,09	9,74
9/8/2018	E1C1	9,36	9,39	9,37	9,14
	E1C2	9,97	9,57	9,95	9,75
	E1C3	9,67	9,98	9,29	9,8
	E2C1	9,93	9,47	9,62	9,79
	E2C2	10,01	10,01	9,83	9,93
	E2C3	10,09	9,97	9,89	9,86
11/8/2018	E1C1	9,59	9,49	9,32	9,67
	E1C2	9,58	9,79	9,75	9,79
	E1C3	9,63	9,18	9,47	9,57
	E2C1	9,79	9,42	9,04	9,28
	E2C2	9,7	9,95	9,94	9,79
	E2C3	10	9,85	9,95	9,6
13/8/2018	E1C1	9,16	9,37	9,27	9,23
	E1C2	9,17	9,12	9,49	9,6
	E1C3	9,25	9,21	9,2	9,14
	E2C1	9,47	9,46	9	9,34
	E2C2	9,69	9,52	9,54	9,31
	E2C3	9,01	8,62	9,21	9,16
15/8/2018	E1C1	9,65	9,65	9,59	9,7
	E1C2	9,69	10,01	9,83	9,76
	E1C3	9,91	9,94	9,78	9,76
	E2C1	9,59	9,49	9,32	9,67
	E2C2	9,72	9,57	9,67	9,3
	E2C3	9,93	9,47	9,62	9,79

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

Datos diarios conductividad eléctrica solución sintética de cromo.

Fecha	Tratamientos	Bloques			
		I	II	III	IV
2/8/2018	E1C1	950	1063	1053	985
	E1C2	695	638	767	665
	E1C3	806	835	858	600
	E2C1	570	574	593	515
	E2C2	736	715	762	723
	E2C3	776	749	825	875
3/8/2018	E1C1	880	995	856	1033
	E1C2	655	578	562	605
	E1C3	757	749	805	771
	E2C1	515	595	515	550
	E2C2	658	664	673	663
	E2C3	784	780	775	767
5/8/2018	E1C1	880	895	856	833
	E1C2	635	548	562	505
	E1C3	747	749	705	771
	E2C1	515	565	515	550
	E2C2	628	634	573	636
	E2C3	748	730	698	758
7/8/2018	E1C1	879	700	856	705
	E1C2	607	540	558	500
	E1C3	740	747	768	708
	E2C1	510	551	512	548
	E2C2	625	570	635	638
	E2C3	692	755	727	743
9/8/2018	E1C1	875	842	705	700
	E1C2	585	500	502	595
	E1C3	749	736	739	717
	E2C1	514	525	524	522
	E2C2	600	595	625	630
	E2C3	729	724	719	730
11/8/2018	E1C1	790	815	677	644
	E1C2	485	469	514	472
	E1C3	719	715	715	684
	E2C1	498	528	499	543
	E2C2	589	510	514	515
	E2C3	668	632	649	665
13/8/2018	E1C1	789	729	725	678
	E1C2	442	473	547	425
	E1C3	728	698	709	710
	E2C1	527	501	531	530
	E2C2	458	498	516	499
	E2C3	791	759	745	487
15/8/2018	E1C1	728	708	706	689
	E1C2	676	721	698	596
	E1C3	437	448	437	489
	E2C1	668	632	649	665
	E2C2	512	516	518	495
	E2C3	514	544	433	448

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18

Datos diarios absorbancia solución sintética de cromo.

