**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**TEMA:**

# "EVALUACIÓN DEL USO DE LA CHLORELLA VULGARIS EN LA REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE, DEMANDA QUÍMICA DEL OXÍGENO EN AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS PAPELERAS A NIVEL DE LABORATORIO"


**AUTORES:**

ANA PAULA BOBADILLA ABARCA

PRISCILLA STEFANÍA ALVAREZ CASTILLO

**TUTORA:**

DRA. MARTHA BERMEO GARAY


**Guayaquil, agosto 2018**

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TEMA:**

# "EVALUACIÓN DEL USO DE LA CHLORELLA VULGARIS EN LA REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE, DEMANDA QUÍMICA DEL OXÍGENO EN AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS PAPELERAS A NIVEL DE LABORATORIO"

**AUTORES:**

ANA PAULA BOBADILLA ABARCA

PRISCILLA STEFANÍA ALVAREZ CASTILLO

**TUTORA:**

DRA. MARTHA BERMEO GARAY

**Guayaquil, agosto 2018**

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**
**CARREA INGENIERIA QUIMICA**
**UNIDAD DE TITULACIÓN**

# REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

## FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE GRADUACIÓN

| | | | |
|---|---|---|---|
| **TÍTULO Y SUBTÍTULO:** | "EVALUACIÓN DEL USO DE LA CHLORELLA VULGARIS EN LA REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE, DEMANDA QUÍMICA DEL OXÍGENO EN AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS PAPELERAS A NIVEL DE LABORATORIO" | | |
| | | | |
| **AUTOR(ES)** (apellidos/nombres): | Alvarez Castillo Priscilla Stefania<br>Bobadilla Abarca Ana Paula | | |
| **REVISOR(ES)/TUTOR(ES)** (apellidos/nombres): | Dra. Bermeo Garay Martha<br>Dra. Ronquillo Castro Sandra | | |
| **INSTITUCIÓN:** | Universidad de Guayaquil | | |
| **UNIDAD/FACULTAD:** | Facultad de Ingenieria Química | | |
| **MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:** | | | |
| **GRADO OBTENIDO:** | | | |
| **FECHA DE PUBLICACIÓN:** | Septiembre/ 2018 | **No. DE PÁGINAS:** | 87 |
| **ÁREAS TEMÁTICAS:** | Hidrología | | |
| **PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:** | Chlorella vulgaris, agua residual, tratamiento de agua, industria papelera. | | |

**RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):**

En el estudio realizado se investigó la evaluación del uso de la *Chlorella Vulgaris* en la remoción de Cromo Hexavalente, Demanda Química del Oxígeno en aguas residuales de industrias papeleras a nivel de laboratorio, para lo cual se establecieron dosificaciones y se evaluaría las condiciones y parámetros (pH, Cr(VI), DQO) con la finalidad de determinar la dosificación optima y obtener el porcentaje de remoción de DQO y Cr (VI) de acuerdo con las normas ambientales estipuladas. Durante la experimentación se realizaron dosificaciones y la mejor dosis fue 85% de agua residual y 15% de microalga *Chlorella vulgaris*, el cual se controló el recuento de la densidad de la *Chlorella vulgaris*, la tasa de crecimiento, porcentaje de remoción del DQO, pH y el porcentaje de remoción del Cr (VI), obteniendo valores positivos, se procedió a realizar una réplica de la mejor dosis y así realizar un promedio del primer y segundo tratamiento realizado al agua residual. Obteniendo una concentración de DQO 106 mg/l con un porcentaje de remoción del 98,11 y una concentración de Cr (VI) 0,015 mg/l con un porcentaje de remoción del 83,51 y por último un pH de 8.40. Por lo tanto, se concluyó que el uso de la *Chlorella vulgaris* en tratamientos de aguas residuales cumple con la capacidad de remover contaminantes presentes y obtener excelentes resultados.

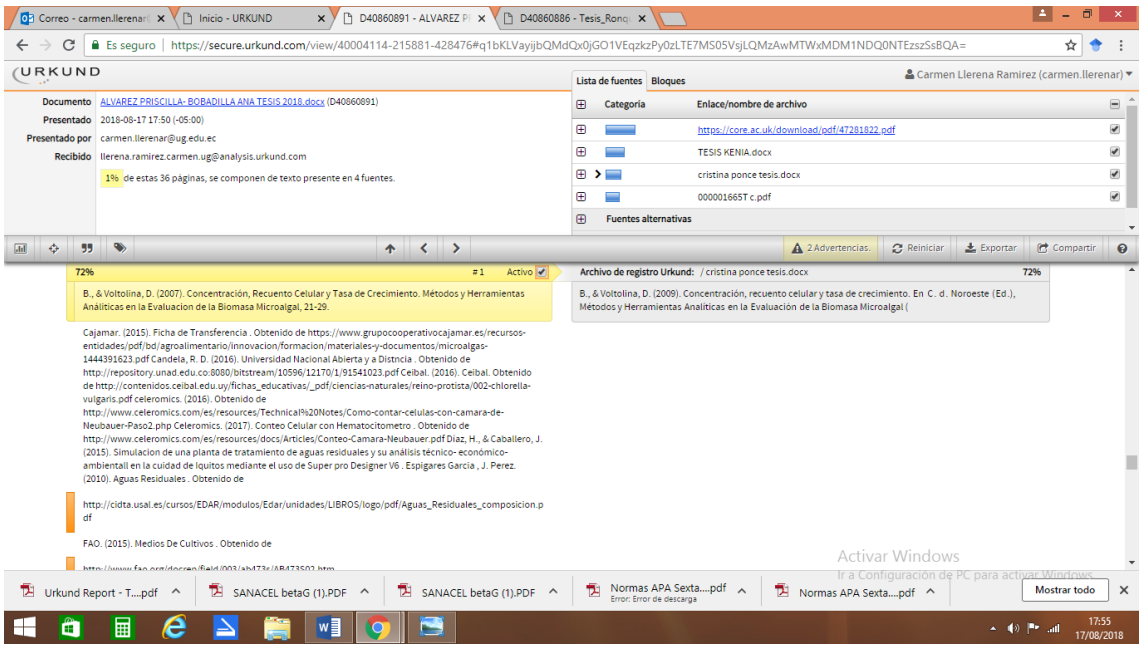
| | | |
|---|---|---|
| **ADJUNTO PDF:** | ✓ SI | NO |
| **CONTACTO CON AUTOR/ES:** | **Teléfono:**<br>0991220465<br>0993009417 | **E-mail:**<br>priscilla.alvarezc@ug.edu.c<br>ana.bobadillaa@ug.edu.ec |
| **CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:** | **Nombre:** Universidad de Guayaquil – Facultad de Ingenieria Química | |
| | **Teléfono:** 04-229-2949 | |
| | **E-mail:** http://www.fig.ug.edu.ec/ | |

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**
**CARREA INGENIERIA QUIMICA**

## CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado DRA. BERMEO GARAY MARTHA, tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por ALVAREZ CASTILLO PRISCILLA STEFANÍA con C.I. 1313179036 y BOBADILLA ABARCA ANA PAULA con C.I. 0950315739, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO QUÍMICO

Se informa que el trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DEL USO DE LA CHLORELLA VULGARIS EN LA REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE, DEMANDA QUÍMICA DEL OXÍGENO EN AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS PAPELERAS A NIVEL DE LABORATORIO" ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio (URKUND) quedando el 1% de coincidencia.




https://secure.urkund.com/view/40004114-215881-428476#q1bKLVayijbQMdQx0jGO1VEqzkzPy0zLTE7MS05VsjLQMzAwMTWxMDM1NDQ0NTEzszSsBQA=

NOMBRE DEL DOCENTE TUTOR
C.I. 0905104790

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**
**CARREA INGENIERIA QUIMICA**

## LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES ACADÉMICOS

Nosotras, ALVAREZ CASTILLO PRISCILLA STEFANÍA con C.I. 1313179036 y BOBADILLA ABARCA ANA PAULA con C.I. 0950315739, certificamos que los contenidos desarrollados en esta trabajo de titulación, cuyo título es "EVALUACIÓN DEL USO DE LA CHLORELLA VULGARIS EN LA REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE, DEMANDA QUÍMICA DEL OXÍGENO EN AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS PAPELERAS A NIVEL DE LABORATORIO" son de nuestra absoluta propiedad y responsabilidad Y SEGÚN EL Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizamos el uso de una licencia gratuita intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la presenta obra con fines no académicos, en favor de la Universidad de Guayaquil, para haga uso del mismo, como fuera pertinente.

**Alvarez Castillo Priscilla Stefanía**
**C.I. 1313179036**

**Bobadilla Abarca Ana Paula**
**C.I. 0950315739**

*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899)

Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**
**CARRERA INGENIERIA QUIMICA**

## CERTIFICADO DEL TUTOR REVISOR

Habiendo sido nombrada yo, SANDRA RONQUILLO CASTRO tutora del trabajo de titulación "Evaluación de uso de la Chlorella Vulgaris en la remoción de Cromo Hexavalente, Demanda Química del Oxígeno en aguas residuales de industrias papeleras a nivel de laboratorio", certifico que el presente trabajo de titulación, elaborado por **Priscilla Stefanía Alvarez Castillo**, con **C.I. 1313179036**; y **Ana Paula Bobadilla**, con **C.I. 0950315739**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Químico, en la Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química, ha sido REVISADO Y APROBADO en todas sus partes, encontrándose apto para su sustentación.

Dra. Sandra Ronquillo Castro
DOCENTE TUTOR REVISOR
C.I. 0910572866

## AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a Dios por permitirme disfrutar de lo maravilloso que es la vida, por iluminar mi camino con entendimiento y así salir adelante en este proyecto que es la vida profesional.

A mis padres por sus cuidados, atenciones y por haberme forjado como la persona que soy; muchos de mis logros se los debo a ustedes queridos y amados padres.

A la Universidad de Guayaquil y docentes por sus esfuerzos permitiéndome el conocimiento necesario para obtener mi objetivo y lograr ser una profesional responsable.

A mis hermanos por su apoyo moral, permitiendome cumplir con humildad y seguir adelante con lo propuesto.

A mi tutora, Dra. Martha Mirella Bermeo Garay, por su sabias enseñas entregadas y asimiladas para mi trabajo de titulación.

Y finalmente a todas las personas que me ayudaron en cada momento de mi vida.

Ana Bobadilla Abarca

## AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme la vida y las fuerzas necesarias para vencer cada obstáculo, a mis padres Manuel Eduardo y Elba María; que siempre estuvieron prestos a apoyar cada proyecto, a fortalecer cada meta y ser los artífices de cada uno de mis logros.

A los docentes que con sapiencia fueron puliendo el intelecto y preparándome para llegar a ser una profesional con sentido de responsabilidad, pertinencia y buscando la excelencia e inculcándome que sólo la educación es la llave para la superación de todo ser humano.

A la Universidad de Guayaquil que me acogió y brindó la oportunidad de ser un ente positivo para la sociedad.

A mi tutora, Dra. Martha Mirella Bermeo Garay por todas y cada una de sus directrices para culminar con éxito este trabajo de investigacion.

A mis amigos con los que compartí largas jornadas de estudio, tareas, noches de insomnio, jornadas deportivas, actividades sociales, viajes, entre otros.; aprendizajes para toda la vida.

En general a todas y cada una de las personas que siempre me apoyaron en todos y cada uno de mis proyectos.

Priscilla Alvarez Castillo

## DEDICATORIA

Una hija agradecida con mis padres Luis Antonio y Angela Leopoldina por su valioso aporte de amor, paciencia y comprensión factores importantes para culminar con éxito mi carrera profesional.

A mi tías y tíos por su apoyo y entendimiento durante toda mi carrera profesional.

Ana Bobadilla Abarca

## DEDICATORIA

A mis padres Manuel Eduardo y Elba María, por todas y cada una de las enseñanzas que, con paciencia y dedicación, disciplina y amor supieron darme en cada uno de los momentos de mi existencia; porque de ellos aprendí que el éxito se logra con tres palabras claves: resistir, persistir e insistir.

A mi hermana Pierina, por compartir lecciones de vida.

A mi abuelita María Carlota por ser un ser lleno de ternura y apoyo cuando siempre lo necesité.

Priscilla Alvarez Castillo

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

# "EVALUACIÓN DEL USO DE LA CHLORELLA VULGARIS EN LA REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE, DEMANDA QUÍMICA DEL OXÍGENO EN AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS PAPELERAS A NIVEL DE LABORATORIO"

**Autores:**

Bobadilla Abarca Ana Paula

Alvarez Castillo Priscilla Stefanía

**Tutora:**

Dra. Martha Mirella Bermeo Garay

## RESUMEN

En el estudio realizado se investigó la evaluación del uso de la *Chlorella Vulgaris* en la remoción de Cromo Hexavalente, Demanda Química de Oxigeno en aguas residuales de industrias papeleras a nivel de laboratorio, para lo cual se establecieron dosificaciones y se evaluaría las condiciones y parámetros (pH, Cr(VI), DQO) con la finalidad de determinar la dosificación optima y obtener el porcentaje de remoción de DQO y Cr (VI) de acuerdo con las normas ambientales estipuladas. Durante la experimentación se realizaron dosificaciones y la mejor dosis fue 85% de agua residual y 15% de microalga *Chlorella vulgaris*, el cual se controló el recuento de la densidad de la *Chlorella vulgaris*, la tasa de crecimiento, porcentaje de remoción del DQO, pH y el porcentaje de remoción del Cr (VI), obteniendo valores positivos, se procedió a realizar una réplica de la mejor dosis y así realizar un promedio del primer y segundo tratamiento realizado al agua residual. Obteniendo una concentración de DQO 106 mg/l con un porcentaje de remoción del 98,11 y una concentración de Cr (VI) 0,015 mg/l con un porcentaje de remoción del 83,51 y por último un pH de 8.40. Por lo tanto, se concluyó que el uso de la *Chlorella vulgaris* en tratamientos de aguas residuales cumple con la capacidad de remover contaminantes presentes y obtener excelentes resultados.

Palabras claves: Chlorella vulgaris, agua residual, tratamiento de agua, industria papelera.

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

# "EVALUACION OF THE USE OF CHLORELLA VULGARIS IN THE REMOVAL OF HEXAVALEN CHROMIUM, CHEMICAL DEMAND OF THE OXYGEN IN WASTEWATER FROM PAPERWORK INDUSTRIES AT THE LEVEL LABORATORY"

**Authors:**

Bobadilla Abarca Ana Paula

Álvarez Castillo Priscilla Stefanía

**Advisor:**

Dra. Martha Mirella Bermeo Garay

## ABSTRACT

In the study carried out, the evaluation of the use of Chlorella Vulgaris in the removal of Hexavalent Chromium, Chemical Oxygen Demand in wastewater from paper mills at the Laboratory level was investigate, for which dosages were established and the conditions and parameters would be evaluated (pH, Cr (VI), COD) in order to determine the optimal dosage and obtain the percentage of COD and Cr (VI) removal in accordance with the environmental standards stipulated. During the experimentation, dosages were carried out and the best dose was 85% of residual water and 15% of Chlorella vulgaris microalgae, which controlled the density of Chlorella vulgaris, the growth rate, percentage of COD removal, pH and the percentage of removal of Cr (VI), obtaining positive values, we proceeded to replicate the best dose and thus perform and average of the first and second treatment performed on wastewater. Obtaining a concentration of COD 106 mg/l with a percentage of removal of 98,11 and a concentration of Cr (VI) 0,015 mg/l with a percentage of removal of 83,52 and finally a pH of 8,40. Therefore, it was concluded that the use of Chlorella vulgaris in wastewater treatment meets the ability to remove contaminants present and obtain excellent results

Keywords: Chlorella vulgaris, wastewater, water treatment, paper industry.

**CONTENIDO**

CARÁTULA……II

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA ..... III

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD..... IV

LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES ACADÉMICOS..... V

CERTIFICADO DEL TUTOR REVISOR..... VI

AGRADECIMIENTO ..... VII

AGRADECIMIENTO ..... VIII

DEDICATORIA ..... IX

DEDICATORIA ..... X

RESUMEN..... XI

ABSTRACT..... XII

CONTENIDO ..... XIII

ÍNDICE DE TABLAS .....XVII

ÍNDICE DE FIGURAS .....XIX

ÍNDICE DE ANEXOS .....XXII

INTRODUCCIÓN ..... 1

CAPÍTULO I ..... 4

1.1 Tema..... 4

1.1.1 Planteamiento del Problema ..... 4

1.2 Formulación del Problema ..... 5

1.2.1 Limitación del Estudio ..... 5

1.2.2 Alcance del Trabajo ..... 5

1.3 Objetivos ..... 5

1.3.1 Objetivo General ..... 5

1.3.2 Objetivos Específicos ..... 5

1.4 Justificación del Problema ..... 6

1.5 Hipótesis ..... 6

1.6 Variables ..... 6

CAPÍTULO II ..... 8

2.1 Marco Teórico ..... 8

2.1.1. Las Microalgas ..... 8

2.1.2 Origen ..... 9

2.1.3 Características ..... 9

2.1.4 Tipos ..... 11

2.1.5 Medios de Cultivos ..... 12

2.1.6 Parámetros de Crecimiento ..... 12

2.1.7 Usos ..... 13

2.1.8 Microalgas en el Tratamiento de Aguas Residuales ..... 13

2.1.1.1 Aguas Residuales ..... 14

2.1.1.2 Concepto ..... 14

2.1.1.3 Propiedades ..... 14

2.1.1.4 Tratamientos de Aguas Residuales ..... 17

2.2 Marco Conceptual ..... 19

2.3 Marco Contextual ..... 21

2.3.1 Diagrama de Flujo del Tratamiento del Agua Residual con el uso de la Chlorella Vulgaris. ..... 24

CAPÍTULO III ..... 25

3.1 Metodología de investigación ..... 25

3.2 Experimentación ..... 26

3.2.1 Equipos y materiales ..... 26

3.2.2 Primera etapa consiste en la obtención del agua residual de la industria papelera ..... 27

3.2.3 Segunda etapa consiste en la obtención de la microalga Chlorella Vulgaris ..... 27

3.2.4 Tercera etapa consiste en la elaboración del medio de cultivo o alimento para las microalgas Chlorella Vulgaris ..... 28

3.2.5 Cuarta etapa consiste en el recuento celular microalga Chlorella Vulgaris. ..... 28

3.2.6 La quinta etapa consiste en la alimentación y división del inóculo de las microalgas Chlorella vulgaris. ..... 31

3.2.7 Sexta etapa consiste en la dosificación de las microalgas en el agua residual de la industria papelera. ..... 32

CAPÍTULO IV ..... 35

4.1 Resultados ..... 35

4.1.1 Resultados del tratamiento de agua residual de papelera con sus respectivas dosificaciones. ..... 35

4.1.2 Dosis optima de Chlorella vulgaris en el agua residual. ..... 38

4.1.3 Resultado del segundo tratamiento con la Dosis optima de Chlorella vulgaris en el agua residual de papelera. ..... 43

4.1.4 Resultados generales de los tratamientos de agua residual con la dosis optima de Chlorella vulgaris. ..... 48

4.2 Análisis y discusión de resultados ..... 48

CONCLUSIONES ..... 50

RECOMENDACIONES ..... 51

ABREVIATURAS ..... 52

BIBLIOGRAFÍA ..... 53

ANEXOS ..... 56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Equipos y materiales ..... 26

Tabla 2 Inóculo y Sustancias ..... 26

Tabla 3 Resultados de las muestras con sus respectivas dosificaciones ..... 35

Tabla 4 Recuento de la densidad de la Chlorella en la muestra 85:15 ..... 39

Tabla 5 Remoción de la Demanda Química de Oxígeno..... 40

Tabla 6 Resultado de Remoción del Cromo Hexavalente - Cr(VI)..... 41

Tabla 7 Resultados del Análisis del Potencial de Hidrógeno - pH ..... 42

Tabla 8 Recuento de la Densidad de la Chlorella vulgaris en el segundo tratamiento con la dosificación 85:15 ..... 44

Tabla 9 Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) ..... 45

Tabla 10 Resultados de Remoción del Cromo Hexavalente - Cr(VI) ..... 46

*Tabla 11 Resultados del Análisis del Potencial – pH*..... 47

Tabla 12 Resultados de los Análisis realizados al agua residual tratada por Chlorella vulgaris ..... 48

Tabla 13 Recuento del Inóculo ‘A’ de Chlorella vulgaris..... 56

Tabla 14 Recuento del Inóculo ‘C’ de Chlorella vulgaris..... 57

Tabla 15 Recuento del Inóculo ‘A’ de Chlorella vulgaris..... 58

Tabla 16 Recuento del Inóculo 'B' de Chlorella vulgaris ..... 59

Tabla 17 Recuento del Inóculo 'D' de Chlorella vulgaris..... 60

Tabla 18 Recuento del Inóculo 'A' de Chlorella vulgaris ..... 61

Tabla 19 Recuento del Inóculo 'C' de la Chlorella vulgaris ..... 62

Tabla 20 Datos de Densidad de la Chlorella vulgaris ..... 63

Tabla 21 Remoción de la Demanda Química de Oxígeno..... 65

Tabla 22 Resultado del Análisis de Remoción de Cr(VI) ..... 66

Tabla 23 Resultados del Análisis del Potencial de Hidrógeno - pH ..... 67

Tabla 24 Datos de la Densidad de la Chlorella vulgaris ..... 67

Tabla 25 Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) ..... 69

Tabla 26 Resultado del Análisis del Potencial de Hidrógeno - pH ..... 70

Tabla 27 Datos de la Densidad de la Chlorella vulgaris ..... 71

Tabla 28 Remoción de la Demanda Química de Oxígeno..... 73

Tabla 29 Resultado del Análisis del Potencial de Hidrógeno - pH ..... 74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cultivo de Chlorella Vulgaris ..... 8