Fecha	Tratamientos	Bloques			
		I	II	III	IV
2/8/2018	E1C1	0,389	0,384	0,383	0,385
	E1C2	0,394	0,326	0,393	0,385
	E1C3	0,377	0,354	0,378	0,38
	E2C1	0,388	0,374	0,399	0,375
	E2C2	0,401	0,362	0,39	0,374
	E2C3	0,400	0,387	0,373	0,392
3/8/2018	E1C1	0,723	0,724	0,720	0,682
	E1C2	0,885	0,829	0,886	0,852
	E1C3	0,586	0,570	0,566	0,562
	E2C1	0,691	0,617	0,69	0,68
	E2C2	0,999	0,989	0,996	0,969
	E2C3	0,961	0,998	0,993	0,913
5/8/2018	E1C1	0,625	0,762	0,768	0,621
	E1C2	0,68	0,86	0,62	0,799
	E1C3	0,877	0,860	0,85	0,89
	E2C1	0,689	0,699	0,658	0,66
	E2C2	0,58	0,598	0,609	0,615
	E2C3	0,52	0,498	0,488	0,514
7/8/2018	E1C1	0,533	0,553	0,530	0,439
	E1C2	0,484	0,415	0,412	0,432
	E1C3	0,405	0,418	0,406	0,403
	E2C1	0,392	0,404	0,413	0,377
	E2C2	0,396	0,411	0,417	0,417
	E2C3	0,436	0,403	0,415	0,404
9/8/2018	E1C1	0,393	0,453	0,511	0,514
	E1C2	0,373	0,408	0,38	0,38
	E1C3	0,391	0,390	0,407	0,392
	E2C1	0,386	0,412	0,39	0,359
	E2C2	0,407	0,391	0,408	0,39
	E2C3	0,412	0,387	0,394	0,385
11/8/2018	E1C1	0,582	0,534	0,495	0,483
	E1C2	0,546	0,525	0,512	0,548
	E1C3	0,539	0,568	0,557	0,54
	E2C1	0,494	0,471	0,519	0,417
	E2C2	0,494	0,517	0,518	0,503
	E2C3	0,536	0,491	0,492	0,491
13/8/2018	E1C1	0,615	0,486	0,457	0,514
	E1C2	0,498	0,501	0,432	0,471
	E1C3	0,486	0,511	0,464	0,485
	E2C1	0,481	0,512	0,491	0,430
	E2C2	0,441	0,454	0,460	0,446
	E2C3	0,475	0,445	0,432	0,438
15/8/2018	E1C1	0,391	0,390	0,407	0,392
	E1C2	0,373	0,408	0,38	0,38
	E1C3	0,394	0,326	0,393	0,385
	E2C1	0,407	0,391	0,408	0,39
	E2C2	0,412	0,387	0,394	0,385
	E2C3	0,386	0,412	0,39	0,359

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

Datos diarios concentración de cromo

Fecha	Tratamientos	Bloques											
		I			II			III			IV		
		Corrida 1	Corrida 2	Promedio	Corrida 1	Corrida 2	Promedio	Corrida 1	Corrida 2	Promedio	Corrida 1	Corrida 2	Promedio
4/8/2018	E1C1	0,335	0,312	0,3235	0,345	0,335	0,34	0,339	0,328	0,3335	0,334	0,324	0,329
	E1C2	0,343	0,361	0,352	0,343	0,351	0,347	0,352	0,349	0,3505	0,351	0,341	0,346
	E1C3	0,389	0,382	0,3855	0,371	0,374	0,3725	0,389	0,381	0,385	0,378	0,371	0,3745
	E2C1	0,365	0,363	0,364	0,363	0,377	0,37	0,366	0,367	0,3665	0,364	0,377	0,3705
	E2C2	0,435	0,432	0,4335	0,433	0,422	0,4275	0,439	0,437	0,438	0,434	0,435	0,4345
	E2C3	0,461	0,462	0,4615	0,457	0,457	0,457	0,467	0,466	0,4665	0,457	0,454	0,4555
6/8/2018	E1C1	0,293	0,302	0,2975	0,315	0,272	0,2935	0,266	0,325	0,2955	0,28	0,338	0,309
	E1C2	0,346	0,342	0,344	0,347	0,347	0,347	0,337	0,337	0,337	0,349	0,347	0,348
	E1C3	0,362	0,362	0,362	0,373	0,377	0,375	0,362	0,367	0,3645	0,369	0,363	0,366
	E2C1	0,356	0,353	0,3545	0,365	0,362	0,3635	0,357	0,356	0,3565	0,353	0,359	0,356
	E2C2	0,426	0,428	0,427	0,437	0,434	0,4355	0,427	0,425	0,426	0,431	0,432	0,4315
	E2C3	0,459	0,454	0,4565	0,454	0,463	0,4585	0,455	0,454	0,4545	0,463	0,462	0,4625
8/8/2018	E1C1	0,25	0,24	0,245	0,251	0,258	0,2545	0,259	0,255	0,257	0,251	0,254	0,2525
	E1C2	0,329	0,325	0,327	0,317	0,313	0,315	0,324	0,326	0,325	0,323	0,321	0,322
	E1C3	0,348	0,343	0,3455	0,351	0,356	0,3535	0,342	0,346	0,344	0,355	0,358	0,3565
	E2C1	0,347	0,348	0,3475	0,352	0,351	0,3515	0,35	0,347	0,3485	0,347	0,346	0,3465
	E2C2	0,429	0,428	0,4285	0,427	0,422	0,4245	0,429	0,431	0,43	0,431	0,427	0,429
	E2C3	0,457	0,458	0,4575	0,457	0,459	0,458	0,463	0,461	0,462	0,438	0,439	0,4385
10/8/2018	E1C1	0,212	0,205	0,2085	0,24	0,28	0,26	0,229	0,281	0,255	0,236	0,254	0,245
	E1C2	0,31	0,303	0,3065	0,309	0,312	0,3105	0,315	0,319	0,317	0,318	0,317	0,3175
	E1C3	0,34	0,348	0,344	0,339	0,338	0,3385	0,341	0,341	0,341	0,338	0,331	0,3345
	E2C1	0,339	0,335	0,337	0,342	0,346	0,344	0,332	0,333	0,3325	0,344	0,349	0,3465
	E2C2	0,412	0,411	0,4115	0,421	0,417	0,419	0,418	0,423	0,4205	0,41	0,413	0,4115