Figura 2 Chlorella Vulgaris vista desde el microscopio..... 8

Figura 3 Toma de muestra de agua residual de la empresa ..... 27

Figura 4 Cultivo de microalgas Chlorella vulgaris..... 28

Figura 5 Cultivo de microalgas Chlorella vulgaris..... 29

Figura 6 Instalación la muestra de Chlorella vulgaris al portaobjeto ..... 29

Figura 7 Visualización de la Chlorella vulgaris en el microscopio..... 30

Figura 8 Visualización de la Cámara de Neubauer ..... 30

Figura 9 Alimentación del Inóculo de Chlorella vulgaris ..... 31

Figura 10 Alimentación del Inóculo de Chlorella vulgaris ..... 31

Figura 11 Alimentación del Inóculo del cuadrante ..... 32

Figura 12 Filtración del agua residual de la empresa papelera ..... 32

Figura 13 Dosificación con Chlorella vulgaris al agua residual ..... 33

Figura 14 Muestras Dosificadas ..... 33

Figura 15 Realización de los análisis de DQO y pH ..... 34

Figura 16 Porcentaje de Remoción del DQO ..... 36

Figura 17 Porcentaje de Remoción de Cr (VI)..... 36

Figura 18 pH inicial y final de las muestras dosificadas con

Chlorella vulgaris ..... 37

Figura 19 Muestra 3 después de 2 días. ..... 38

Figura 20 Muestra 3 después de 8 días. ..... 38

Figura 21 Muestra 3 después de 16 días. ..... 38

Figura 22 Curva de Crecimiento de la Chlorella vulgaris en la

muestra de agua residual de papelera ..... 39

Figura 23 Curva de Decaimiento de DQO en la muestra de agua residual de papelera ..... 40
Figura 24 Curva de Decaimiento de Cr (VI) en la muestra de agua residual de papelera ..... 41
Figura 25 Resultados obtenidos de pH antes y después del tratamiento con Chlorella vulgaris al agua residual de papelera ..... 42
Figura 26 Muestra 3 primer día de dosificación ..... 43
Figura 27 Muestra 3 sexto día de dosificación ..... 43
Figura 28 Muestra 3 décimo de dosificación ..... 43
Figura 29 Curva de Crecimiento de la Chlorella vulgaris en el segundo tratamiento de agua residual ..... 44
Figura 30 Curva de Decaimiento del segundo tratamiento de agua residual con la mejor dosificación de Chlorella vulgaris ..... 45
Figura 31 Curva de Decaimiento de Cr (VI) del segundo tratamiento de agua residual con la mejor dosificación de Chlorella vulgaris ..... 46
Figura 32 Resultados obtenidos de pH antes y después del Segundo tratamiento con la mejor dosificación de Chlorella vulgaris ..... 47
Figura 33 Curva de Crecimiento del Inóculo ' A' ..... 56
Figura 34 Curva de crecimiento del Inóculo 'C' ..... 57
Figura 35 Curva de Crecimiento del Inóculo 'A' ..... 58
Figuras 36 Recuento del Inóculo 'B' de Chlorella vulgaris ..... 59
Figura 37 Curva de crecimiento 'D' del Inóculo Chlorella Vulgaris ..... 60
Figura 38 Curva de Crecimiento del Inóculo 'A' de Chlorella vulgaris ..... 61
Figura 39 Curva de crecimiento del Inóculo ‘C’ de la Chlorella vulgaris ..... 62
Figura 40 Curva de Crecimiento en la muestra 75% A.R y 25% C.v ..... 63

Figura 41 Curva de Decaimiento de DQO en la muestra de agua residual de papelera. ..... 65
Figura 42 Curva de decaimiento de Cr (VI) en la muestra de agua residual de papelera ..... 66
Figura 43 Curva de crecimiento en la muestra 80% A.R y 20% C.v ..... 68
Figura 44 Curva de crecimiento en la muestra 90% A.R y 10% C.v ..... 72
Figura 45 Curva de Decaimiento de DQO en la muestra de agua residual de papelera ..... 73
Figura 46 Bomba de aire ..... 75
Figura 47 Cámara Neubauer y pH-metro ..... 75
Figura 48 Autoclave ..... 75
Figura 49 Reactor nano color ..... 76
Figura 50 Centrífuga ..... 76
Figura 51 Biorreactor para el cultivo de Chlorella vulgaris ..... 76
Figura 52 Cultivos de Chlorella vulgaris ..... 77
Figura 53 Alimentación de cultivo y generaciones de la Chlorella vulgaris ..... 77

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A  Recuento de los Inóculos de Chlorella vulgaris ..... 56

Anexo B  Descripción de las muestras con las diferentes dosificaciones de Chlorella vulgaris ..... 63

Anexo C Equipos Utilizados en el Tratamiento de Agua Residual de una Empresa Papelera ..... 75

Anexo D Informe del Análisis Físico - Químico de la muestra Inicial de Agua Residual de una Empresa Papelera..... 78

Anexo E Informe del Análisis Físico - Químico de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera Tratada con Chlorella vulgaris..... 79

Anexo F Informe del Análisis de Cr(VI) de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera Tratada con Chlorella vulgaris en la muestra 1 y 3 (A y B) ..... 80

Anexo G Informe del Análisis de Cr(VI) de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera Tratada con Chlorella vulgaris en la muestra 1 y 3 (C y D)..... 81

Anexo H  Informe del Análisis de Cr(VI) de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera Tratada con  Chlorella vulgaris en la muestra 1 y 3(E y F ) ..... 82

Anexo I Informe del Análisis de Cr(VI) de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera Tratada con Chlorella vulgaris en la muestra 1 y 3 (G y H)..... 83

Anexo J Informe de Cr (VI) de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera Tratada con Chlorella vulgaris en el Segundo Tratamiento de la muestra 3(I) ..... 84

Anexo K Informe del Análisis de Cr(VI) y DQO de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera en el Segundo Tratamiento de la muestra 3 (J) ..... 85

Anexo L Normativa de Limites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce ..... 86

# INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el uso de las microalgas ha generado alternativas viables con el fin de solucionar problemas ambientales, alimenticios y obtención de productos con valor agregado. Las microalgas son organismos unicelulares autótrofos que tienen la capacidad de realizar fotosíntesis y utilizan como fuente inorgánica el carbono y el dióxido de carbono; además las microalgas necesitan luz para su crecimiento y nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, macronutrientes y micronutrientes), que se encuentran principalmente en el agua (Fernandez J. , 2014).

Estos microorganismos, en la actualidad se han convertido en una alternativa en el área industrial; puesto que, a la hora de implementar estrategias amigables con el medio ambiente, el uso de las microalgas para tratar aguas residuales es un buen aliado. La fortaleza de trabajar con las microalgas se debe a que los insumos o elementos que requieren para su crecimiento y sus funciones se encuentran en la luz y el agua. De allí se convierte en una alternativa para tratar aguas residuales. Por otra parte, se estaría cumpliendo con normativas de cuidado y preservación de los ecosistemas que se ven altamente afectados por agentes contaminantes.

La realización de la fotosíntesis en las microalgas es igual que en las plantas superiores ya que lleva acabo la transformación de los compuestos inorgánicos encontrados en el agua como C, S, N, $SO_4$, $NO_3$ y $CO_2$ a materia orgánica a través de su reducción asimiladora e incorporar dichos compuestos a su estructura para después producir aminoácidos, lípidos y diferentes intermediarios, con la finalidad de liberar oxígeno a la atmósfera (Ruiz, 2015).

La *Chlorella vulgaris* actualmente es usada en el campo biotecnológico para obtener resultados óptimos en la remoción de compuestos. Según reportes sobre el uso de microalgas en tratamiento de aguas residuales industriales de origen agroindustrial, describen la influencia del funcionamiento de las microalgas en condiciones de temperatura, luz, tiempo de retención y de la eficiencia de remoción de nutrientes y materias orgánica, con la finalidad de potencializar la biomasa resultante en productos de valor agregado (Hernández, y otros, 2015).

Este trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de aguas residuales de industrias papelera, en el cual se analizaron la remoción de Cromo Hexavalente y la Demanda Química del Oxígeno, estableciendo la adaptación, condiciones y dosificación de la *Chlorella vulgaris* en el agua residual.

En el marco teórico se ha realizado una recopilación de información relevante sobre estudios e investigaciones relacionadas al tema objeto de análisis, sin embargo, por la importancia que representa poder hacer uso de la microalga *Chlorella vulgaris* urge que se realicen mayores investigaciones que contribuyan a incentivar al sector industrial sobre el uso y los beneficios que estos microrganismos aportan a sus procesos industriales y de esta manera se logra mantener un equilibrio con los diversos ecosistemas que se ven afectados por descargas de aguas contaminadas.

En cuanto a los resultados obtenidos a partir de las muestras analizadas se pudo despejar dudas al respecto de lo positivo de utilizar las algas para descontaminar

lugares donde han sido deteriorados y contaminados de una manera irresponsable.

Para la metodología se inició con una investigación bibliográfica, se realizaron visitas a fábricas para obtener las muestras de aguas, también se aplicaron pruebas de laboratorio y el control permanente de observar el comportamiento de los microrganismos durante el tiempo que se estimó para el desarrollo del trabajo de investigación.

# CAPÍTULO I

## 1.1 Tema

Evaluación del uso de la *Chlorella vulgaris* en la remoción de Cromo Hexavalente, Demanda Química del Oxígeno en aguas residuales de industrias papeleras a nivel de laboratorio.

### 1.1.1 Planteamiento del Problema

La innovación tecnológica, la modernización de los procesos industriales, los controles de calidad y la tendencia de crear productos amigables con el medio ambiente han revolucionado el mercado mundial. El usar microalgas para el tratamiento de aguas residuales, es de gran utilidad porque éstas soportan y se adaptan fisiológicamente al estrés por el tipo de contaminación del agua residual, es un método económico con resultado de un efluente de mejor calidad.

Las industrias papeleras presentan un problema general que es la contaminación medioambiental, el cual afecta a la fauna y flora del medio. Las papeleras son unas de las mayores consumidoras de agua y energía por lo cual las descargas de aguas son elevadas, lo cual requieren un tratamiento para cumplir los límites máximos permisibles de descargar de aguas residuales, cumpliendo con el Acuerdo Ministerial N°097A, el cual sustituye el libro VI del texto unificado de legislación secundaria.

La contaminación que se encuentra presente en este tipo de aguas residuales son bacterias, protozoarios, hongos, sustancias tóxicas, las que alteran las condiciones de descarga.

## 1.2 Formulación del Problema

### 1.2.1 Limitación del Estudio

- Este proyecto está enfocado en la evaluación de la *Chlorella vulgaris* en la remoción de Cromo Hexavalente, Demanda Química del Oxígeno en aguas residuales de papelera.
- El proceso de investigación es técnico, experimental, para el tipo de agua residual de papelera que es difícil de tratar por su complejidad.

### 1.2.2 Alcance del Trabajo

Este proyecto pretende mejorar la calidad del agua residual que se va a tratar en este tipo de industria logrando una mejor calidad de agua residual que cumpla con los requisitos máximos permisibles. **(ANEXO L)**

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

- Evaluar el uso de la *Chlorella vulgaris* para la remoción de Cromo Hexavalente, Demanda Química del Oxígeno en aguas residuales de industrias papeleras a nivel de laboratorio.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer las condiciones de cultivo de la *Chlorella vulgaris* para un adecuado crecimiento a escala laboratorio.
- Adaptar la *Chlorella vulgaris* un nuevo sustrato, caso: agua residual de industria papelera.

- Determinar los porcentajes de remoción de Cromo Hexavalente y la Demanda Química del Oxígeno mediante experimentación con microalga *Chlorella Vulgaris*.

## 1.4 Justificación del Problema

El uso del tipo de agua residual se justifica, debido que constituye un problema de contaminación al medioambiente, las descargas de aguas residuales de industrias papelera son altas, por lo tanto, se deben tratar con tratamientos biológicos. El color característico de éstas aguas residuales presenta un problema ambiental el mismo que se debe tratar, para una disminución de contaminantes, y cumplir con los parámetros de descarga según las normas vigentes de la Ley de Medio Ambiente.

El presente estudio pone como manifiesto la importancia de una buena gestión del agua en la industria papelera

## 1.5 Hipótesis

El uso de la *Chlorella vulgaris* contribuye positivamente en la remoción de Cromo Hexavalente, Demanda Química del Oxígeno en aguas residuales a nivel de laboratorio, y permite cumplir con los límites máximos permisibles de descargas.

## 1.6 Variables

En este proyecto de investigación se tomó en consideración las siguientes **variables independientes (V.I), variable dependiente (V.D) y de variables intervinientes (V. IN):**

**V.I:** Uso de microalga *Chlorella vulgaris* (tratamiento biológico; mediante un reactor).

**V.D:** Remoción de metales pesados de aguas residuales (parámetros físicos, químicos, biológicos).

**V.IN:** Medio ambiente (pH).

# CAPÍTULO II

## 2.1 Marco Teórico

### 2.1.1. Las Microalgas

En términos biológicos las microalgas son microorganismos que contienen pigmentos en su estructura que permite realizar la fotosíntesis oxigénica. Dentro de las microalgas se las puede identificar mediante dos tipos celulares, las de tipo celular procariota que son conocidas como las cianobacterias y los tipos celulares procariota (Gomez, 2015 ).

Según (Gomez, 2015 ), las microalgas son microorganismos que con la capacidad de realizar procesos fotosintéticos autótrofos o heterótrofos, es decir que son microorganismo que produce su propio alimento a partir de materia inorgánica. Estas microalgas se pueden encontrar en todos los lugares que contengan aguas como lagunas, mares, ríos y muchas veces se en los suelos.

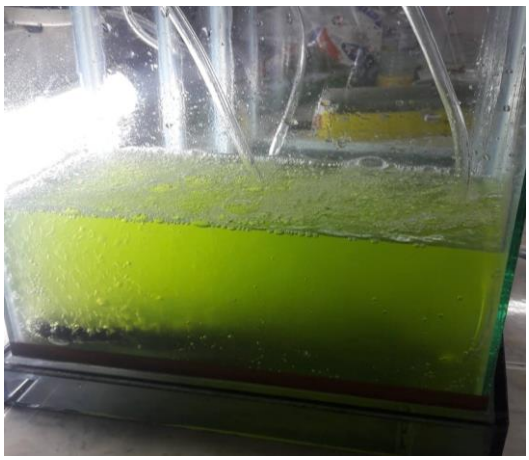


***Figura 1. Cultivo de Chlorella Vulgaris***

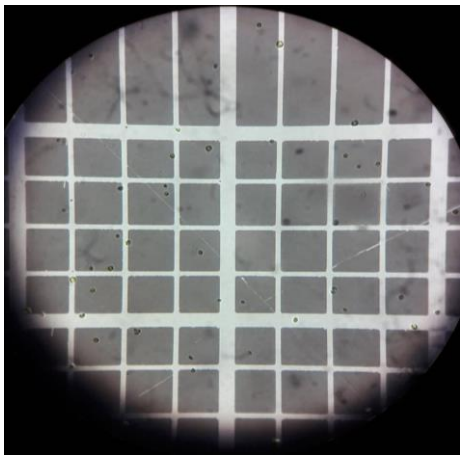


***Figura 2. Chlorella Vulgaris vista desde el microscopio***

Elaborado**:** (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018)**.**

### 2.1.2 Origen

Las microalgas son microorganismos que han evolucionado desde el origen de la tierra, donde se han adaptado a los distintos ecosistemas, colocándose en la base de la cadena trófica de otros organismos (Maria Cristina Guaman , Nory Gonzalez Romero , 2016).

A pesar que las microalgas existen desde hace millones de años aún siguen visibles en el entorno y no se han extinguido debido a esto, surge el interés de la investigación de los microorganismos, su manera de conservación y el endemismo que existen en las zonas de alta biodiversidad debido a que son zonas con diferentes climas, condiciones geográficas (Maria Cristina Guaman , Nory Gonzalez Romero , 2016).

### 2.1.3 Características

Las microalgas son organismos que pueden diferenciarse en células procariotes y eucariotes, donde las células procariotas son las que carecen de orgánelos con membrana como las cianobacterias y las eucariotas son las que contiene una pared celular compuesta de orgánelos (Maria Cristina Guaman , Nory Gonzalez Romero , 2016).

El tamaño de las microalgas oscila entre 5 y 50 micrómetros, este tamaño les facilita a que sean digeribles para los otros microorganismos (Candela, 2016).

Gran parte de los grupos de las microalgas son fotoautótrofos, es decir que son organismos que realizan fotosíntesis con la ayuda del sol y el dióxido de carbono, (Maria Cristina Guaman , Nory Gonzalez Romero , 2016).

Con respecto a la pigmentación de las microalgas se dividen en tres grupos de moléculas: clorofilas, carotenoides y ficobilinas, donde el color verdoso que caracteriza a las microalgas es por las clorofilas, los pigmentos están ubicados en las membranas fotosintéticas (Maria Cristina Guaman , Nory Gonzalez Romero , 2016).

Las algas contienen productos almacenamientos como los carbohidratos de bajo y alto peso molecular, se sabe que los de alto peso molecular corresponde a los glucanos y por ende los de bajo peso molecular son la sacarosa y trehalosa (Maria Cristina Guaman , Nory Gonzalez Romero , 2016).

Las microalgas pueden reproducirse por una sola célula o por la fragmentación de una colonia es decir de forma asexual (Maria Cristina Guaman , Nory Gonzalez Romero , 2016).

Con respecto al crecimiento de las algas se desarrollan mediante 5 fases (Candela, 2016).

El primer paso consiste en la fase de inducción, este proceso puede durar entre uno a tres días y es donde inicia el proceso de adaptación del medio es decir que aún no comienza la división celular simplemente se realiza los ajustes a las condiciones bioquímicas de los cultivos (Candela, 2016).

El segundo paso consiste en la fase exponencial, este proceso tiene cuatro días de duración, es donde las células se han adaptado al medio y por ende comienza la multiplicación (Candela, 2016).

El tercer paso consiste en la fase estacionaria, este proceso es donde la población de las microalgas es constante, es decir no hay crecimiento (Candela, 2016).

El cuarto paso consiste en la fase declinación relativa del crecimiento en donde este proceso dura entre uno a dos días. En este proceso se va disminuyendo la división celular y es donde se van agotando los nutrientes (Candela, 2016).

El quinto paso consiste en la fase de muerte, este proceso consiste en el aumento de bacterias, hongos. Para que el proceso de crecimiento se lleve a cabo se debe cumplir ciertos parámetros como la iluminación, temperatura, salinidad, aireación (Candela, 2016).

### 2.1.4 Tipos

Entre los tipos de microalgas se dividen en diferentes grupos: las fotoautótrofas se entiende por la utilización de la energía solar y se reproducen de la materia inorgánica, las fotosheterótrofos solo se reproducen con compuestos orgánicos como fuente de carbono, de la misma forma existen microalgas mixotroficas donde pueden ser microalgas por procesos fotoautótrofos y fotosheterótrofas debido a que la energía proviene tanto de la luz solar como de los compuestos orgánicos (Candela, 2016).

Otros tipos de microalgas son las de agua fresca en esta ocasión depende de los factores bióticos y abióticos, estas microalgas se encuentran en lugares que su agua contenga concentraciones elevadas de calcio y un pH con valores bajo (Candela, 2016).

Existen diferentes patrones de distribución predominante como los acuatorios lóticos y lenticos, el primero se entiende por acuatorios lóticos de aguas correntosas, es decir, que está en constante movimiento en donde permite la buena oxigenación y por ende la regeneración de sus nutrientes y con respecto a los acuatorios lenticos se caracteriza por el reposo de su agua(Gomez, 2015 ).

### 2.1.5 Medios de Cultivos

Los medios de cultivos es una solución que está compuesta de micronutrientes y sustancias orgánicas, cuya finalidad es permitir el crecimiento de las microalgas, se sabe que los medios de cultivos se desarrollan según el tipo de microalgas (FAO, 2015).

Existen diferentes medios de cultivo:

- Medio CHU 10 modificado por Gerloff, este tipo de cultivo es utilizado para el aislamiento de microalgas de ambientes oligotróficos y eutróficos (FAO, 2015).
- Medio de YASHIMA, este tipo de cultivo sirven para cultivo masivo de algas verdes (FAO, 2015).
- Medio Guillar F/2, para su elaboración puede utilizarse agua de mar o agua destilada, específicamente este medio es utilizado para el cultivo de algas marinas (Gyllard , Ryther, 2015).

### 2.1.6 Parámetros de Crecimiento

La mayoría de los factores que influyen en el crecimiento de las microalgas son físico químicos, bióticos y abióticos (Merino, 2017).

- **Luz:** Proporciona energía a la microalga para que pueda generar nueva biomasa, por lo tanto, es el motor de crecimiento además acompañado por nutrientes (Fernandez J. M., 2014).
- **Temperatura:** Dependiendo de la especie los rangos de temperatura varía, en el caso de la *Chlorella vulgaris* la temperatura oscila entre 22 °C a 30 °C (Merino, 2017).

- **pH:** Un óptimo pH para el crecimiento varía según la especie, para el caso de la *Chlorella vulgaris* un pH de 8 es el más adecuado (Merino, 2017).
- **Nutrientes:** Son concentraciones que debe estar vinculado con la biomasa, de forma que aporte con las cantidades suficientes. Los principales nutrientes (carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo, macronutrientes y micronutrientes) (Fernandez J. M., 2014).

### 2.1.7 Usos

Actualmente se han realizado investigaciones del uso de las microalgas y una de ellas consiste en la retención de los metales pesados del agua residual, este proceso se denomina biosorción, en donde la superficie de la pared celular de las microalgas interactúa con los metales presentes en el agua residual (Norma Cuizano , Abel Navarro , 2008).

Otro de los usos es la remoción de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales en donde la *Chorella vulgaris* tiene una eficiencia de remoción de 86% para nitrógeno inorgánico y fósforo inorgánico (Norma Cuizano , Abel Navarro , 2008).

A estas microalgas una vez ya realizado su proceso de tratamiento de agua residual, esta biomasa es aprovechada en distintos campos dependiendo de las propiedades de las microalgas, pueden ser utilizadas como biofertilizantes, ácidos grasos poliinsaturados, pigmentos, cosmética, producción de biocombustibles, alimentación y salud humana (Norma Cuizano , Abel Navarro , 2008).

### 2.1.8 Microalgas en el Tratamiento de Aguas Residuales

La utilización de microalgas ha sido desarrollada como un tratamiento secundario o terciario en aguas residuales, y ha demostrado ser eficientes en la

remoción de una amplia gama de sustancias, orgánicas, así como nutrientes y metales pesados. Las microalgas son usadas para asimilar y descomponer nutrientes, materia orgánica e inorgánica. Presentan una serie de ventajas en su implementación que dependerán del tipo de efluente a tratar y las condiciones de operación (Celis, Junod, & Sandoval, 2005).

Dentro de los grupos de microalgas que se destacan y son mayormente utilizada en el tratamiento de aguas residuales como las especies de *Scenedesmus quadricauda, Chlorella miniata, Chlorella vulgaris y Chlorella soroiniana* (Candela, 2016).

#### 2.1.1.1 Aguas Residuales

#### 2.1.1.2 Concepto

Las aguas residuales provenientes de diferentes actividades se caracterizan por la pérdida de su calidad, es decir que es agua contaminada y debido a esto se le debe realizar un tratamiento de agua residual previo a su descarga hacia el medio acuático como ríos, mares, estéreos (Gonzalez, 2015).

#### 2.1.1.3 Propiedades

Entre las propiedades de agua residual se toman en cuenta los componentes físicos, químicos y biológicos (Espigares Garcia , J. Perez, 2010).

***Entre las características físicas del agua residual están:***

- Temperatura: Depende del origen de procedencia, tienen un rango entre 10 ℃ y 21 ℃ , esto puede causar una modificación a las aguas receptoras de la flora y fauna. (Espigares Garcia , J. Perez, 2010).

- Turbidez: Esta provoca que los rayos de luz no puedan penetrar al agua debido a la gran cantidad de materia suspendida (Espigares Garcia , J. Perez, 2010).
- Color: Tiene un color pardo o gris debido a los procesos biológicos anóxicos, en donde muchas veces puede llegar a ser negra el color del agua (Espigares Garcia , J. Perez, 2010).
- Olor: El agua residual desprende gases con olores característicos a la putrefacto con respecto pase el tiempo el olor aumenta (Espigares Garcia , J. Perez, 2010).

***Entre las características químicas del agua residual están:***

- Las proteínas en un 40 – 60%, carbohidratos en un 25- 50 % u grasas y aceites 10 % (Espigares Garcia , J. Perez, 2010).
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): esta demanda consiste en la cantidad necesaria de oxígeno para la degradación de la materia orgánica que se encuentra en el agua, es una prueba que dura a aproximadamente entre 3 a 5 días se lo realiza a una temperatura de $20\ °C$ (Espigares Garcia , J. Perez, 2010).
- Demanda química de oxígeno (DQO): esta demanda química permite determinar la cantidad de materia orgánica mediante la cantidad de oxigeno necesaria para oxidarlas, para que se dé a cabo la oxidación se necesita de un oxidante químico como es el permanganato potásico (Espigares Garcia , J. Perez, 2010).
- Materia inorgánica: dentro de los compuestos inorgánicos en las aguas residual están los cloruros, nitrógenos, fósforo, azufre, compuestos

tóxicos, metales pesados (elementos tóxicos como cobre, boro, plomo, plata, arsénico) (Espigares Garcia , J. Perez, 2010).

***Entre las características biológicas del agua residual están:***

- Las aguas residuales, dependiendo de su composición y concentración, pueden llevar una gran cantidad de organismos como bacterias, virus, algas, protozoos, hongos (Espigares García & Pérez López, 2003).
- Bacterias: su origen puede ser fecal o bacterias implicadas en los procesos de biodegradación, tanto en la naturaleza como en el tratamiento (Espigares García & Pérez López, 2003).
- Virus: proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales (Espigares García & Pérez López, 2003).
- Algas: su crecimiento esta favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos tales como hierro y cobalto (Espigares García & Pérez López, 2003).
- Protozoos: se encuentran frecuentemente en las aguas residuales, estos organismos juegan un papel importante en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y fangos activados. Pueden eliminar bacterias suspendidas en el agua, ya que estos no se sedimentan, evitando la producción de efluentes con turbidez (Espigares García & Pérez López, 2003).

- Hongos: la mayoría son aerobios, pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno. Esto les hace desempeñar una función importante en el tratamiento de aguas residuales industriales (Espigares García & Pérez López, 2003).

#### 2.1.1.4 Tratamientos de Aguas Residuales

Según (Díaz & Caballero, 2015) la presencia de agentes como bacterias y algas en los cuerpos hídricos que ayudan a descomponer los desechos y transformarlos en sustancias menos complejas como dióxido de carbono, nitrógeno y además de otros microorganismos que absorben ciertas sustancias inorgánicas. Al momento de introducir agentes extraños a cuerpos hídricos que se encuentren fuera de las concentraciones de los límites permisibles, no se genera la autodepuración natural de ese cuerpo hídrico generando el uso de un tratamiento para esta agua.

El proceso habitual es el tratamiento de las aguas residuales en lo cual se dividen en etapas:

- **PRETRATAMIENTO:** el objetivo de esta etapa es la eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos, la cual no afecta a la materia orgánica.
- **TRATAMIENTO PRIMARIO:** su función principal es remover los sólidos suspendidos flocúlenos mediante la sedimentación o floculación y en algunos casos se utiliza la coagulación como ayuda para el proceso de sedimentación.

- **TRATAMIENTO SECUNDARIO:** el propósito de este tratamiento es reducir la materia orgánica una vez superado las fases previas como: pretratamiento y tratamiento primario.
- **TRATAMIENTO TERCIARIO:** el objetivo principal de este tratamiento es eliminar la carga orgánica, microorganismos patógenos, eliminar color, olores indeseables, fosfatos, detergentes y nitratos residuales que quedaron sobrantes del tratamiento secundario.

## 2.2 Marco Conceptual

- **AGUA RESIDUAL:** se considera como agua residual aquella que proviene del uso industrial, doméstico y de otras actividades industriales donde son generan a partir de los procesos y operaciones de cada industria otorgando un agua que ha sufrido alteraciones en su calidad (TULSMA, Norma de Calidad Ambiental y Descarga De Efluentes, 2015).
- **METALES PESADOS:** son aquellos elementos que tienen un mayor número atómico de 22 a 34 y 40 a 52, los cuales son específicamente los del grupo lantánidos y los actínidos, en donde se pueden considerar como un metal pesado a todos que dispongan de una densidad relativa mayor de cuatro o cinco (TULSMA, Norma de Calidad Ambiental y Descarga De Efluentes, 2015).
- **ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL:** dentro de lo análisis fisicoquímicas de agua residual permite identificar el contenido de carga de los contaminantes, como los metales pesados, pH, color, DBO, DQO, sólidos totales, sólidos totales disueltos, sólidos suspendidos, aceites y grasas (UPCT, 2015).
- **MICROOALGAS:** son microrganismos unicelulares donde son microrganismo que necesita de la luz solar para producir biomasa, estas microalgas se las pueden encontrar en el suelo, aire (Cajamar, 2015).
- **CHLORELLA VULGARIS**: la *Chlorella* es una microalga que pertenece al reino protista específicamente la *Vulgaris*, es una microalga unicelular, su color verde es debido a los cloroplastos, donde su función es llevar a cabo la fotosíntesis, el tamaño de la microalga Chlorella *vulgaris* oscila entre los 100 y 1000 veces menor a 1 mm (Ceibal, 2016).

- **RECUENTO CELULAR:** el recuento se da en el microscopio, para lo cual es importante escoger el tamaño de muestra, la dilución, el tipo de cámara de recuento, el objetivo del microscopio y la técnica de llenado, la mayoría de los laboratorios aplican a la utilización de la cámara de recuento Neubauer hematocitómetro de 0.1 mm de profundidad con reglilla de Neubauer, consta de nueve cuadros con lados de 1mmm cada uno de los cuales corresponde a un volumen de 0.1$\mu$L. El cuadro central está dividido en 25 cuadros, cada uno con un área de 0.04 $mm^2$, para cultivos con menos concentración se sugiere el recuento de los cuatro cuadrantes (A, B, C, D) y algunos expertos aconsejan contar un cuadrante adicional seleccionado en el centro (E) (Arredondo & Voltolina, 2007).
- **CÁMARA DE NEUBAUER:** es una placa que tiene forma de portaobjetos cuya función es permitir el conteo visual de células, contiene dos partes de conteo una cámara superior y otra cámara inferior. (Celeromics, 2017).
- **CURVA DE CRECIMIENTO:** es una gráfica donde se representa las etapas de crecimiento de la población de la *Chlorella vulgaris* versus el tiempo. En esta curva muestran la primera fase lag, la segunda fase de aceleramiento, la tercera fase exponencial, la cuarta fase de desaceleración del crecimiento, la quinta fase estacionaria y la sexta fase de muerte (Julian Cartagena , Brian Malo, 2017).
- **PROCESO DE BIOACUMULACIÓN:** es un proceso que utiliza biomasas vivientes (microalgas) con el fin de eliminar metales pesados (Norma Cuizano , Abel Navarro , 2008).

## 2.3 Marco Contextual

El presente trabajo de titulación va encaminado a la evaluación del uso de la microalga *Chlorella Vulgaris* en la remoción de Cromo Hexavalente, Demanda Química del Oxígeno en aguas residuales de industrias papeleras a nivel de laboratorio, donde se espera cumplir con todos los objetivos estipulados como establecer las condiciones que necesita la microalga *Chlorella vulgaris* para su adecuado crecimiento a nivel de laboratorio, realizar la adaptación de la microalga *Chlorella vulgaris* al agua residual de papelera y seleccionar las condiciones de remoción de Cromo Hexavalente y de la Demanda Química de Oxígeno mediante la utilización de la microalga *Chlorella vulgaris*.

Con respecto a la metodología para la obtención del agua residual tratada por la *Chlorella vulgaris*, previamente a los procesos, todos los materiales deben estar esterilizados para evitar la contaminación de la microalga, la primera etapa es la obtención del agua residual, que fue obtenida en una industria papelera de la provincia del Guayas, Ecuador. Como segunda etapa es la obtención de la microalga *Chlorella vulgaris,* obtenida del CENAIM y posterior se realizó la siembra de la microalga en una pecera con sus respectivas divisiones con un flujo de oxígeno de 3 l/min y una intensidad de luz 12:12, se usó papel film con la finalidad de cubrirlas y protegerlas de microorganismos externos, la tercera etapa es la elaboración del medio de cultivo o alimento para la microalga *Chlorella vulgaris,* los nutrientes a usar son el Fito Bloom y el Fosfato de sodio, el cual se los peso y disolvió con agua destilada y por ultimo autoclavada, la etapa cuarta consiste en el recuento celular de la microalga Chlorella vulgaris mediante el uso de la cámara Neubauer y microscopio, la quinta etapa consiste en la alimentación y división del inóculo de la microalga *Chlorella vulgaris* y como

etapa final se procedió a la dosificación de la microalga *Chlorella vulgaris* en el agua residual de la industria papelera, los parámetros y análisis a controlar durante el tiempo de experimentación fueron Demanda Química del Oxígeno, Cromo Hexavalente, Potencial de Hidrógeno, la densidad de la *Chlorella Vulgaris*, cumpliendo las normas ambientales para obtener resultados positivos y favorecedores. Este trabajo fue realizado en las instalaciones del Laboratorio Planta Piloto de Aguas y Ambiente de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.

Distintos reportes sobre el uso de sistemas basados en microalgas para el tratamiento de aguas industrias de origen agroindustrial ha descrito principalmente la influencia de factores vitales para su funcionamiento como la temperatura, el suministro de luz, el tiempo de retención hidráulica y la eficiencia en la remoción de nutrientes y materia orgánica, sin embargo la eficiencia de los fotobiorreactores debe evaluarse teniendo en cuenta las características químicas de la biomasa, con el objetivo de potencializar y valorizar la biomasa resultante, como es el caso de los biocombustibles (Hernández, y otros, 2015).

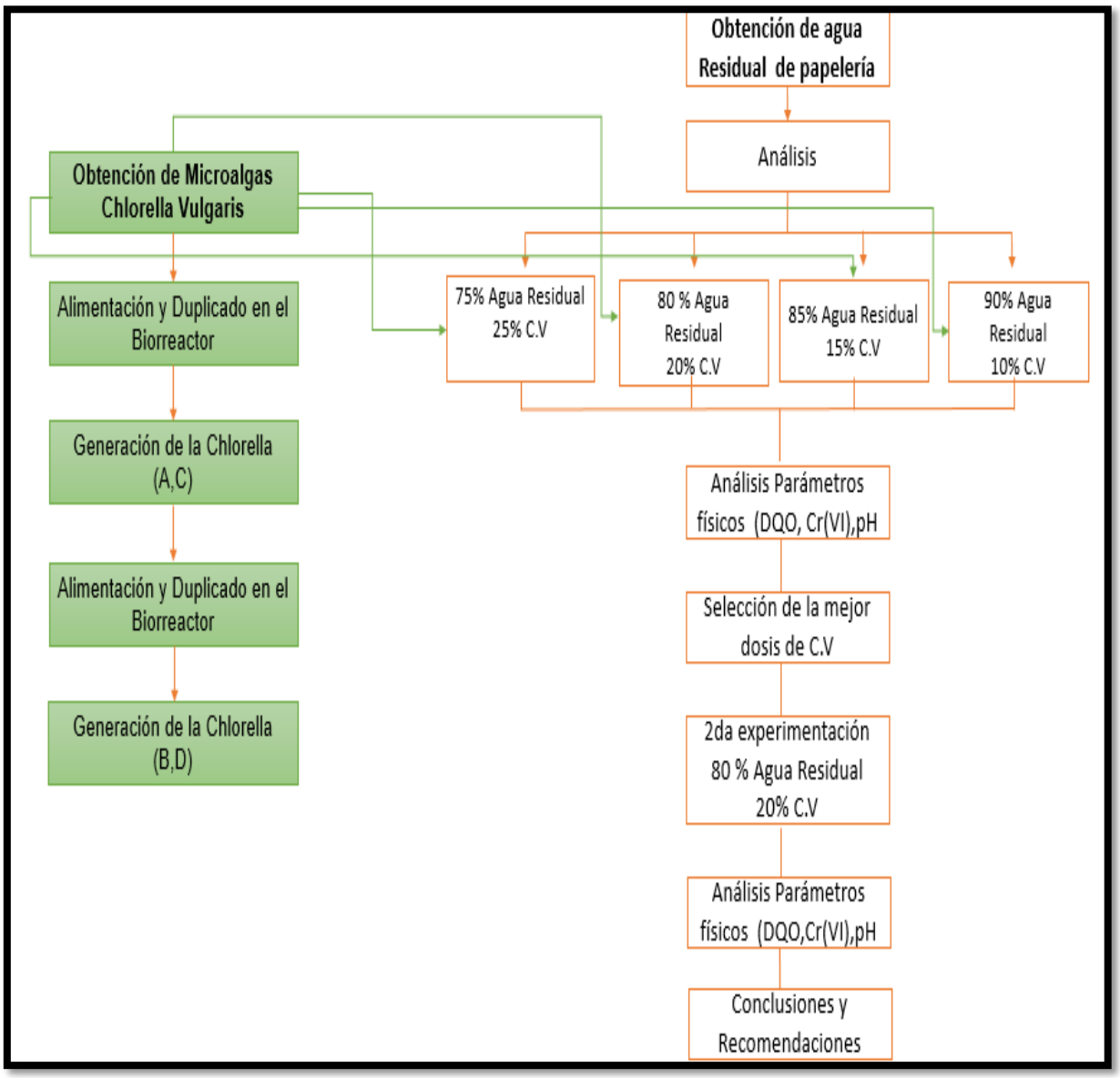
La elección de la cepa es un aspecto preponderante si se pretende obtener resultados óptimos en términos de crecimiento y una excelente capacidad de remoción de los nutrientes, según (Chacón, Andrade, Cárdenas, Araujo, & Morales, 2004), con el objetivo de probar la eficacia de *Chlorella sp. y Scenedesmus sp*, en la remoción de nitrógeno, fósforo, entre 44,0% y 48,7% y el DQO entre 54,8% y 55,8% favorecen el uso potencial de la *Chlorella sp y Scenedesmus sp*, para el tratamiento de aguas residuales.

La microalga *Chlorella vulgaris* ha llamado la atención en el campo de la biotecnología, al convertirse en una interesante fuente de biomasa para el sector

de la producción de biodiesel (Cleber, Sant'Anna, Villela da Costa Braga, & Barcelos, 2006). También se ha reportado un incremento en la capacidad de asimilación de nutrientes y en su crecimiento, lo que conlleva plantearse que la microalga *Chlorella vulgaris* sea utilizada en el desarrollo de procesos de biorremediación, a partir de la facilidad para adaptarse y su acelerado crecimiento en el medio (Brennan & Owende, 2010).

Según (Travieso, y otros, 2008) los resultados de los experimentos con las microalgas de la especie *Chlorella vulgaris* contribuyeron a la capacidad de remoción del nitrógeno y fósforo, permitiendo presentar resultados superiores al 85% y en el caso del parámetro sólidos totales a resultados superiores al 90%.

### 2.3.1 Diagrama de Flujo del Tratamiento del Agua Residual con el uso de la Chlorella Vulgaris.




Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

# CAPÍTULO III

## 3.1 Metodología de investigación

El presente trabajo de investigación fue realizado en el laboratorio Planta Piloto de Aguas y Ambiente de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil. Durante el procedimiento se realizaron pruebas experimentales con la finalidad de evidenciar la eficacia de la *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de aguas residuales de papelería, para lo cual se establecieron dosificaciones y se evaluaría el control de los parámetros físicos químicos como pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Cromo Hexavalente con la finalidad de determinar la dosificación optima y obtener un porcentaje de remoción de acuerdo con las normas ambientales establecidas:

- ACUERDO MINISTERIAL 097: REGISTRO OFICIAL – EDICIÓN ESPECIAL N° 387,2015
- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 169:98 “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACION DE MUESTRAS”.
- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 176:1998 “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO”.

## 3.2 Experimentación

### 3.2.1 Equipos y materiales

Para la respectiva realización de la experimentación se utilizaron los siguientes equipos, materiales, inóculo, sustancias:

**Tabla 1**

Equipos y materiales

| Equipo | Materiales |
|---|---|
| Reactor Nano Color | Matraz Erlenmeyer 1000ml |
| Espectrofotómetro | Cámara de Neubauer |
| Medidor de pH | Beacker |
| Bombas de Aireación | Tubos de Ensayo |
| Difusores de Aire | Pecera |
| Microscopio | Guantes |
| Balanza Analítica | Kits de DQO |
| Autoclave | Fito Bloom |
| Mufla | Fosfato de Sodio |
| | Pipeta Automática |
| | Cubreobjetos |
| | Lámparas |
| | Papel Film |
| | Papel de Aluminio |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

**Tabla 2**

Inóculo y Sustancias

| Inóculo | Sustancias |
|---|---|
| 3.5 litros de inóculo de microalga *Chlorella vulgaris* | Agua de mar tratada y autoclavada |
| | Agua destilada |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

### 3.2.2 Primera etapa consiste en la obtención del agua residual de la industria papelera

- El agua fue obtenida de una industria papelera la cual se encuentra en la provincia del Guayas, Ecuador.
- Con la ayuda del analista de agua residual de la empresa de Papelera, se obtuvieron los galones con agua residual antes de ingresar al proceso de la clarificación**.**

***Figura 3. Toma de muestra de agua residual de la empresa***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

### 3.2.3 Segunda etapa consiste en la obtención de la microalga Chlorella Vulgaris

- La *Chlorella vulgaris* se la obtuvo del Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM), donde está ubicado en la entrada de San Pablo de la provincia de Santa Elena, Ecuador.
- Se compró 3.5 litros de inóculo de microalga *Chlorella vulgaris*
- Previamente a este paso, se esterilizaron todos los materiales a utilizar. Una vez obtenido las microalgas se las sembró en una pecera con cuatro divisiones, con su respectivo flujo de oxígeno de 6 l/min, intensidad de la luz 12:12 y por ende se le coloco papel film para evitar el ingreso de microorganismo que puedan afectar al cultivo.

***Figura 4. Cultivo de microalgas Chlorella vulgaris***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

### 3.2.4 Tercera etapa consiste en la elaboración del medio de cultivo o alimento para las microalgas Chlorella Vulgaris

- Para la elaboración del nutriente se realizó de la siguiente manera:
- Con la ayuda de una balanza analítica se pesó 160 g de Fito Bloom y 7.8 g de fosfato de sodio, luego se disolvió en un litro de agua destilada, esta solución fue pasada por un tamiz para evitar el pase de los residuos, y se autoclavó.
- El proceso de autoclavado se realiza a una temperatura de $121℃$ y a una presión de $14\ psia$ , donde se debe tomar en cuenta que el envase debe estar cubierto por papel de aluminio.

### 3.2.5 Cuarta etapa consiste en el recuento celular microalga Chlorella Vulgaris.

- Una vez que se obtuvo las microalgas, con la ayuda de la cámara Neubauer y un microscopio se realizó el recuento celular.

- Lo primero que se realizó es contener con un beaker el cultivo, realizando una pequeña agitación para permitir una mejor distribución.