	E2C3	0,441	0,443	0,442	0,445	0,447	0,446	0,447	0,454	0,4505	0,449	0,445	0,447
12/8/2018	E1C1	0,219	0,228	0,2235	0,216	0,214	0,215	0,224	0,182	0,203	0,229	0,231	0,23
	E1C2	0,309	0,302	0,3055	0,315	0,315	0,315	0,319	0,31	0,3145	0,315	0,317	0,316
	E1C3	0,339	0,339	0,339	0,336	0,339	0,3375	0,334	0,337	0,3355	0,333	0,335	0,334
	E2C1	0,321	0,326	0,3235	0,323	0,323	0,323	0,334	0,332	0,333	0,336	0,339	0,3375
	E2C2	0,409	0,407	0,408	0,406	0,409	0,4075	0,418	0,409	0,4135	0,409	0,407	0,408
	E2C3	0,430	0,431	0,4305	0,424	0,426	0,425	0,438	0,439	0,4385	0,436	0,432	0,434
14/8/2018	E1C1	0,205	0,203	0,204	0,203	0,208	0,2055	0,209	0,203	0,206	0,205	0,207	0,206
	E1C2	0,304	0,305	0,3045	0,302	0,306	0,304	0,306	0,309	0,3075	0,307	0,306	0,3065
	E1C3	0,314	0,317	0,3155	0,326	0,314	0,32	0,333	0,289	0,311	0,364	0,373	0,3685
	E2C1	0,325	0,329	0,327	0,328	0,322	0,325	0,322	0,321	0,3215	0,323	0,329	0,326
	E2C2	0,391	0,399	0,395	0,394	0,399	0,3965	0,405	0,389	0,397	0,395	0,39	0,3925
	E2C3	0,426	0,421	0,4235	0,423	0,424	0,4235	0,439	0,439	0,439	0,424	0,428	0,426
16/8/2018	E1C1	0,316	0,311	0,3135	0,31	0,317	0,3135	0,31	0,314	0,312	0,309	0,305	0,307
	E1C2	0,295	0,293	0,294	0,292	0,298	0,295	0,295	0,295	0,295	0,296	0,293	0,2945
	E1C3	0,192	0,163	0,1775	0,195	0,155	0,175	0,103	0,133	0,118	0,098	0,107	0,1025
	E2C1	0,413	0,429	0,421	0,417	0,418	0,4175	0,418	0,415	0,4165	0,415	0,416	0,4155
	E2C2	0,382	0,394	0,388	0,382	0,389	0,3855	0,383	0,381	0,382	0,386	0,395	0,3905
	E2C3	0,319	0,317	0,318	0,319	0,302	0,3105	0,318	0,32	0,319	0,315	0,319	0,317