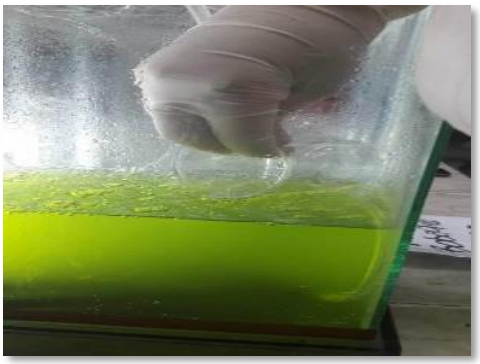


***Figura 5. Cultivo de microalgas Chlorella vulgaris***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

- Con la ayuda de una pipeta automática se absorbe una muestra de microalga. Se colocó una gota en la cámara de Neubauer con el cubre objeto.

**Figura 6. Instalación la muestra de Chlorella vulgaris al portaobjeto**

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

- Se procedió a leer en el microscopio con el objetivo de 10X, debido a que las microalgas son microrganismos muy pequeños aproximadamente su

diámetro está dentro de 2 a 10 micras, se utilizó el objetivo de 40X para una mejor visualización de las microalgas.

***Figura 7. Visualización de la Chlorella vulgaris en el microscopio***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

- Se esperó durante dos minutos hasta que las microalgas estén estáticas, la mejor técnica fue contar en forma de S debido a que se facilitó el conteo de éstas.
- El registro de las células contadas se llevó a cabo contado cada una de las cuadrículas denominadas como A, B, C, D, E.

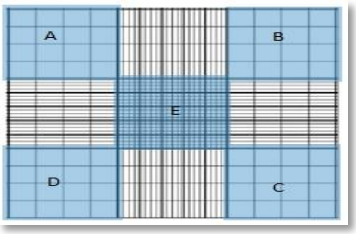



***Figura 8. Visualización de la Cámara de Neubauer***

Elaborado: (celeromics, 2016).

- Para obtener la concentración celular se debe utilizar la siguiente fórmula

$$C = Nx10^4x\ 5$$

- El recuento celular se lo realizó a diario.

### 3.2.6 La quinta etapa consiste en la alimentación y división del inóculo de las microalgas Chlorella vulgaris.

- Una vez que se obtuvo el recuento de las microalgas durante cuatro días, se observó que su concentración celular disminuyó, por lo tanto, se realizó la división.
- Esta división se la realizó de la siguiente forma: En el cuadrante A de la pecera se sembró los 3.5 litros del inóculo, por lo tanto, necesitaba de alimentación, se retiró un litro de microalgas y se lo coloco en el cuadrante C.

***Figura 9. Alimentación del Inóculo de Chlorella vulgaris***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

- Al cuadrante A se le agregó 0,25 ml de alimento o medio de cultivo al litro de agua de mar tratada y autoclavada y se lo proporciona por cada litro de microalga retirada, en este proceso existió el cuadrante C.

***Figura 10. Alimentación del Inóculo de Chlorella vulgaris***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

- Luego al décimo día se realizó la alimentación del cuadrante A y C, lo cual se le agregó 0,25 ml de alimento o medio de cultivo al litro de agua de mar tratada y autoclavada por cada litro de microalga retirada. Este proceso existió el cuadrante B y D.

***Figura 11. Alimentación del inóculo del cuadrante***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

- Una vez obtenido el recuento diario de cada uno de los cuadrantes de la pecera se procedió a realizar las curvas de crecimiento y tasa de crecimiento de cada una de las generaciones de la microalga *Chlorella vulgaris*. **(ANEXO A)**

### 3.2.7 Sexta etapa consiste en la dosificación de las microalgas en el agua residual de la industria papelera.

- Lo primero que se realizó es filtrar el agua residual de la empresa papelera

***Figura 12. Filtración del agua residual de la empresa papelera***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

- Una vez ya obtenida el agua residual filtrada se procedió a colocar las diferentes dosificaciones de agua residual y de microalgas. En este proceso se utilizó cuatro reactores, es decir, tres matraces Erlenmeyer y una pecera con dos divisiones.

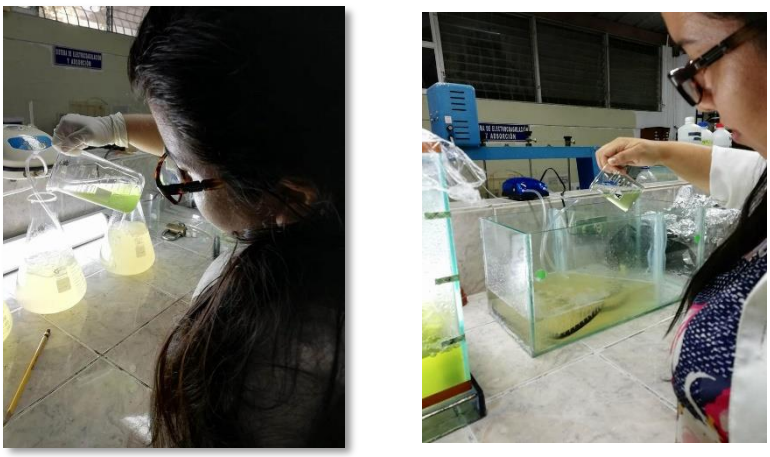


***Figura 13. Dosificación con Chlorella vulgaris al agua residual***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

- El primer matraz Erlenmeyer tuvo una dosificación de 75% de A.R y 25 % de C.v, el segundo matraz con una dosificación 80% de A.R y 20% de C.v, tercer matraz tuvo una dosificación 85% de A.R y 15% de C.v y la cuarta dosificación consistió en 90% de A.R y 10% de C.v

***Figura 14. Muestras Dosificadas***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

- Una vez que se colocaron las muestras con sus respectivas dosificaciones se procedieron a realizar los respectivos análisis de DQO, Cr (VI), pH y la densidad de la *Chlorella vulgaris*, para la realización de estos análisis previamente se debe realizar una centrifugación durante 20 minutos, con respecto al Cr (VI) se lo realizo en el Laboratorios Aguas Petróleo y Ambiente. Estos análisis se realizaron pasando dos días durante todo el tratamiento del agua residual de empresa papelera.

***Figura 15. Realización de los análisis de DQO y pH***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

- Obtenido los valores se procedió a verificar cuál de las muestras se reflejaron mejores resultados durante el tratamiento, la muestra con mejor dosis se procedió a realizar una segunda experimentación con la misma dosis, hasta obtener un resultado promedio de los análisis que se controlaron durante el tratamiento. Estos análisis se realizaron pasando un día durante todo el tratamiento del agua residual de empresa papelera

# CAPÍTULO IV

## 4.1 Resultados

### 4.1.1 Resultados del tratamiento de agua residual de papelera con sus respectivas dosificaciones.

La experimentación consistió en verificar la dosificación adecuada de *Chlorella vulgaris* para realizar el tratamiento del agua residual de una empresa papelera, la cuales consistieron en cuatro muestras, donde los análisis a controlar fueron los siguientes:

- Demanda Química de Oxigeno – DQO
- Metal Cromo Hexavalente – CR(VI)
- Potencial de Hidrógeno – pH
- Densidad de las Chlorella Vulgaris

**Tabla 3**

Resultados de las muestras con sus respectivas dosificaciones

| | DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO | | | METAL -CROMO HEXAVALENTE | | | POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) | | DENSIDAD DE LA CHLORELLA VULGARIS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Muestra | Inicial | Final | %Remoción DQO | Inicial | Final | %Remoción Cr(vi) | Inicial | Final | Inicial | Final |
| 1 | 5635 | 197 | 96,5 | 0,091 | 0 | 100 | 6,42 | 8,67 | 1070000 | 955000 |
| 2 | 5635 | 105 | 98,13 | - | - | - | 6,42 | 8,78 | 1190000 | 100000 |
| 3 | 5635 | 80 | 98,58 | 0,091 | 0,003 | 96,7 | 6,42 | 8,89 | 1090000 | 899000 |
| 4 | 5635 | 250 | 95,56 | - | - | - | 6,42 | 8,49 | 2600000 | 2040000 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

Con respecto a la tabla 3 representa los resultados de los análisis controlados de cada una de las muestras con sus respectivas dosificaciones.

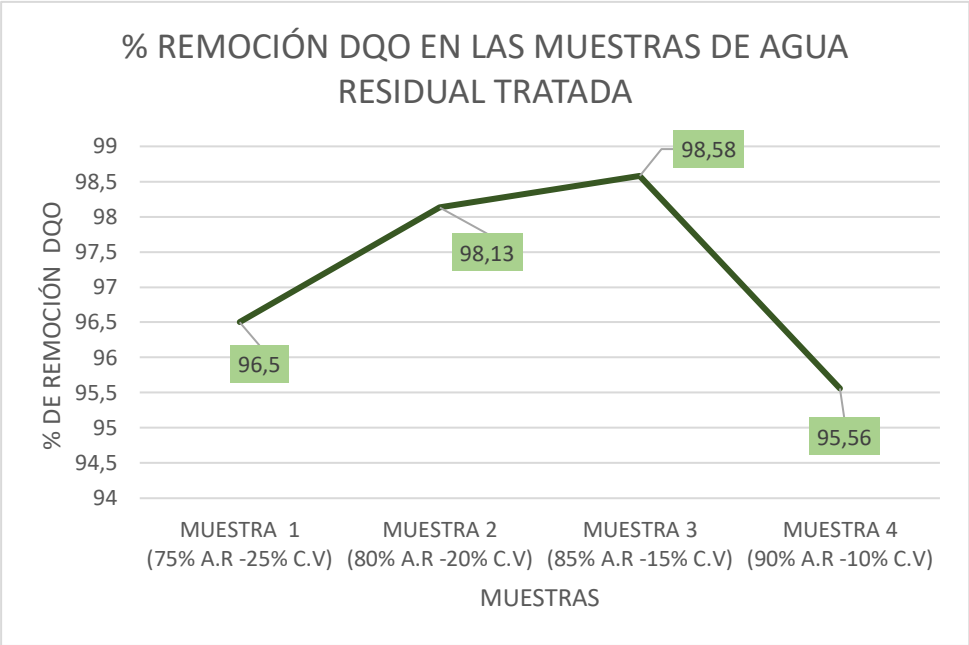



***Figura 16. Porcentaje de Remoción del DQO***
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

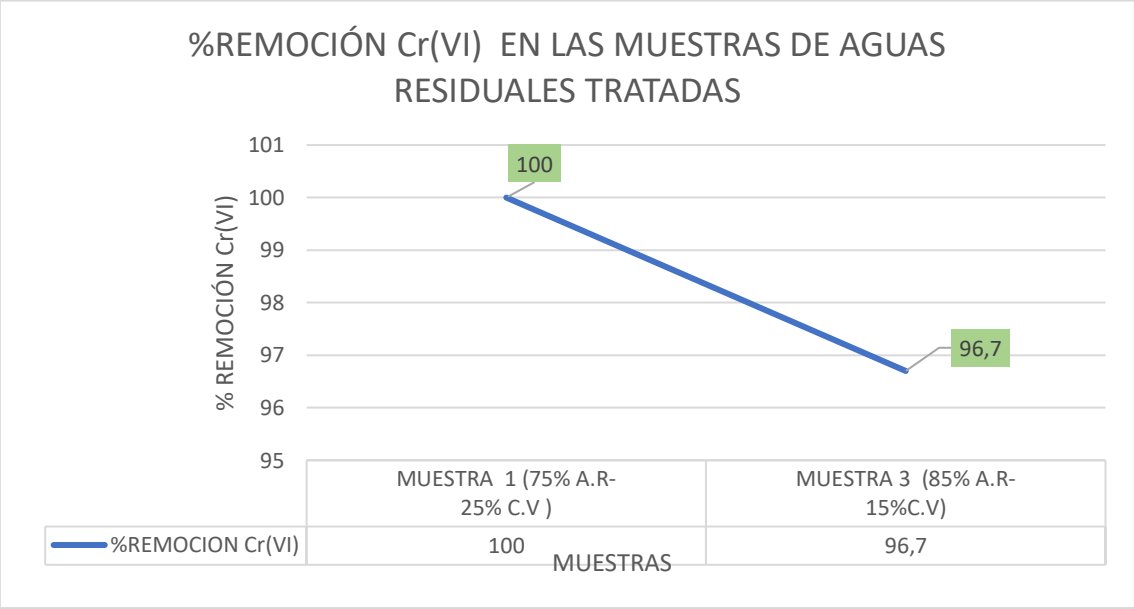



***Figura 17. Porcentaje de Remoción de Cr (VI)***
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

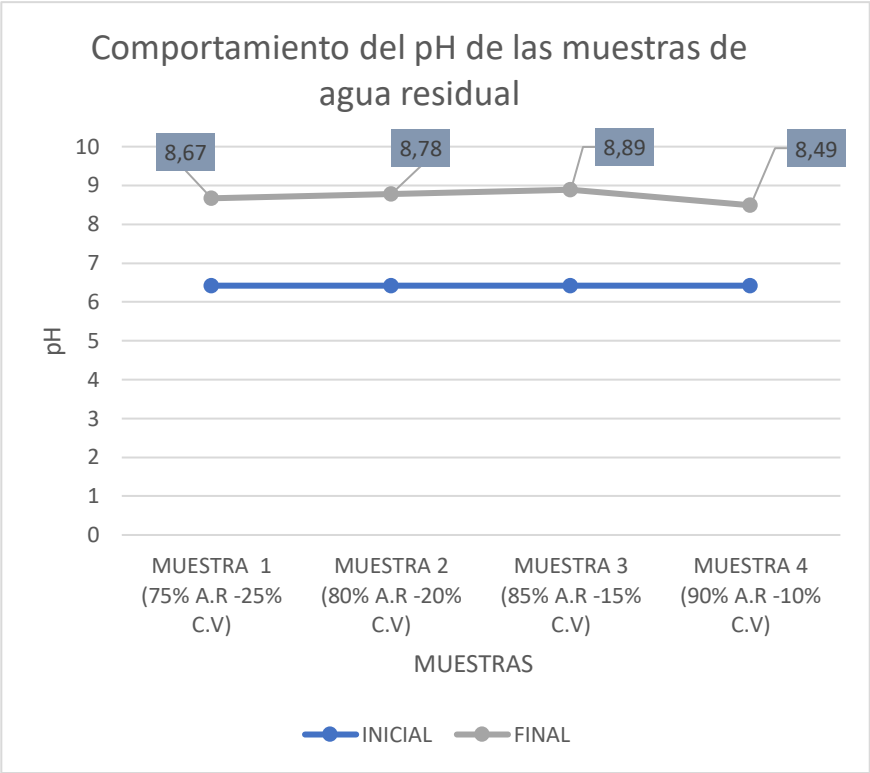



***Figura 18. pH inicial y final de las muestras dosificadas con Chlorella vulgaris***
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

Como se muestra en las figuras 16, 17 y 18 son los resultados iniciales y finales de porcentaje de remoción de DQO, Cr (VI), y el comportamiento del pH de cada muestra tratada con diferentes dosificaciones de *Chlorella vulgaris*, donde la muestra 3 con una relación de 85:15 obtuvo los mejores resultados en cuanto al DQO, pH, Cr (VI), con respecto a las demás muestra se detallaron en el (**ANEXO B).**

### 4.1.2 Dosis optima de Chlorella vulgaris en el agua residual.

La muestra tres consistió en una dosificación de 85 % de agua residual y 15% de microalgas *Chlorella vulgaris*.

***Figura 19. Muestra 3 después de 2 días.***

***Figura 20. Muestra 3 después de 8 días.***

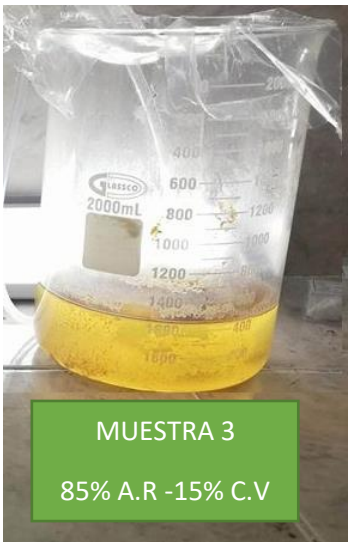



***Figura 21. Muestra 3 después de 16 días.***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

Con respecto a las figuras 19,20 ,21 se puede evidenciar el cambio de tonalidad obteniendo cada vez un color más claro y la presencia de precipitación en el fondo del Biorreactor (matraz Erlenmeyer).

En el transcurso de la experimentación se obtuvieron los siguientes datos de cada análisis que se realizó.

**Tabla 4**

Recuento de la densidad de la Chlorella en la muestra 85:15

| DIA | DENSIDAD cel.*ml | LN(X) | TASA DE CRECIMIENTO | TASA DE GENERACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1090000 | 13,9016883 | | |
| 2 | 1100000 | 13,9108207 | 0,009132484 | 3,162462032 |
| 3 | 1180000 | 13,9810250 | 0,070204259 | 0,411387187 |
| 4 | 1370000 | 14,1303213 | 0,149296301 | 0,193448413 |
| 6 | 1690000 | 14,3402391 | 0,104958895 | 0,275166127 |
| 8 | 1730000 | 14,3636320 | 0,01169644 | 2,46922423 |
| 10 | 1750000 | 14,3751263 | 0,00574719 | 5,025261731 |
| 12 | 1750000 | 14,3751263 | 0 | - |
| 14 | 1750000 | 14,3751263 | 0 | - |
| 16 | 899000 | 13,8353132 | -0,333044026 | -0,086718665 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

.

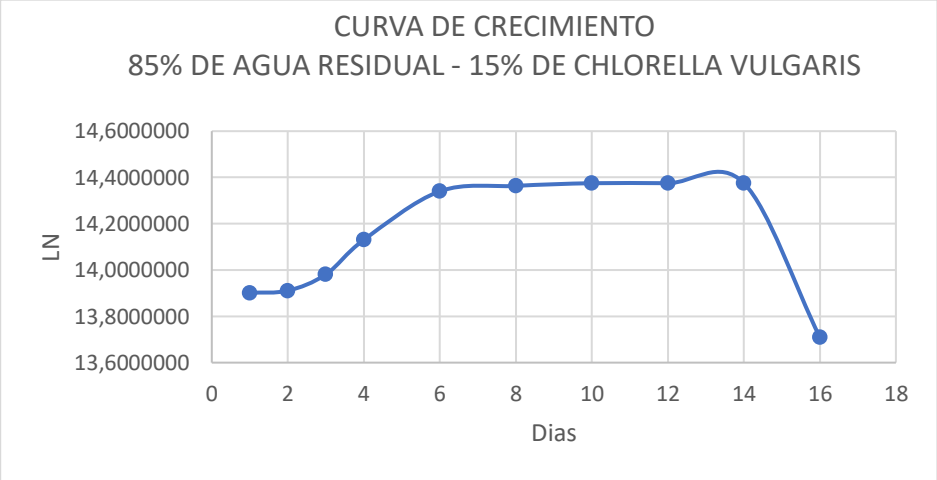



***Figura 22. Curva de Crecimiento de la Chlorella vulgaris en la muestra de agua residual de papelera***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

La tabla 4 indica los datos obtenidos en el recuento de la *Chlorella vulgaris* en la muestra de agua residual de papelera, estos datos proporcionan información acerca de densidad en la muestra que se estaba tratando con su respectiva dosificación 85 % de agua residual y 15% de microalgas *Chlorella vulgaris*, con respecto a la figura 22 se puede evidenciar cada una de las fases de la *Chlorella vulgaris* al transcurrir el tiempo.

**Tabla 5**

Remoción de la Demanda Química de Oxígeno

| DÍA | DQO $[mg/l]$ | % REMOCIÓN DEL DQO |
|---|---|---|
| 0 | 5635 | 46,0514641 |
| 2 | 3040 | 46,0514641 |
| 4 | 2006 | 64,4010648 |
| 6 | 1030 | 81,7213842 |
| 8 | 704 | 87,5066548 |
| 10 | 522 | 90,7364685 |
| 12 | 280 | 95,0310559 |
| 14 | 110 | 98,0479148 |
| 16 | 80 | 98,5803017 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

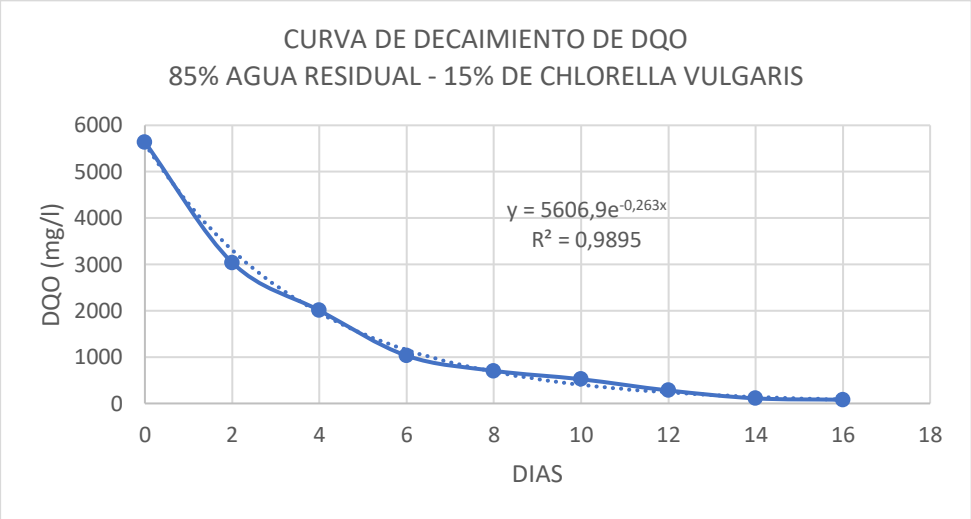



**Figura 23. Curva de Decaimiento de DQO en la muestra de agua residual de papelera**

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

La tabla 5 indica los valores obtenidos de DQO durante el tratamiento de agua residual, se obtuvo un DQO inicial de 5635 mg/l y un DQO final de 80 mg/l con un porcentaje de remoción de 98,58, evidenciando la figura 23 se la realizó con los datos obtenidos de la tabla 5 donde se muestran una curva de decaimiento del DQO presente en el agua residual.

**Tabla 6**

Resultado de Remoción del Cromo Hexavalente - Cr(VI)

| DÍA | Cr(VI) $[mg/L]$ | % REMOCIÓN Cr(VI) |
|---|---|---|
| 0 | 0,091 | 79,1208791 |
| 4 | 0,019 | 79,1208791 |
| 8 | 0,012 | 86,8131868 |
| 16 | 0,003 | 96,7032967 |

Elaborado: *(Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018)*.

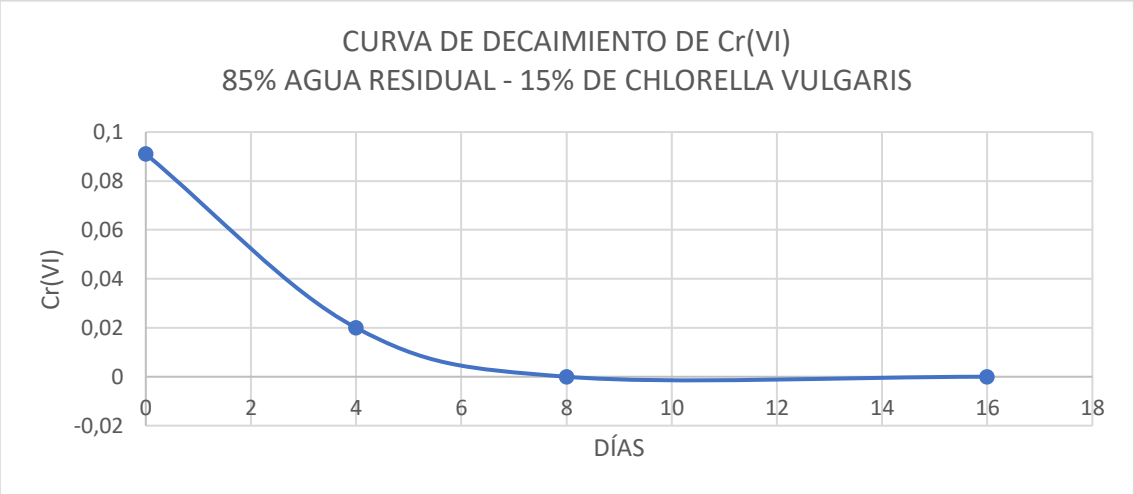



**Figura 24. Curva de Decaimiento de Cr (VI) en la muestra de agua residual de papelera**

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

Con respecto a la tabla 6 presenta los datos de los análisis del cromo hexavalente, la concentración inicial de 0,019 mg/l, y al finalizar el tratamiento una concentración de 0,003 mg/l y un porcentaje de remoción de 96,70, la figura 24 se realizó con los datos obtenidos de la tabla 6, observándose la curva de decaimiento del Cr (VI) en el agua residual tratada con *Chlorella vulgaris* al transcurrir los días.

**Tabla 7**

Resultados del Análisis del Potencial de Hidrógeno - pH

| DÍA | $\lfloor pH \rfloor$ |
|---|---|
| 2 | 6,19 |
| 4 | 6,98 |
| 6 | 7,12 |
| 8 | 8,13 |
| 10 | 8,22 |
| 12 | 8,45 |
| 14 | 8,48 |
| 16 | 8,89 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

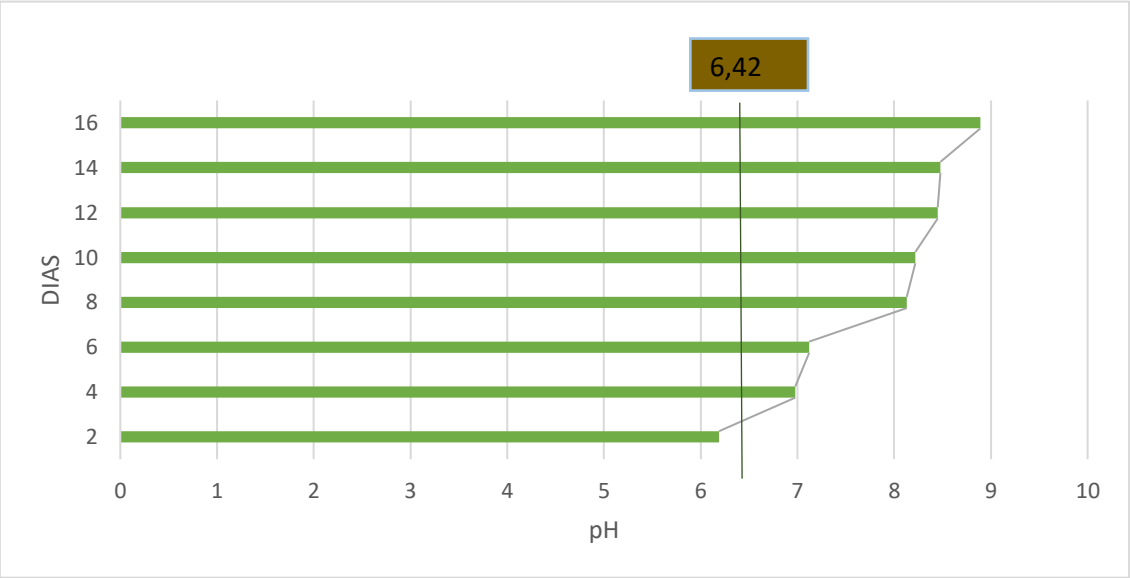



***Figura 25. Resultados obtenidos de pH antes y después del tratamiento con Chlorella vulgaris al agua residual de papelera***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

En la Tabla 7 se pudo evidenciar que el pH en la muestra con dosificación de 85% de agua residual de papelera y 15% de microalgas *Chlorella vulgaris* incrementó durante toda la experimentación, donde inicialmente se obtuvo un pH de 6,19 y al finalizar la experimentación se obtuvo un pH de 8,89, con respecto a la figura 25 se observó el comportamiento del pH en el agua residual al transcurrir de los días.

### 4.1.3 Resultado del segundo tratamiento con la Dosis optima de Chlorella vulgaris en el agua residual de papelera.

La réplica, consistió en un segundo tratamiento con la dosificación que resulto más óptima para el proceso de tratamiento de agua residual de papelera

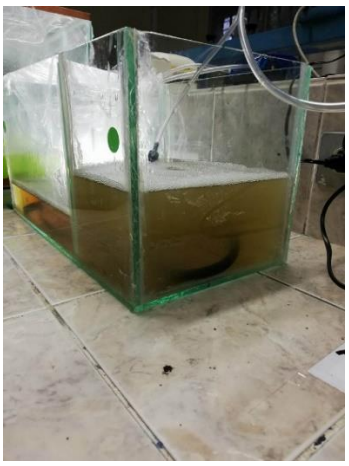


***Figura 26. Muestra 3 primer día de dosificación***

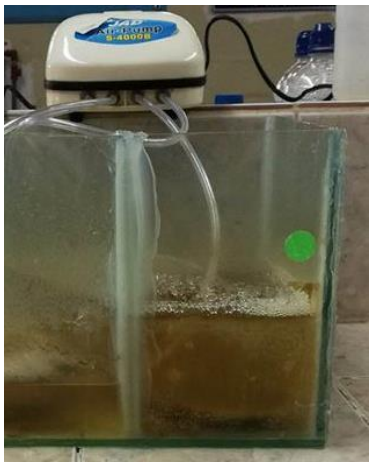


***Figura 27. Muestra 3 sexto día de dosificación***

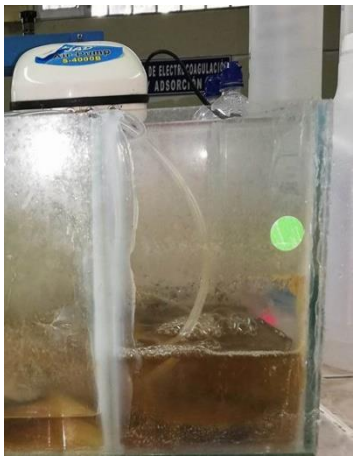


***Figura 28. Muestra 3 décimo de dosificación***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

Los datos obtenidos durante la segunda experimentación de la dosis óptima se detallan a continuación:

**Tabla 8**

Recuento de la Densidad de la Chlorella vulgaris en el segundo tratamiento con la dosificación 85:15

| DÍA | DENSIDAD | LN(X) | TASA DE CRECIMIENTO | TASA DE GENERACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1100000 | 13,910821 | | |
| 2 | 1120000 | 13,928839 | 0,018018506 | 1,602859489 |
| 3 | 1170000 | 13,972514 | 0,043675064 | 0,661272823 |
| 4 | 1360000 | 14,122995 | 0,150480951 | 0,191925505 |
| 5 | 1540000 | 14,247293 | 0,124297717 | 0,23235449 |
| 6 | 1570000 | 14,266586 | 0,019293203 | 1,496958935 |
| 7 | 1580000 | 14,272935 | 0,006349228 | 4,548763091 |
| 8 | 1580000 | 14,272935 | 0,000000000 | - |
| 9 | 1580000 | 14,272935 | 0,000000000 | - |
| 10 | 1085000 | 13,897091 | -0,375844860 | -0,076843229 |

Elaborado; (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

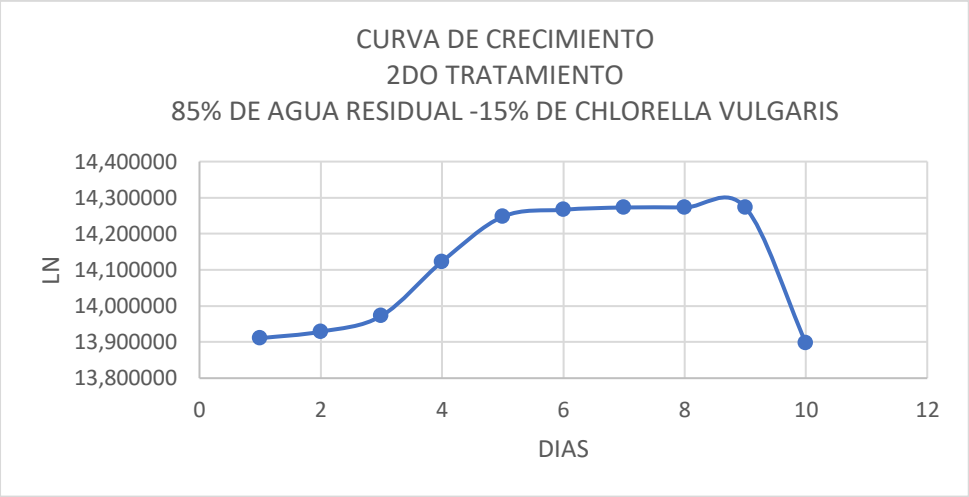



***Figura 29. Curva de Crecimiento de la Chlorella vulgaris en el segundo tratamiento de agua residual***

Elaborado**:** *(Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018)***.**

Con respecto a la tabla 8 se puede observar los datos obtenidos del comportamiento de la *Chlorella vulgaris* en el agua residual de papelera, obteniendo datos que proporcionan para la realización de la figura 29 donde se puede evidenciar las fases que presentó la microalga en agua residual al

transcurrir los días, donde se puede observar que inició con una densidad de 1100000 cel. * ml y finalizó 1085000 cel. * ml.

**Tabla 9**

Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

| DÍA | DQO $[mg/l]$ | % DE REMOCIÓN DQO |
|---|---|---|
| 0 | 5635 | |
| 1 | 2896 | 48,60692103 |
| 2 | 1698 | 69,86690328 |
| 3 | 939 | 83,33629104 |
| 4 | 851 | 84,89795918 |
| 5 | 611 | 89,15705413 |
| 6 | 397 | 92,95474712 |
| 7 | 240 | 95,74090506 |
| 8 | 207 | 96,32653061 |
| 9 | 167 | 97,03637977 |
| 10 | 134 | 97,62200532 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

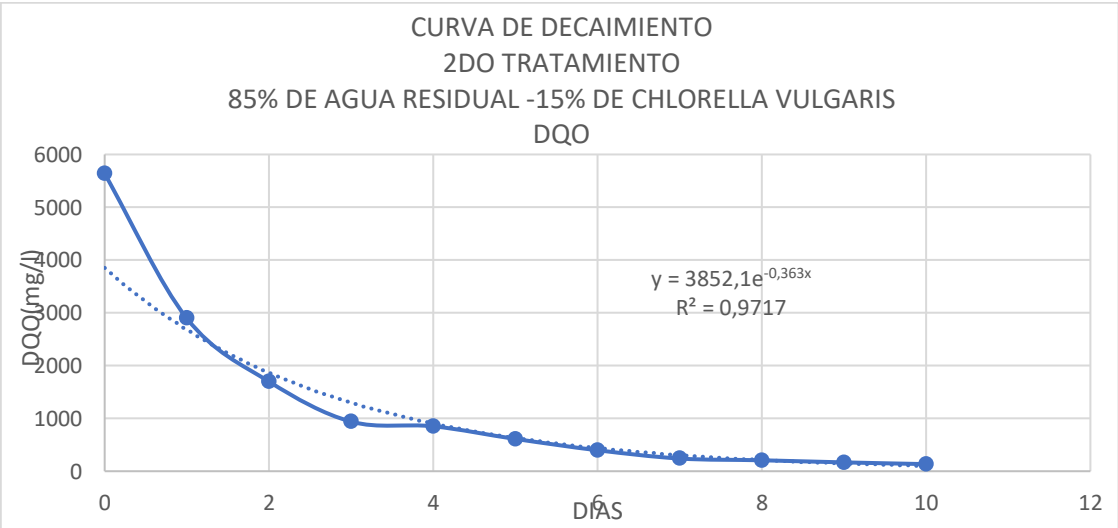



**Figura 30. Curva de Decaimiento del segundo tratamiento de agua residual con la mejor dosificación de Chlorella vulgaris**
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

La tabla 9 representa los valores obtenidos de DQO durante el segundo tratamiento al agua residual, se obtuvo un DQO inicial de 5635 mg/l y un DQO

final de 134 mg/l con un porcentaje de remoción de 97,62, respecto a los datos obtenidos se realizó la figura 30 donde se evidencia la curva de decaimiento del DQO en la muestra de agua residual tratada con *Chlorella vulgaris* al transcurrir de los días.

**Tabla 10**

Resultados de Remoción del Cromo Hexavalente - Cr(VI)

| DÍA | Cr(VI) $[mg/l]$ | PORCENTAJE DE REMOCIÓN Cr(VI) |
|---|---|---|
| 0 | 0,091 | 78,0219780 |
| 2 | 0,020 | 78,0219780 |
| 5 | 0,014 | 84,6153846 |
| 10 | 0,004 | 95,6043956 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

***Figura 31. Curva de Decaimiento de Cr (VI) del segundo tratamiento de agua residual con la mejor dosificación de Chlorella vulgaris***
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

En la tabla 10 se representa los resultados del Cr (VI) del segundo tratamiento de la mejor dosis a tratar el agua residual, se obtuvo Cr (VI) inicial de 0,091 mg/l y Cr (VI) final de 0,027 mg/l con un porcentaje de remoción de 70,32, obteniendo la curva de decaimiento del Cr (VI) representada en la figura 31.

***Tabla 11***

Resultados del Análisis del Potencial – pH

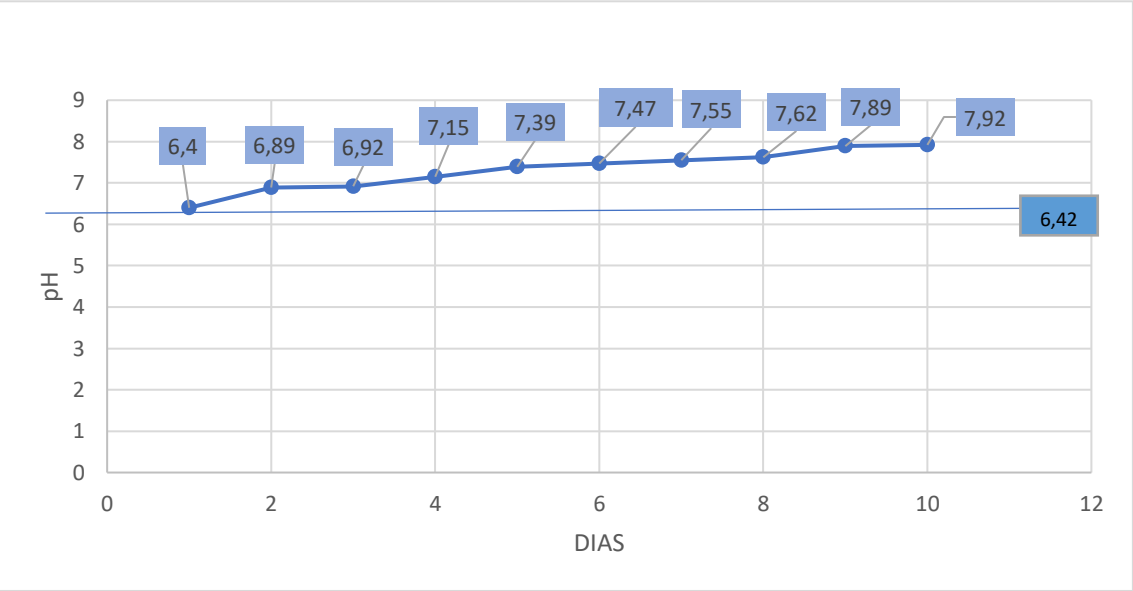
| DÍA | $\lfloor pH \rfloor$ |
|---|---|
| 1 | 6,42 |
| 2 | 6,89 |
| 3 | 6,92 |
| 4 | 7,15 |
| 5 | 7,39 |
| 6 | 7,47 |
| 7 | 7,55 |
| 8 | 7,62 |
| 9 | 7,89 |
| 10 | 7,92 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

***Figura 32. Resultados obtenidos de pH antes y después del Segundo tratamiento con la mejor dosificación de Chlorella vulgaris***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

En la Tabla 11 se pudo evidenciar que el pH en el segundo tratamiento de agua




residual que se realizó con la mejor dosificación de *Chlorella vulgaris* se obtuvo al finalizar el tratamiento un pH de 7,92, obteniendo un pH inicial de 6,42, donde la figura 32 se puede evidenciar el comportamiento del pH en el agua tratada con *Chlorella vulgaris.*

### 4.1.4 Resultados generales de los tratamientos de agua residual con la dosis optima de Chlorella vulgaris.

**Tabla 12** Resultados de los Análisis realizados al agua residual tratada por Chlorella vulgaris

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018)

La tabla 12, se observan los datos obtenidos en los dos tratamientos que se realizaron al agua residual de papelera con la misma dosificación con *Chlorella vulgaris.*

| | | DQO | | | Cr(VI) | | | (pH) | | Densidad de la Chlorella *vulgaris* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No De Tratamiento | No De Muestra | Inicial | Final | % De Remoción DQO | Inicial | Final | % De Remoción Cr(VI) | Inicial | Final | Inicial | Final |
| 1 | 3 | 5635 | 80 | 98,58 | 0,091 | 0,003 | 96,70 | 6,42 | 8,89 | 1070000 | 899000 |
| 2 | 3 | 5635 | 132 | 97,65 | 0,091 | 0,027 | 70,32 | 6,42 | 7,92 | 1190000 | 1200000 |
| **PROMEDIO** | | | **106** | **98,11** | | **0,015** | **83,51** | | **8,40** | | |

El primer y segundo tratamiento que se realizó, se obtuvo los promedios de los dos tratamientos obteniendo una concentración de DQO 106 mg/l con un porcentaje de remoción de 98,11, una concentración de Cr (VI) 0,015 mg/l con un porcentaje de Cr (VI) de 83,51 y un pH de 8,40 entre los dos tratamientos.

## 4.2 Análisis y discusión de resultados

Según (Chacón, Andrade, Cárdenas, Araujo, & Morales, 2004), demostraron el comportamiento de otro tipo de Chlorella, utilizaron la *Chlorella sp* al agua residual, donde efectúo la remoción de DQO del 55,8 %, con respecto al actual

trabajo de investigación se utilizó la *Chlorella vulgaris* de origen marino donde logró una remoción de DQO de 98,11%.

El estudio realizado por (Pellón y Benitez, 2016), demostraron el empleo de la microalga *Scenedesmus obliquus* en la reducción del cromo presente en el agua residual, y obtuvo una eficiencia de reducción de Cr (VI) hasta 12%, en cambio, el actual trabajo de investigación realizado con *Chlorella vulgaris* permitió lograr una reducción de Cr (VI) hasta 83,51%.

Con respecto al pH en el actual trabajo de investigación, al aplicarle las microalgas *Chlorella vulgaris* al agua residual, se logró un incremento del pH promedio hasta 8,40 gracias a la propiedad de la *Chlorella vulgaris* de consumir el carbono inorgánico que se encuentra en el agua residual desde la fotosíntesis. Este proceso provocó la precipitación de sedimentos y la reducción del metal Cr (VI) donde se logró una concentración promedio de 0,015 mg/l y un porcentaje de remoción de 83,51, similar al estudio de (Pellón y Benitez, 2016), que empleó la microalga *Scenedesmus obliquus* donde inicio con un pH de 3 y finalizó con un valor de 4,50.

Al realizar los análisis de la muestra de agua residual de una empresa papelera se encontró que la muestra obtuvo un DQO inicial de 5635 mg/l lo cual no cumplía con los límites permisibles de la norma de calidad ambiental y de descarga, y con el uso de la dosificación del 15% microalgas *Chlorella vulgaris* (1’130.000cel.*ml) se pudo reducir el valor de DQO a una concentración promedio de 106 mg/l y un porcentaje de remoción de 98,11.