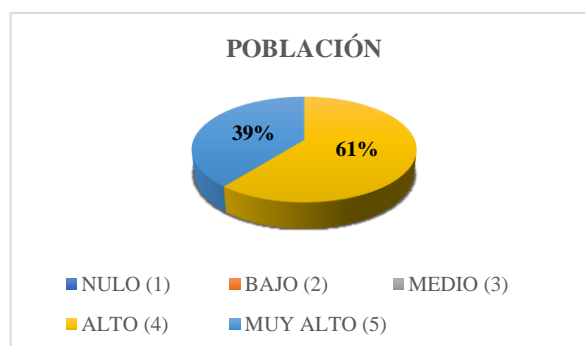
Fuente: Elaboración propia

ANEXO III Resultados Socialización

- ORGANIZACIÓN DEL EVENTO DE SOCIALIZACIÓN:

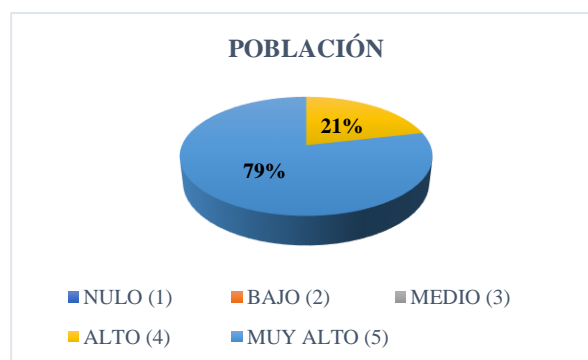
1. ¿Considera Usted que la sala donde se desarrolló este evento brindó las comodidades necesarias?

VALORACIÓN	POBLACIÓN	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	17	61
MUY ALTO (5)	11	39
TOTAL	28	100



2. ¿Considera Usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado?

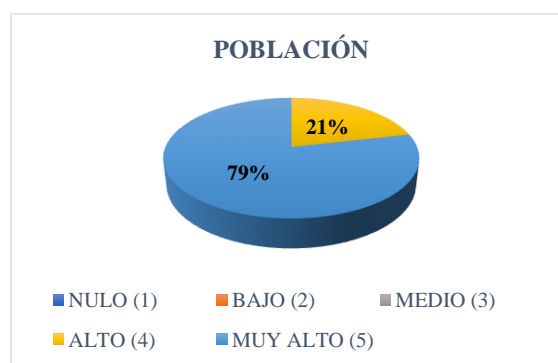
VALORACIÓN	POBLACIÓN	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	6	21
MUY ALTO (5)	22	79
TOTAL	28	100



- EJECUCIÓN DEL EVENTO POR PARTE DEL EXPOSITOR

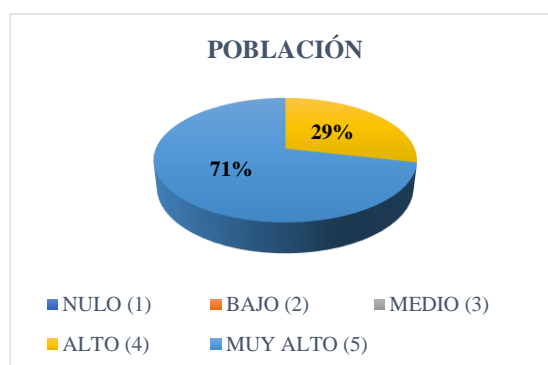
3. ¿Considera Usted que el expositor mostro dominio del tema?