## CONCLUSIONES

- Se establecieron las condiciones de cultivo de la microalga *Chlorella vulgaris*, lo cual necesita para su optimo crecimiento 1 ml de medio de cultivo para cada litro de inóculo, la intensidad de luz 1000-4000 lm, la temperatura oscila entre 22℃-30℃ , fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas oscuridad y el pH oscila entre 7-9.
- Se logró adaptar las condiciones del cultivo de la microalga *Chlorella vulgaris* al agua residual de papelera. En este caso se utilizó de 0,25 ml del medio de cultivo, se determinó que el flujo de oxígeno es hasta 6 l/min y la intensidad de la luz fue de 1200 Lm, con un fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas oscuridad, la temperatura óptima fue de 25℃, donde se presentó valores óptimos en la concentración de las microalgas hasta 1´750.000 cel. *ml durante todo el tratamiento y el incremento del pH promedio hasta 8.40.
- Se evidencio que las microalgas *Chlorella vulgaris* si tienen la capacidad de remover contaminantes como nutrientes inorgánicos, donde se determinó que la eficiencia máxima de remoción de Cr(VI) y DQO se obtuvo de la dosificación del 15% de microalgas *Chlorella vulgaris* alcanzando un valor promedio de 98,11% de remoción DQO y 83,51% de Cr (VI), lo cual se lo llevó a cabo mediante los análisis realizado de DQO, Cr (VI), pH en los laboratorios que se utilizaron durante toda la experimentación.

## RECOMENDACIONES

- A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo se puede recomendar el uso de la *Chlorella vulgaris* en los tratamientos secundarios de agua residual en las industrias textil, cartonera para la disminución de diferentes parámetros como el DQO, Cromo hexavalente y el incremento de pH.
- Con respecto a la biomasa de la microalga que precipita se puede recomendar el estudio del uso de la microalga para la obtención de biocombustibles u otras aplicaciones como la recuperación de Cr (VI) en el caso de los tratamientos de agua residuales con alto contenido de metal pesado.

**ABREVIATURAS**

- DQO = Demanda Química de Oxígeno
- Cr (VI) = Cromo Hexavalente
- C. v = Chlorella Vulgaris
- A. R = Agua Residual
- pH = Potencial Hidrógeno
- mg/l = Miligramos / litros
- cel.*ml = células /mililitros
- CENAIM =Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas

## BIBLIOGRAFÍA


Arredondo, B., & Voltolina, D. (2007). Concentración, Recuento Celular y Tasa de Crecimiento. *Métodos y Herramientas Análiticas en la Evaluacion de la Biomasa Microalgal*, 21-29.

Brennan, L., & Owende, P. (2010). Biofuel from microalgae a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy*, 557-577.

Cajamar. (2015). *Ficha de Transferencia* . Obtenido de https://www.grupocooperativocajamar.es/recursos-entidades/pdf/bd/agroalimentario/innovacion/formacion/materiales-y-documentos/microalgas-1444391623.pdf

Candela, R. D. (2016). *Universidad Nacional Abierta y a Distncia* . Obtenido de http://repository.unad.edu.co:8080/bitstream/10596/12170/1/91541023.pdf

Ceibal. (2016). *Ceibal*. Obtenido de http://contenidos.ceibal.edu.uy/fichas_educativas/_pdf/ciencias-naturales/reino-protista/002-chlorella-vulgaris.pdf

celeromics. (2016). Obtenido de http://www.celeromics.com/es/resources/Technical%20Notes/Como-contar-celulas-con-camara-de-Neubauer-Paso2.php

Celeromics. (2017). *Conteo Celular con Hematocitometro* . Obtenido de http://www.celeromics.com/es/resources/docs/Articles/Conteo-Camara-Neubauer.pdf

Celis, J., Junod, J., & Sandoval, M. (2005). Recientes Aplicaciones de la Depuración de Aguas Residuales con Plantas Acuáticas. *Theoria*, 17-25.

Chacón, Andrade. (2014). Obtenido de http://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/download/26/26 .

Chacón, C., Andrade, C., Cárdenas, C., Araujo, I., & Morales, E. (2004). Uso de Chlorella sp. y Scenedesmus sp. en la remoción de nitrógeno, fosforo y DQO en aguas residuales urbanas de Maracaibo, Venezuela. Venezuela: Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas . Obtenido de ocplayer.es/68041600-Uso-de-chlorella-sp-y-scenedesmus-sp-en-la-remocion-de-nitrogeno-fosforo-y-dqo-de-aguas-residuales-urbanas-de-maracaibo-venezuela.html

Cleber, F., Sant'Anna, E., Villela da Costa Braga, M., & Barcelos, J. (2006). Lipids, fatty acids composition and carotenoids of Chlorella vulgaris cultivated in hydroponic wastewater. *International Journal of Fats and Oils*, 270-274.

Díaz, H., & Caballero, J. (2015). *Simulacion de una planta de tratamiento de aguas residuales y su análisis técnico- económico- ambientall en la cuidad de Iquitos mediante el uso de Super pro Designer V6* .

Espigares Garcia , J. Perez. (2010). *Aguas Residuales* . Obtenido de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Espigares García, M., & Pérez López, J. (2003). *Google academico.* Obtenido de Aguas residuales. Composión: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=http%3A%2F%2Fcidta.usal.es%2Fcursos%2FEDAR%2Fmodulos%2FEdar%2Funidades%2FLIBROS%2Flogo%2Fpdf%2FAguas_Residuales_composicion.pdf&btnG=#d=gs_cit&p=&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3Aw4G2NFSEMdMJ%3Ascholar.googl

FAO. (2015). *Medios De Cultivos* . Obtenido de http://www.fao.org/docrep/field/003/ab473s/AB473S02.htm

Fernandez, J. (2014). *Microalgal Biotechnology.* Obtenido de https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-1---generalidades/1-3-nutrientes.html

Fernandez, J. M. (2014). *Universidad De Almeida* . Obtenido de https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-1---generalidades/1-7-fotobiorreactores.html

Gomez, L. (2015 ). *Universidad de Oriente* . Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/268424391_MICROALGAS_ASPECTOS_ECOLOGICOS_Y_BIOTECNOLOGICOS

Gonzalez, M. (2015). *Universidad Estatal de Guayaquil*. Obtenido de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20907/1/TESIS%20MIA%20023%20-%20tratamiento%20biol%C3%B3gico%20de%20la%20planta%20de%20aguas%20residuales.pdf

Gyllard , Ryther. (2015). Obtenido de http://mel.xmu.edu.cn/UserFiles/Image/gomap/pdf/f_2_medium.pdf

Hernández, D., Riaño, B., Coca, M., Solana, M., Bertucco, A., & García-González, M. (2015). *Chemical Engineering Journal*, 449-458.

Julian Cartagena , Brian Malo. (2017). *Fundación Universidad De America* . Obtenido de http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6035/1/1014249411-2017-I-IQ.pdf

Laboratorio Aguas Petroleo y Medio Ambiente . (2018).

Maria Cristina Guaman , Nory Gonzalez Romero . (2016). *Corporacion Para La Investigacion Energetica* . Obtenido de http://energia.org.ec/cie/wp-

content/uploads/2017/09/Catlogo-de-Microalgas-y-Cianobacterias-del-Ecuador.pdf

Merino, N. (2017). Evaluación de la Eficiencia de Remediación de Aguas Residuales Grises mediante un Sistema basado en Microalgas.

Norma Cuizano , Abel Navarro . (2008). *Universidad Peruana Cayetano Heredia* . Obtenido de http://analesde-cp22.webjoomla.es/index.php/AnalesQuimica/article/viewFile/416/405

Pellón y Benitez. (2016). Obtenido de http://digital.csic.es/bitstream/10261/21285/1/313.pdf

Ruiz, M. (2015). *Universidad de Huelva.* Obtenido de Evaluación del enriquecimiento en lípidos de valor energético en microalgas: file:///C:/Users/Usuario/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Evaluacion_del_enriquecimiento.pdf

Travieso, L., Benítez, F., Sánchez, E., Borja, R., León, R., Raposo, F., & Rincón, B. (2008). Preformance of a Laboratory-scale Microalgae Pond for Secondary Treatmen of Distillery Wastewaters. *Chemical, Biochemical Engineering*, 467-473.

TULSMA. (2015). *Acuerdo Mministerial 097: Registro Oficial - Edición Especial N° 387*.

UPCT. (2015). *Universidad Polictenca De Cartagena* . Obtenido de https://www.upct.es/~minaeees/analisis_aguas.pdf

## ANEXOS

### Anexo A. Recuento de los Inóculos de Chlorella vulgaris

El recuento de la *Chlorella vulgaris* se realizó desde el primer día obtenida, dentro del cuarto día se pudo observar el decaimiento de la densidad de la *Chlorella vulgaris*, por lo tanto, se realizó la alimentación de esta, generando la existencia del inóculo ‘C’.

**Tabla 13**

Recuento del Inóculo ‘A’ de Chlorella vulgaris

| DÍA | DENSIDAD | LN(X) | TASA DE CRECIMIENTO | TASA DE GENERACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 6550000 | 15,69497561 | 0 | - |
| 2 | 6550000 | 15,69497561 | 0 | - |
| 3 | 5550000 | 15,52930849 | -0,165667122 | -0,174332313 |
| 4 | 5000000 | 15,42494847 | -0,104360015 | -0,276745192 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

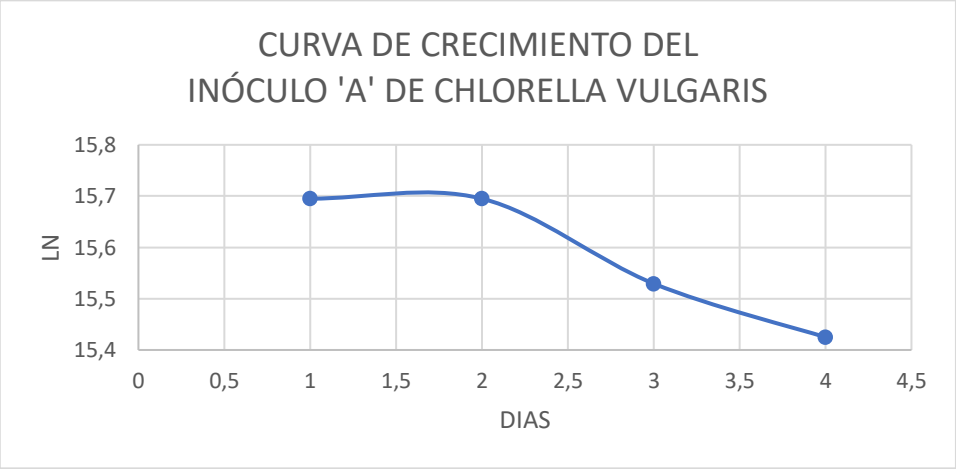



***Figura 33. Curva de Crecimiento del Inóculo ' A'***
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

Con respecto a la tabla 13 se observa los datos obtenidos del recuento del Inóculo ‘A’ de *Chlorella vulgaris* (Inóculo Original de la 1era generación) en la 1era alimentación que se realizó, y la figura 33 se observa la curva de crecimiento del inóculo ‘A’.

Una vez alimentadas se realizó el recuento de los inóculos ‘C’ y ‘A’ durante diez días observando así el decaimiento de la densidad de las microalgas.

**Tabla 14**

Recuento del Inóculo ‘C’ de Chlorella vulgaris

| DÍA | DENSIDAD | LN(X) | TASA DE CRECIMIENTO | TASA DE GENERACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1850000 | 14,430696 | | |
| 2 | 1900000 | 14,457364 | 0,026668247 | 1,082978286 |
| 3 | 2100000 | 14,557448 | 0,100083459 | 0,288570488 |
| 4 | 2600000 | 14,771022 | 0,2135741 | 0,135227691 |
| 5 | 2710000 | 14,812459 | 0,04143719 | 0,69698579 |
| 6 | 2710000 | 14,812459 | 0 | - |
| 7 | 2710000 | 14,812459 | 0 | - |
| 8 | 2690000 | 14,805052 | -0,007407441 | -3,898935063 |
| 9 | 2300000 | 14,648420 | -0,156632071 | -0,184388372 |
| 10 | 2200000 | 14,603968 | -0,044451763 | -0,649718501 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

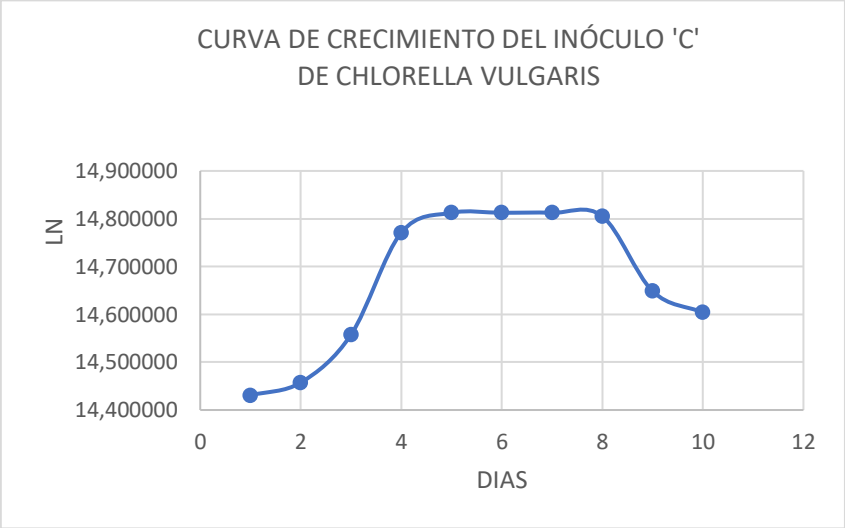



***Figura 34. Curva de crecimiento del Inóculo 'C'***
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

La tabla 14 indica los datos del Recuento del Inóculo ‘C’ de *Chlorella vulgaris* (2da generación del ‘inóculo original A’), a partir de los datos se obtuvo la figura 34 indicando la curva de crecimiento del inóculo ‘C’.

**Tabla 15**

Recuento del Inóculo ‘A’ de Chlorella vulgaris

| DÍA | DENSIDAD | LN(X) | TASA DE CRECIMIENTO | TASA DE GENERACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2200000 | 14,6039679 | | |
| 2 | 2350000 | 14,6699259 | 0,065957968 | 0,437871776 |
| 3 | 2750000 | 14,8271115 | 0,157185584 | 0,183739067 |
| 4 | 3450000 | 15,0538848 | 0,226773319 | 0,127356836 |
| 5 | 3550000 | 15,0824582 | 0,028573372 | 1,01077087 |
| 6 | 3550000 | 15,0824582 | 0 | - |
| 7 | 3550000 | 15,0824582 | 0 | - |
| 8 | 3300000 | 15,0094330 | -0,073025135 | -0,395495777 |
| 9 | 3200000 | 14,9786614 | -0,030771659 | -0,938562748 |
| 10 | 3100000 | 14,9469127 | -0,031748698 | -0,909679264 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

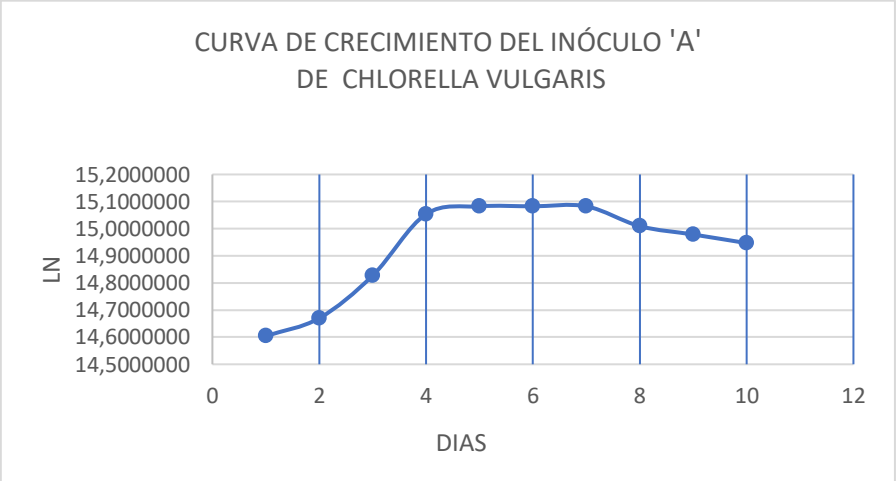



***Figura 35 Curva de Crecimiento del Inóculo 'A'***
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

La tabla 15 representa el recuento del Inóculo ‘A’ de *Chlorella vulgaris* (Inóculo Original de la 1era generación) después de la primera alimentación, con los datos obtenidos se realizó la figura 35 que indica la curva de crecimiento de dicho inóculo.

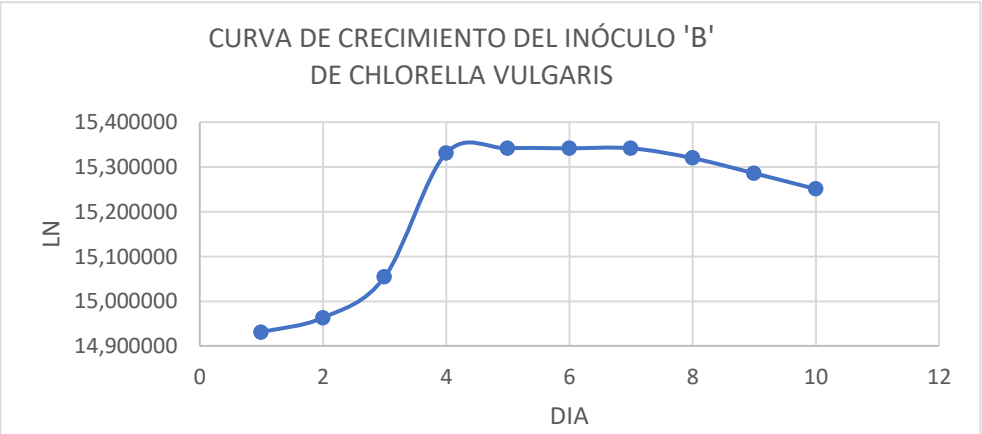
Una vez obtenido el recuento de los inóculos ‘A’ y ‘C’ se pudo observar el decaimiento de estas en donde se procedió a la segunda alimentación, obteniendo nuevas generaciones ‘B’ y ‘D’, donde el inóculo ‘B’ es obtenida del inóculo ‘A’ y el inóculo ‘D’ es obtenida del inóculo ‘C’. A partir de la segunda alimentación se realizó el recuentro de los inóculos ‘A’, ‘C’, ‘B’, ‘D’.

**Tabla 16**

Recuento del Inóculo 'B' de Chlorella vulgaris

| DÍA | DENSIDAD | LN(X) | TASA DE CRECIMIENTO | TASA DE GENERACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 3050000 | 14,930652 | | |
| 2 | 3150000 | 14,962913 | 0,032260862 | 0,895237465 |
| 3 | 3450000 | 15,053885 | 0,090971778 | 0,317473541 |
| 4 | 4550000 | 15,330638 | 0,276753002 | 0,10435707 |
| 5 | 4600000 | 15,341567 | 0,010929071 | 2,642597322 |
| 6 | 4600000 | 15,341567 | 0 | - |
| 7 | 4600000 | 15,341567 | 0 | - |
| 8 | 4500000 | 15,319588 | -0,021978907 | -1,314038632 |
| 9 | 4350000 | 15,285686 | -0,033901552 | -0,851911818 |
| 10 | 4200000 | 15,250595 | -0,03509132 | -0,823027822 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).




***Figuras 36. Recuento del Inóculo 'B' de Chlorella vulgaris***
Elaborado: *(Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018)*.

La Tabla 16 se visualiza el recuento del Inóculo ‘B’ de *Chlorella vulgaris* (3era generación del inóculo original A’), con los datos obtenidos se realizó la figura 36 que representa la curva de crecimiento del inóculo ‘B’.

**Tabla 17**

Recuento del Inóculo 'D' de Chlorella vulgaris

| DÍA | DENSIDAD | LN(X) | TASA DE CRECIMIENTO | TASA DE GENERACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2300000 | 14,6484197 | | |
| 2 | 2400000 | 14,6909793 | 0,042559614 | 0,678604187 |
| 3 | 2570000 | 14,7594165 | 0,068437162 | 0,422009503 |
| 4 | 2900000 | 14,8802213 | 0,120804838 | 0,239072648 |
| 5 | 3000000 | 14,9141228 | 0,033901552 | 0,851911818 |
| 6 | 3000000 | 14,9141228 | 0 | - |
| 7 | 3000000 | 14,9141228 | 0 | - |
| 8 | 2900000 | 14,8802213 | -0,033901552 | -0,851911818 |
| 9 | 2700000 | 14,8087623 | -0,071458964 | -0,404163885 |
| 10 | 2560000 | 14,7555178 | -0,053244515 | -0,542424563 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

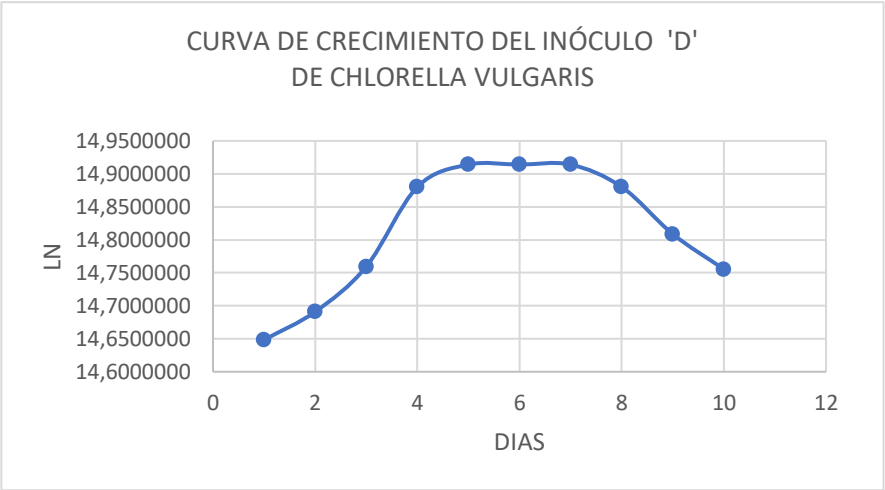



***Figura 37. Curva de crecimiento 'D' del Inóculo Chlorella Vulgaris***
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

La tabla 17 representa el recuento del Inóculo ‘D’ de *Chlorella vulgaris* (1era generación del inóculo original ‘D’) a partir de la segunda alimentación, con los

datos obtenidos de la tabla se realizó la figura 37 donde representa la curva de crecimiento del inóculo ‘D’.