VALORACIÓN	POBLACIÓN	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	6	21
MUY ALTO (5)	22	79
TOTAL	28	100



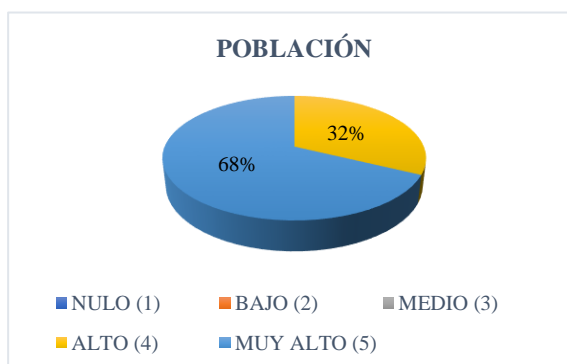
4. ¿Estima Usted que el manejo por parte del auditorio por parte del expositor fue adecuado?

VALORACIÓN	POBLACIÓN	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	8	29
MUY ALTO (5)	20	71
TOTAL	28	100



5. ¿Considera Usted que el expositor demostró facilidad de expresión?

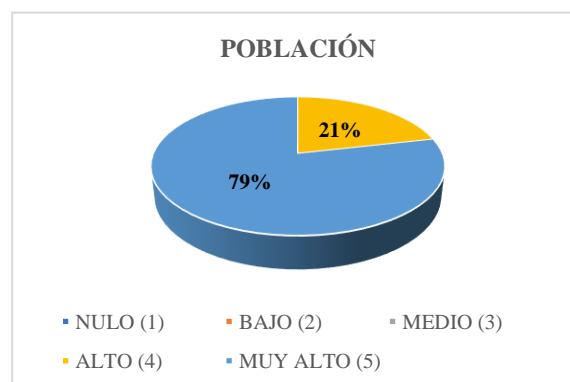
VALORACIÓN	POBLACIÓN	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	9	32
MUY ALTO (5)	19	68
TOTAL	28	100



- **MEDICIÓN DE IMPACTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

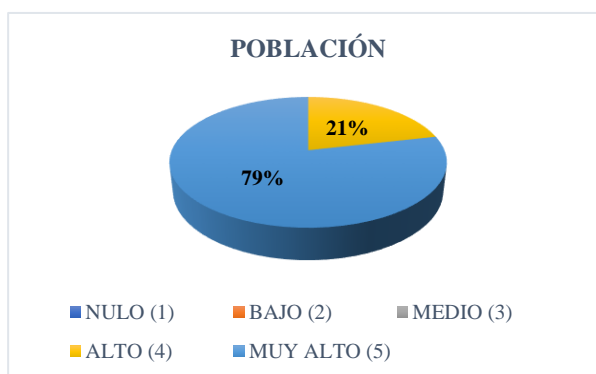
6. ¿Considera Usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?

VALORACIÓN	POBLACIÓN	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	6	21
MUY ALTO (5)	22	79
TOTAL	28	100



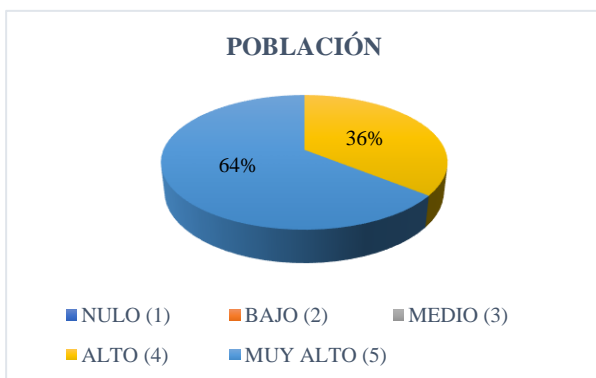
7. ¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?

VALORACIÓN	POBLACIÓN	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	6	21
MUY ALTO (5)	22	79
TOTAL	28	100



8. ¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada comunidad o institución?

VALORACIÓN	POBLACIÓN	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	10	36
MUY ALTO (5)	18	64
TOTAL	28	100



9. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que éstos se cumplieron?

VALORACIÓN	POBLACIÓN	PORCENTAJE %
NULO (1)	0	0
BAJO (2)	0	0
MEDIO (3)	0	0
ALTO (4)	10	36
MUY ALTO (5)	18	64
TOTAL	28	100