**Tabla 18**

Recuento del Inóculo 'A' de Chlorella vulgaris

| DÍA | DENSIDAD | LN(X) | TASA DE CRECIMIENTO | TASA DE GENERACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 4200000 | 15,2505951 | | |
| 2 | 4350000 | 15,2856864 | 0,035091320 | 0,823027822 |
| 3 | 4750000 | 15,3736552 | 0,087968773 | 0,32831119 |
| 4 | 5250000 | 15,4737386 | 0,100083459 | 0,288570488 |
| 5 | 5350000 | 15,4926071 | 0,018868484 | 1,530654612 |
| 6 | 5350000 | 15,4926071 | 0 | - |
| 7 | 5350000 | 15,4926071 | 0 | - |
| 8 | 5200000 | 15,4641692 | -0,028437935 | -1,015584718 |
| 9 | 5100000 | 15,4447511 | -0,019418086 | -1,487331591 |
| 10 | 5000000 | 15,4249485 | -0,019802627 | -1,458449533 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

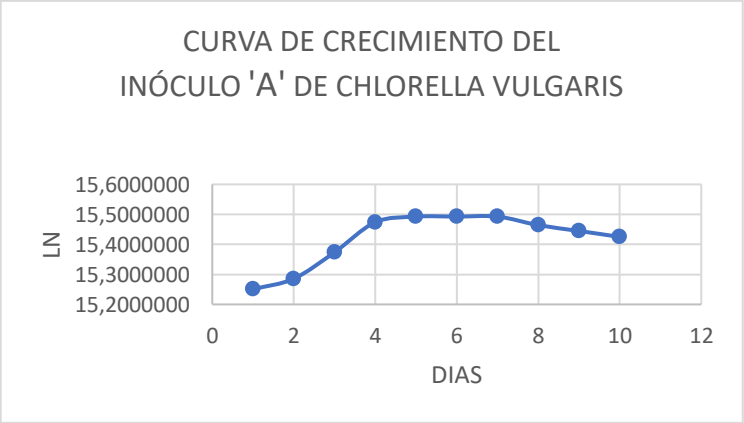



***Figura 38. Curva de Crecimiento del Inóculo 'A' de Chlorella vulgaris***
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

La tabla 18 representa el recuento del Inóculo ‘A’ de *Chlorella vulgaris* (Inóculo Original de la 1era generación) partir de la segunda alimentación, con los datos obtenidos de la tabla se realizó la figura 38 donde representa la curva de crecimiento del inóculo ‘A’.

**Tabla 19**

Recuento del Inóculo 'C' de la Chlorella vulgaris

| DÍA | DENSIDAD | LN(X) | TASA DE CRECIMIENTO | TASA DE GENERACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 3750000 | 15,1372664 | | |
| 2 | 3850000 | 15,16358371 | 0,026317308 | 1,097419697 |
| 3 | 4050000 | 15,21422744 | 0,050643733 | 0,570280485 |
| 4 | 5350000 | 15,49260712 | 0,27837968 | 0,103747273 |
| 5 | 5450000 | 15,51112617 | 0,018519048 | 1,559536586 |
| 6 | 5450000 | 15,51112617 | 0 | - |
| 7 | 5450000 | 15,51112617 | 0 | - |
| 8 | 5250000 | 15,47373863 | -0,037387532 | -0,772480314 |
| 9 | 5000000 | 15,42494847 | -0,048790164 | -0,591945795 |
| 10 | 4800000 | 15,38412648 | -0,040821995 | -0,707489501 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

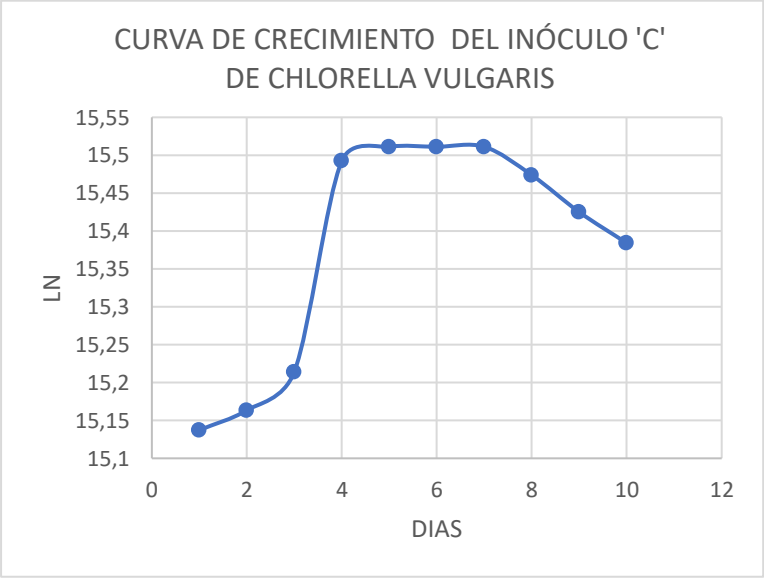



***Figura 39. Curva de crecimiento del Inóculo 'C' de la Chlorella vulgaris***
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

La tabla 19 representa el recuento del Inóculo 'C' de *Chlorella vulgaris* (Inóculo Original de la 1era generación) partir de la segunda alimentación, con los datos obtenidos de la tabla se realizó la figura 39 donde representa la curva de crecimiento del inóculo 'C'.

## Anexo B. Descripción de las muestras con las diferentes dosificaciones de Chlorella vulgaris

- La muestra uno, la dosificación consistió en 75% de agua residual y 25% de microalga *Chlorella vulgaris.*

**Tabla 20**

Datos de Densidad de la Chlorella vulgaris

| DÍA | DENSIDAD | LN(X) | TASA DE CRECIMIENTO | TASA DE GENERACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1070000 | 13,88316921 | 0,009302 | 3,104699358 |
| 2 | 1080000 | 13,8924716 | 0,009302 | 3,451275196 |
| 3 | 1100000 | 13,91082074 | 0,018349 | 1,573977561 |
| 4 | 1130000 | 13,93772819 | 0,026907 | 1,073350666 |
| 6 | 1270000 | 14,05452746 | 0,058400 | 0,494543041 |
| 8 | 1500000 | 14,22097567 | 0,083224 | 0,347028459 |
| 10 | 1510000 | 14,22762021 | 0,003322 | 8,693188906 |
| 12 | 1510000 | 14,22762021 | 0,000000 | - |
| 14 | 1510000 | 14,22762021 | 0,000000 | - |
| 16 | 955000 | 13,76946662 | -0,229077 | -0,126076203 |

Elaborado**:** (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018)**.**

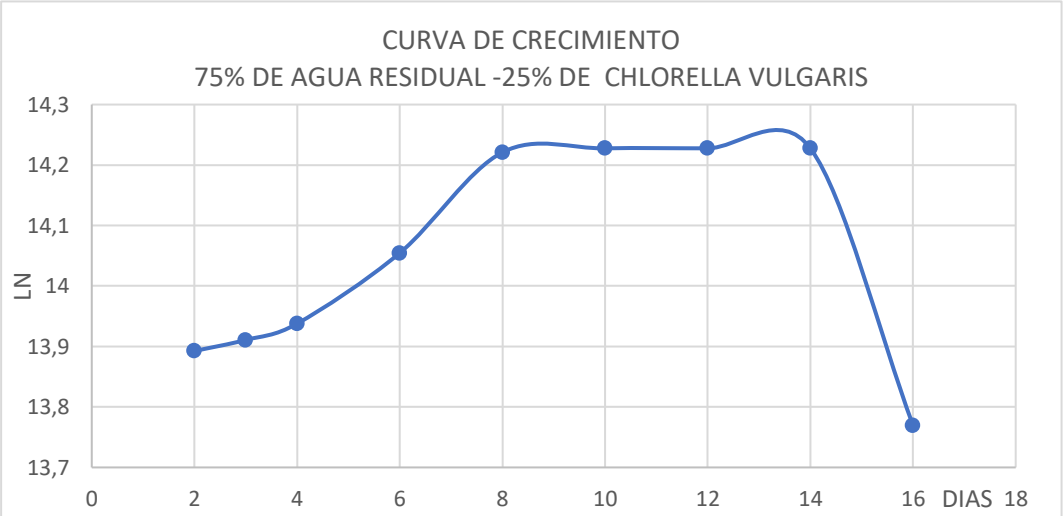



***Figura 40. Curva de Crecimiento en la muestra 75% A.R y 25% C.v***
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

Con respecto a la tabla 20, se puede observar los datos de la densidad de la *Chlorella vulgaris* para la realización de la figura 40 que indica la curva de crecimiento de la microalga durante el tratamiento de agua residual de papelería.

El primer día que se efectuó la dosificación, se realizó el primer conteo obteniendo una densidad de 1'070.000 cel.*ml y $\mu = 0{,}0093$ , durante estos dos primeros días la microalga se adaptó al agua residual, del segundo al tercer día se obtuvo una densidad de 1'110.000 y $\mu = 0{,}0183$ observando que hubo un incremento en la tasa de crecimiento dando lugar a la etapa de aceleramiento, del cuarto al octavo se presentó la fase exponencial obteniéndose una densidad de la *Chlorella vulgaris* con un valor máximo de 1'127.000 cel.*ml y $\mu = 0{,}058$ , del octavo al décimo día se presentó la fase desaceleración obteniendo una $\mu = 0{,}0033$, del duodécimo al decimocuarto día se presentó la fase estacionaria obteniendo una densidad de 1'510.000 cel.*ml y $\mu = 0$ , decimocuarto al decimosexto día la densidad desciende a 955.000 cel.*ml obteniendo una $\mu = -0{,}2290$ , dándose la fase de muerte de la microalga .

El análisis de la demanda química de oxigeno (DQO) se lo realizo transcurriendo dos días de la dosificación del agua residual con microalgas *Chlorella vulgaris* con la relación 75:25.

**Tabla 21**

Remoción de la Demanda Química de Oxígeno

| DÍA | DQO $mg/l$ | % REMOCIÓN (DQO) |
|---|---|---|
| 0 | 5635 | |
| 2 | 2500 | 55,6344277 |
| 4 | 1450 | 74,2679681 |
| 6 | 935 | 83,4072760 |
| 8 | 639 | 88,6601597 |
| 10 | 370 | 93,4338953 |
| 12 | 363 | 93,5581189 |
| 14 | 280 | 95,0310559 |
| 16 | 197 | 96,5039929 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

Con respecto a la tabla 21 de la muestra uno con la dosificación de 25% de microalgas se obtuvo un DQO inicial de 5635 mg/l y dentro de dieciséis días se obtuvo un DQO final de 197 mg/l, obteniendo un porcentaje de remoción de 96,50.

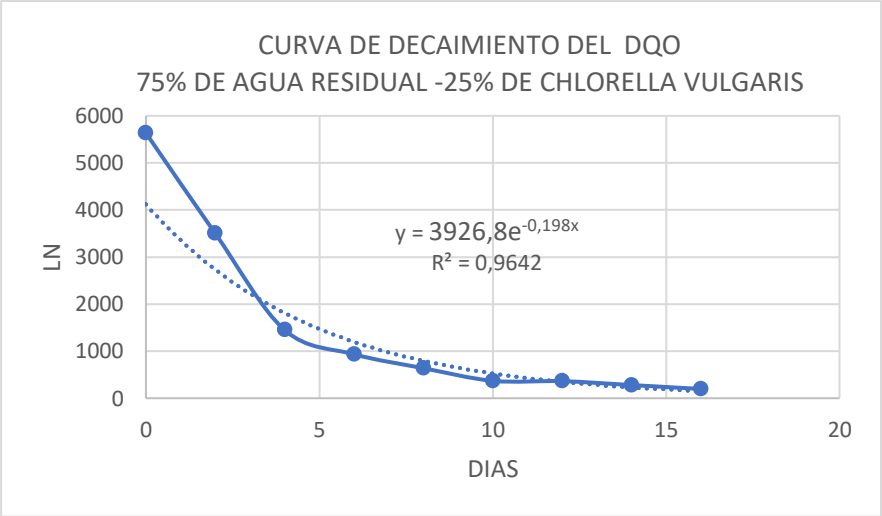



***Figura 41. Curva de Decaimiento de DQO en la muestra de agua residual de papelera.***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

El análisis del cromo hexavalente en la muestra uno, con la dosificación 25% de microalgas *Chlorella vulgaris*, se realizó cada dos días.

**Tabla 22**

Resultado del Análisis de Remoción de Cr(VI)

| DÍA | $[mg/L]$ Cr(VI) | % REMOCIÓN Cr(VI) |
|---|---|---|
| 0 | 0,091 | |
| 4 | 0,02 | 78,02197802 |
| 8 | 0 | 100 |
| 16 | 0 | 100 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

Con respecto a la tabla 22, se representa los porcentajes de remoción de metal donde se obtuvieron resultados positivos, se puede observar que el agua residual obtuvo un 100% de remoción del cromo hexavalente durante dos semanas de tratamiento.

***Figura 42 Curva de decaimiento de Cr (VI) en la muestra de agua residual de papelera***

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

El análisis del potencial de hidrógeno es de gran importancia debido a que es unos de los parámetros que se controló desde el momento que se dosificó el agua con microalgas debido a que sobrevive entre un rango de pH 7-9.

**Tabla 23**

Resultados del Análisis del Potencial de Hidrógeno - pH

| DÍA | ⌊pH⌋ |
|---|---|
| 2 | 7,25 |
| 4 | 7,09 |
| 6 | 8,49 |
| 8 | 8,36 |
| 10 | 8,36 |
| 12 | 8,39 |
| 14 | 8,45 |
| 16 | 8,51 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

Con respecto a la tabla 23, se representa los valores de pH durante toda la experimentación, se observó que los valores de pH del agua tratada se incrementaron hasta un valor de 8,51 lo cual está dentro del rango permisible de la norma.

- La muestra dos, la dosificación consistió en 80 % de agua residual y 20 % de microalga *Chlorella vulgaris.*

**Tabla 24**

Datos de la Densidad de la Chlorella vulgaris

| DÍA | DENSIDAD | LN(X) | TASA DE CRECIMIENTO | TASA DE GENERACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1190000 | 13,989464 | 0,00836825 | 3,451275196 |
| 2 | 1200000 | 13,997832 | 0,00836825 | 3,451275196 |
| 3 | 1250000 | 14,038654 | 0,040821995 | 0,707489501 |
| 4 | 1380000 | 14,137594 | 0,098939948 | 0,291905678 |
| 6 | 1590000 | 14,279245 | 0,070825259 | 0,407780121 |
| 8 | 1600000 | 14,285514 | 0,003134807 | 9,213051096 |
| 10 | 1610000 | 14,291745 | 0,003115275 | 9,270813549 |
| 12 | 1610000 | 14,291745 | 0 | - |
| 14 | 1610000 | 14,291745 | 0 | - |
| 16 | 1000000 | 13,815511 | -0,238117089 | -0,121289625 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

Con respecto a la tabla 24, se observa los datos para la formación de la curva de crecimiento en la segunda muestra con una dosificación de 20% de microalga *Chlorella vulgaris* y 80 % agua residual de papelería

El primer conteo se realizó el día de la dosificación, donde se obtuvo una concentración inicial de 1'190.000 cel. *ml y $\mu = 0{,}0083$ durante este tiempo las microalgas se adaptaron al agua residual de papelería , del segundo al tercer día se obtuvo una densidad de 1'250.000 y $\mu = 0{,}040$ observando que hubo un incremento en la tasa de crecimiento dando lugar a la etapa de aceleramiento, del cuarto al octavo se presentó la fase exponencial obteniéndose una densidad con un valor máximo de 1'590.000 cel.*ml y $\mu = 0{,}0070$ , del octavo al décimo día se presentó la fase desaceleración obteniendo una $\mu = 0{,}00313$, del duodécimo al decimocuarto día se presentó la fase estacionaria obteniendo una densidad de 1'610.000 cel.*ml y $\mu = 0$ , decimocuarto al decimosexto día la densidad desciende a 1´000.000 obteniendo una $\mu = -0{,}23$ , dándose la fase de muerte de la microalga .

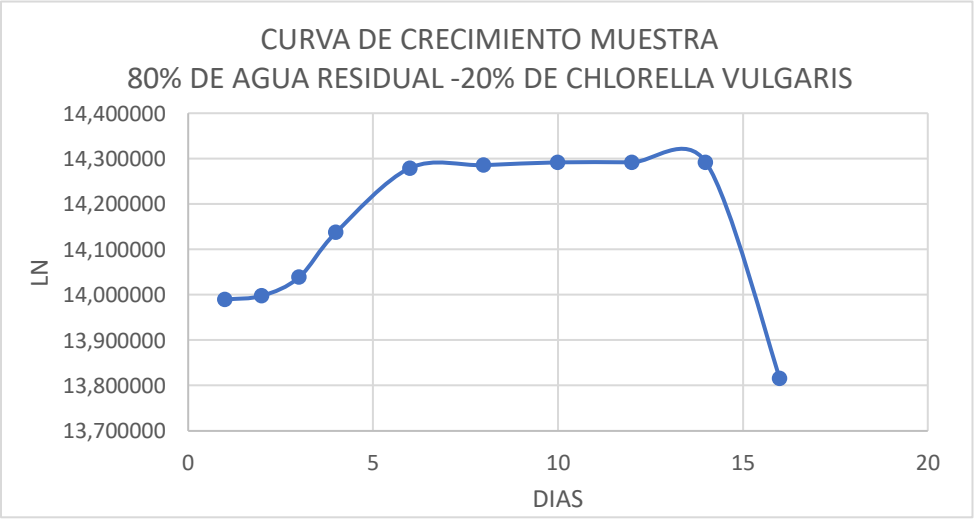



***Figura 43. Curva de crecimiento en la muestra 80% A.R y 20% C.v***
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

Con respecto al análisis de la demanda química de oxígeno, el segundo análisis de DQO se lo realizó después de dos días de la dosificación del agua con microalgas con la relación de 80:20

**Tabla 25**

Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

| DÍA | DQO $[mg/l]$ | % DE REMOCIÓN (DQO) |
|---|---|---|
| 0 | 5635 | |
| 2 | 2000 | 64,5075421 |
| 4 | 1246 | 77,8881987 |
| 6 | 1020 | 81,8988465 |
| 8 | 978 | 82,6441881 |
| 10 | 733 | 86,9920142 |
| 12 | 482 | 91,4463176 |
| 14 | 212 | 96,2377994 |
| 16 | 105 | 98,1366459 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

La tabla 25 indica los porcentajes de remoción del DQO pasando cada dos días, se puede analizar que tiene un DQO inicial de 5635 mg/l y dentro del cuarto día se obtuvo 2000 mg/l dando un porcentaje de remoción de 64.50, al finalizar la experimentación dentro de los 16 días se realizó un DQO indicando que el DQO para el agua tratada era de 105 mg/l dando, por ende, se obtuvo un porcentaje de remoción 98.13.

El análisis del potencial de hidrógeno es uno de los parámetros que se controló desde el inicio de la dosificación de 80:20 hasta la finalización de la experimentación.

**Tabla 26**

Resultado del Análisis del Potencial de Hidrógeno - pH

| DÍA | $\lfloor pH \rfloor$ |
|---|---|
| 2 | 5,9 |
| 4 | 5,64 |
| 6 | 6,92 |
| 8 | 7,36 |
| 10 | 7,58 |
| 12 | 8,55 |
| 14 | 8,67 |
| 16 | 8,78 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

La tabla 26, india los valores de pH al transcurrir la experimentación, se pudo observar que dentro de los dos primeros días el agua residual con la dosificación de 80:20 tenía un pH de 5.9, al transcurrir de los días fue incrementado a un pH de 8.78, beneficiando mucho el proceso de las microalgas con el agua residual.

- La muestra cuatro, fue dosificada con 10% de microalgas *Chlorella vulgaris* y 90% de agua residual de papelería.

**Tabla 27**

Datos de la Densidad de la Chlorella vulgaris

| DÍA | DENSIDAD | LN(X) | TASA DE CRECIMIENTO | TASA DE GENERACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2600000 | 14,7710220 | 0,003838776 | 7,523525783 |
| 2 | 2610000 | 14,7748608 | 0,003838776 | 7,523525783 |
| 3 | 2620000 | 14,7786849 | 0,003824096 | 7,552406951 |
| 4 | 2680000 | 14,8013274 | 0,022642477 | 1,275528859 |
| 6 | 2970000 | 14,9040725 | 0,051372579 | 0,562189655 |
| 8 | 3230000 | 14,9879927 | 0,041960092 | 0,688300025 |
| 10 | 3290000 | 15,0063981 | 0,009202714 | 3,138327806 |
| 12 | 3290000 | 15,0063981 | 0 | - |
| 14 | 3290000 | 15,0063981 | 0 | - |
| 16 | 2040000 | 14,5284604 | -0,238968878 | -0,120857296 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

La tabla 27 indica los datos para la formación de la curva de crecimiento de la *Chlorella vulgaris* en la muestra 4, la cual fue dosificada con una relación de 90:10, donde estos valores indica el comportamiento de las microalgas en el agua residual de papelería.

El primer conteo se realizó el día de la dosificación, donde se obtuvo una concentración inicial de 2'260.000 cel. *ml y $\mu = 0{,}003838$ durante este tiempo las microalgas se adaptaron al agua residual de papelería , del segundo al tercer día se obtuvo una densidad de 2'620.000 cel.*ml y $\mu = 0{,}003824$ observando que hubo un incremento en la tasa de crecimiento dando lugar a la etapa de aceleramiento, del cuarto al octavo se presentó la fase exponencial obteniéndose una densidad con un valor máximo de 3'230.000 cel.*ml y $\mu = 0{,}041$ , del octavo al décimo día se presentó la fase desaceleración obteniendo una $\mu = 0{,}0092$, del duodécimo al decimocuarto día se presentó la fase

estacionaria obteniendo una densidad 3’290.000 cel.*ml y $\mu = 0$ , decimocuarto al decimosexto día la densidad desciende a 2’040.000 cel.*ml obteniendo una $\mu = -0{,}2389$ , dándose la fase de muerte de la microalga.

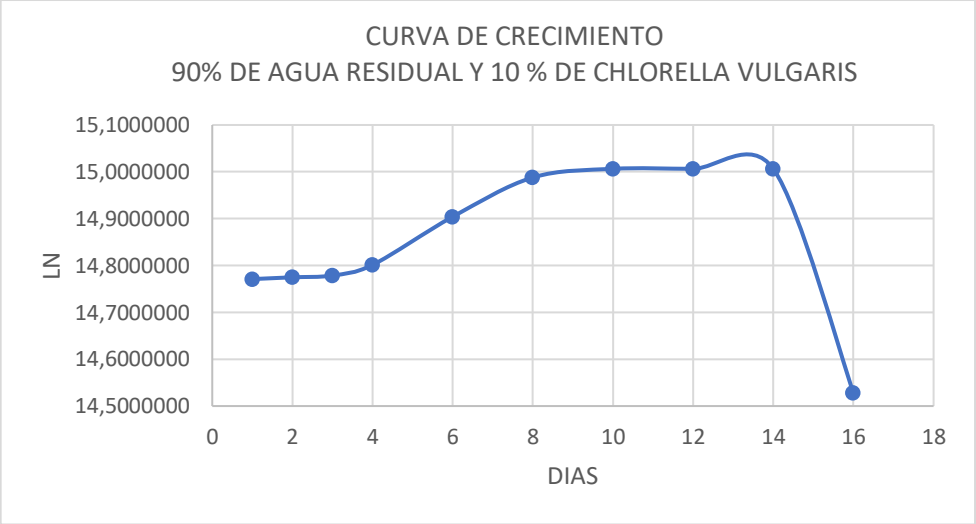



***Figura 44. Curva de crecimiento en la muestra 90% A.R y 10% C.v***
*Elaborado:* (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018)***.***

El análisis de la demanda química de oxigeno se llevó a cabo dentro de dos días de dosificación de la microalga *Chlorella vulgaris* al agua residual de papelería con una relación de 10:90

**Tabla 28**

Remoción de la Demanda Química de Oxígeno

| DÍA | DQO $[mg/l]$ | % DE REMOCIÓN DEL DQO |
|---|---|---|
| 0 | 5635 | |
| 2 | 3080 | 45,3416149 |
| 4 | 1774 | 68,5181899 |
| 6 | 920 | 83,6734694 |
| 8 | 790 | 85,9804791 |
| 10 | 579 | 89,7249335 |
| 12 | 354 | 93,7178350 |
| 14 | 298 | 94,7116238 |
| 16 | 250 | 95,5634428 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

En la tabla 28 se pudo evidenciar los porcentajes de remoción del DQO, el segundo análisis da un valor de 3080 mg/l dando un porcentaje de remoción de 45, 34 mg/l obteniendo un DQO final de 250 mg/l con un porcentaje de remoción de 95,56 mg/l.

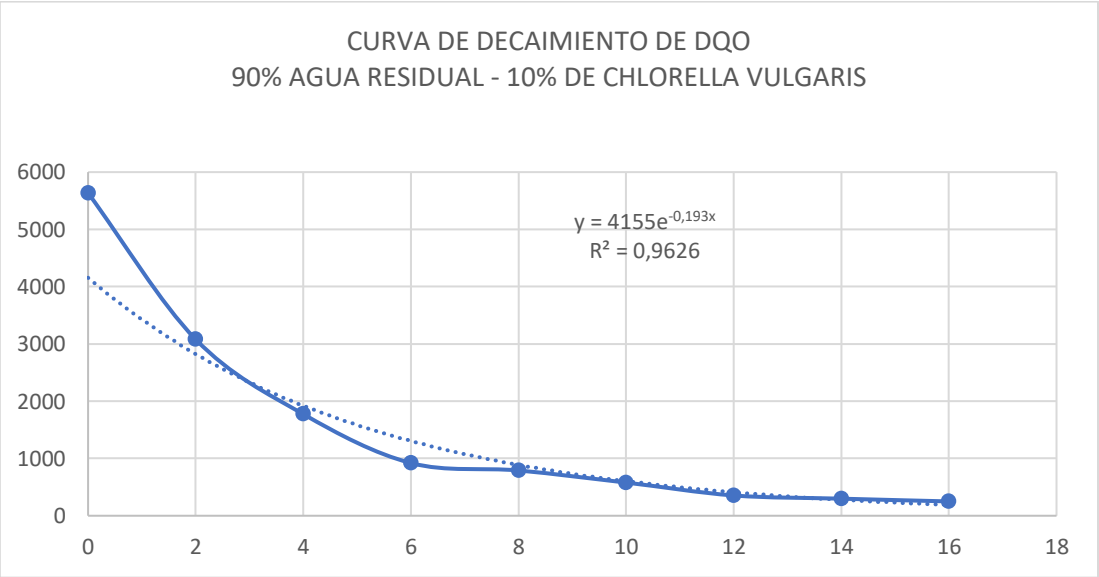



***Figura 45. Curva de Decaimiento de DQO en la muestra de agua residual de papelera***
*Elaborado:* (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

El análisis del pH, se lo realizó a la muestra cuatro, 10% de microalga y 90% de agua residual de papelería, los análisis se lo realizaron cada dos días, donde en la tabla 29 se detallan los valores pH**.**

**Tabla 29**

Resultado del Análisis del Potencial de Hidrógeno - pH

| **DÍA** | $\lfloor pH \rfloor$ |
|---|---|
| 2 | 5,29 |
| 4 | 5,33 |
| 6 | 8,38 |
| 8 | 8,49 |
| 10 | 8,52 |
| 12 | 8,63 |
| 14 | 8,67 |
| 16 | 8,79 |

Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

En la Tabla 29 se pudo evidenciar que el pH de la muestra cuatro con una dosificación de 90% de agua residual de papelería y 10% de microalgas *Chlorella vulgaris* se incrementó durante toda la experimentación, donde inicialmente se obtuvo un pH de 5,29 y al finalizar la experimentación se obtuvo un pH de 8,79.

## Anexo C. Equipos Utilizados en el Tratamiento de Agua Residual de una Empresa Papelera

***Figura 46. Bomba de aire***
Fuente: Planta Piloto de Aguas y Medioambiente de Ingeniería Química.
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

***Figura 47. Cámara Neubauer y pH-metro***
Fuente: Laboratorio de Investigaciones de Aguas
Elaborado:(Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

**Figura 48. Autoclave**
Fuente: Laboratorio de Microbiología
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

**Figura** ***49. Reactor nano color***
Fuente: Planta Piloto de Aguas y Medioambiente de Ingeniería Química
Elaborado:(Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

**Figura 50. Centrífuga**
Fuente: Laboratorio Química Orgánica I
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

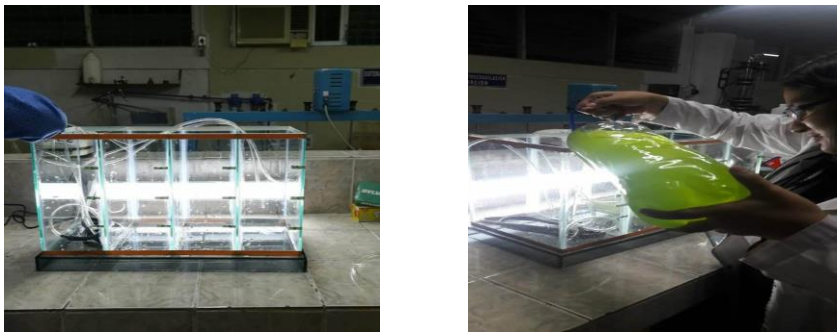
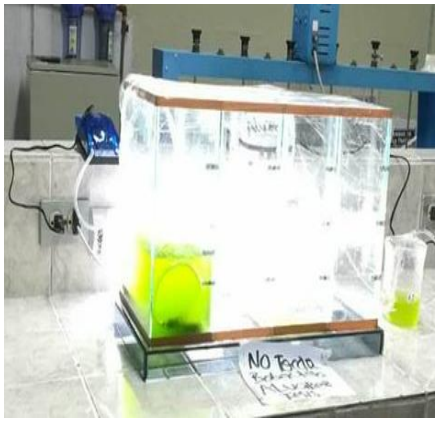


***Figura 51. Biorreactor para el cultivo de Chlorella vulgaris***
Fuente: Planta Piloto de Aguas y Medioambiente de Ingeniería Química
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).



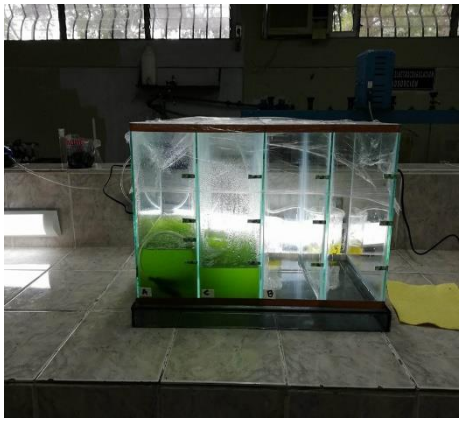



***Figura 52. Cultivos de Chlorella vulgaris***
Fuente: Planta Piloto de Aguas y Medioambiente de Ingeniería Química
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

***Figura 53. Alimentación de cultivo y generaciones de la Chlorella vulgaris***
Fuente: Planta Piloto de Aguas y Medioambiente de Ingeniería Química
Elaborado: (Ana Bobadilla y Priscilla Alvarez, 2018).

## Anexo D. Informe del Análisis Físico - Químico de la muestra Inicial de Agua Residual de una Empresa Papelera

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

**UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD**
**LABORATORIOS**
**AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE**
**Facultad de Ingeniería Química**
**Universidad de Guayaquil**
**Cdla. Universitaria Salvador Allende**
**Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772**
**Guayaquil - Ecuador**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO**
**POR EL SAE CON ACREDITACIÓN**
**N° OAE LE C 08-003**

**INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO**

**INFORME N°: LA / 078 / 18**

| | | |
|---|---|---|
| SOLICITADO POR: | ALVAREZ PRISCILA - BOBADILLA ANA PAULA | |
| EMPRESA: | - | |
| DIRECCIÓN: | Atarazana MzK3 V27 | |
| Fecha de inicio de análisis: | 2018 / 06 / 18 | Fecha de recepción: |
| Fecha de culminación de análisis: | 2018 / 06 / 19 | 2018 / 06 / 15 |

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS**

**CIUU: 2424** — TIPO DE MUESTRA: COMPUESTA[1]

A: MUESTRA AGUA RESIDUAL — FECHA DE MUESTREO: 2018 / 06 / 15[1]

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Resultados A | incert. U (k=2) | Limites Máximos Permisibles[2] | Método |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Potencial de Hidrogeno. | pH | | 6.42 | ± 0.10 | 6 - 9 | 4500-H$^+$B PEE/UCC/LA/02 |
| *Color (1/20) | Color real | Pt/Co | 53 | - | Inapreciable en dilución 1/20 | 8025 HACH |
| **Demanda Quimica de Oxigeno | D.Q.O. | mg/l | 5 635 | - | 200 | 5220D PEE/UCC/LA/03 |
| Sólidos suspendidos | - | mg/l | 833 | ± 83 | 130 | 2540 D PEE/UCC/LA/05 |
| **Sólidos totales | - | mg/l | 6 360 | - | 1 600 | 2540 B PEE/UCC/LA/07 |
| *Cromo Hexavalente | $Cr^{+6}$ | mg/l | 0.091 | - | 0.5 | 8023 HACH |
| *Cobre | Cu | mg/l | No detectable | - | 1 | 8506 HACH |
| *Niquel | Ni | mg/l | 0.011 | - | 2 | 8150 HACH |

**OBSERVACIONES:**

*Los ensayos marcados (*) NO están incluidos en el alcande de la Acreditación del SAE.

**Rango deAcreditación; ST: 200 - 2 000 mg/l; DQO: 100 - 900 mg/l.

(1) Dato proporcionado por la empresa.

(2) Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

ING. MARLON RAMIREZ
DIRECTOR TÉCNICO

Fecha de emisión:
2018 / 06 / 21

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE. 23 RD EDITION

Nota: * Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.
* Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.

Fuente: (Laboratorio Aguas Petroleo y Medio Ambiente , 2018).

**Anexo E. Informe del Análisis Físico - Químico de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera Tratada con Chlorella vulgaris**

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

AGUAS - PETRÓLEO MEDIO AMBIENTE

**UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD**
**LABORATORIOS**
**AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE**
**Facultad de Ingeniería Química**
**Universidad de Guayaquil**
**Cdla. Universitaria Salvador Allende**
**Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772**
**Guayaquil - Ecuador**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO**
**POR EL SAE CON ACREDITACIÓN**
**N° OAE LE C 08-003**

**INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO**

**INFORME N°: LA / 116 / 18**

| | | |
|---|---|---|
| SOLICITADO POR: | ALVAREZ PRISCILA - BOBADILLA ANA PAULA | |
| EMPRESA: | - | |
| DIRECCIÓN: | Atarazana MzK3 V27 | |
| Fecha de inicio de análisis: | 2018 / 08 / 06 | Fecha de recepción: |
| Fecha de culminación de análisis: | 2018 / 08 / 11 | 2018 / 08 / 06 |

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS**

**CIUU: 2424** — TIPO DE MUESTRA: COMPUESTA(1)

A: MUESTRA AGUA RESIDUAL TRATADA — FECHA DE MUESTREO: 2018 / 08 / 06(1)

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Resultados A | incert. U (k=2) | Límites Máximos Permisibles(2) | Método |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Potencial de Hidrogeno. | pH | | 7.92 | ± 0.14 | 6 - 9 | 4500-H+B PEE/UCC/LA/02 |
| *Color (1/20) | Color real | Pt/Co | 27 | - | Inapreciable en dilución 1/20 | 8025 HACH |
| Demanda Química de Oxígeno | D.Q.O. | mg/l | 134 | ± 39 | 200 | 5220D PEE/UCC/LA/03 |
| **Sólidos suspendidos | - | mg/l | 4 | - | 130 | 2540 D PEE/UCC/LA/05 |
| Sólidos totales | - | mg/l | 640 | ± 64 | 1 600 | 2540 B PEE/UCC/LA/07 |
| *Cromo Hexavalente | $Cr^{+6}$ | mg/l | 0.027 | - | 0.5 | 8023 HACH |
| *Cobre | Cu | mg/l | 0.01 | - | 1 | 8506 HACH |
| *Niquel | Ni | mg/l | 0.012 | - | 2 | 8150 HACH |

**OBSERVACIONES:**

*Los ensayos marcados (*) NO están incluidos en el alcande de la Acreditación del SAE.

**Rango deAcreditación; ST: 200 - 2 000 mg/l; DQO: 100 - 900 mg/l; SST: 100 - 1 000 mg/l.

(1) Dato proporcionado por la empresa.

(2) Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

ING. MARLON RAMIREZ
DIRECTOR TÉCNICO

Fecha de emisión:
2018 / 08 / 13

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE. 23 RD EDITION

Nota: * Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.
* Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.

Fuente: *(Laboratorio Aguas Petroleo y Medio Ambiente , 2018)*.

**Anexo F. Informe del Análisis de Cr(VI) de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera Tratada con Chlorella vulgaris en la muestra 1 y 3 (A y B)**

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

**UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD**
**LABORATORIOS**
**AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE**
**Facultad de Ingeniería Química**
**Universidad de Guayaquil**
**Cdla. Universitaria Salvador Allende**
**Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772**
**Guayaquil - Ecuador**

**INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO**

**INFORME Nº: LA / 103 / 18**

| | | |
|---|---|---|
| SOLICITADO POR: | ALVAREZ PRISCILA - BOBADILLA ANA PAULA | |
| EMPRESA: | - | |
| DIRECCIÓN: | Atarazana MzK3 V27[1] | |
| Fecha de inicio de análisis: | 2018 / 07 / 17 | Fecha de recepción: |
| Fecha de culminación de análisis: | 2018 / 07 / 17 | 2018 / 07 / 16 |

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS**

**CIUU: 2424** — TIPO DE MUESTRA: COMPUESTA[1]

A: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Cromo 1).[1] — FECHA DE MUESTREO: 2018 / 07 / 16[1]

B: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Cromo 2).[1]

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Resultados A | Resultados B | incert. U (k=2) | Límites Máximos Permisibles[2] | Método |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cromo Hexavalente | $Cr^{+6}$ | mg/l | No detectable | 0.003 | - | 0.5 | 8023 HACH |

**OBSERVACIONES:**

[1] Dato proporcionado por la empresa.

[2] Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

ING. MARLON RAMIREZ
DIRECTOR TÉCNICO

Fecha de emisión:
2018 / 07 / 30

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE. 23 RD EDITION

Nota: * Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.
* Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.

Fuente: (Laboratorio Aguas Petroleo y Medio Ambiente , 2018).

**Anexo G. Informe del Análisis de Cr(VI) de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera Tratada con Chlorella vulgaris en la muestra 1 y 3 (C y D)**

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

**UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD**
**LABORATORIOS**
**AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE**
**Facultad de Ingeniería Química**
**Universidad de Guayaquil**
**Cdla. Universitaria Salvador Allende**
**Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772**
**Guayaquil - Ecuador**

**INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO**

**INFORME Nº: LA / 103 / 18**

| | | |
|---|---|---|
| SOLICITADO POR: | ALVAREZ PRISCILA - BOBADILLA ANA PAULA | |
| EMPRESA: | - | |
| DIRECCIÓN: | Atarazana MzK3 V27(1) | |
| Fecha de inicio de análisis: | 2018 / 07 / 18 | Fecha de recepción: |
| Fecha de culminación de análisis: | 2018 / 07 / 18 | 2018 / 07 / 18 |

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS**

**CIUU: 2424**
C: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Cromo 3).(1)
D: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Cromo 4).(1)

TIPO DE MUESTRA: COMPUESTA(1)
FECHA DE MUESTREO: 2018 / 07 / 18(1)

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Resultados | | incert. U (k=2) | Limites Máximos Permisibles(2) | Método |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | C | D | | | |
| Cromo Hexavalente | $Cr^{+6}$ | mg/l | No detectable | 0.019 | - | 0.5 | 8023 HACH |

**OBSERVACIONES:**

(1) Dato proporcionado por la empresa.
(2) Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

ING. MARLON RAMIREZ
DIRECTOR TÉCNICO

Fecha de emisión:
2018 / 07 / 30

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE. 23 RD EDITION

Nota: * Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.
* Queda prohibido la reproduccion parcial o total de este informe sin previa autorizacion de esta Unidad.

Fuente: (Laboratorio Aguas Petroleo y Medio Ambiente , 2018).

**Anexo H. Informe del Análisis de Cr(VI) de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera Tratada con Chlorella vulgaris en la muestra 1 y 3(E y F )**

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

**UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD**
**LABORATORIOS**
**AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE**
**Facultad de Ingeniería Química**
**Universidad de Guayaquil**
**Cdla. Universitaria Salvador Allende**
**Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772**
**Guayaquil - Ecuador**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO**

**POR EL SAE CON ACREDITACIÓN**

**N° OAE LE C 08-003**

**INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO**

**INFORME N°: LA / 103 / 18**

| | | |
|---|---|---|
| SOLICITADO POR: | ALVAREZ PRISCILA - BOBADILLA ANA PAULA | |
| EMPRESA: | - | |
| DIRECCIÓN: | Atarazana MzK3 V27(1) | |
| Fecha de inicio de análisis: | 2018 / 07 / 20 | Fecha de recepción: |
| Fecha de culminación de análisis: | 2018 / 07 / 20 | 2018 / 07 / 20 |

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS**

**CIUU: 2424**
E: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Cromo 5).(1)
F: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Cromo 6).(1)

TIPO DE MUESTRA: COMPUESTA(1)
FECHA DE MUESTREO: 2018 / 07 / 20(1)

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Resultados | | incert. U (k=2) | Límites Máximos Permisibles(2) | Método |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | E | F | | | |
| *Cromo Hexavalente | $Cr^{+6}$ | mg/l | 0.020 | 0.012 | - | 0.5 | 8023 HACH |

**OBSERVACIONES:**
*Los ensayos marcados (*) NO están incluidos en el alcande de la Acreditación del SAE.
**Rango deAcreditación; DQO: 100 - 900 mg/l.
(1) Dato proporcionado por la empresa.
(2) Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

ING. MARLON RAMIREZ
DIRECTOR TÉCNICO

Fecha de emisión:
2018 / 07 / 30

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE. 23 RD EDITION

* Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.
Nota: * Queda prohibido la reproduccion parcial o total de este informe sin previa autorizacion de esta Unidad.

Fuente: (Laboratorio Aguas Petroleo y Medio Ambiente , 2018).

**Anexo I. Informe del Análisis de Cr(VI) de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera Tratada con Chlorella vulgaris en la muestra 1 y 3 (G y H)**

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

**UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD**
**LABORATORIOS**
**AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE**
**Facultad de Ingeniería Química**
**Universidad de Guayaquil**
**Cdla. Universitaria Salvador Allende**
**Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772**
**Guayaquil - Ecuador**

**INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO**

**INFORME Nº: LA / 103 / 18**

| | | |
|---|---|---|
| SOLICITADO POR: | ALVAREZ PRISCILA - BOBADILLA ANA PAULA | |
| EMPRESA: | - | |
| DIRECCIÓN: | Atarazana MzK3 V27[1] | |
| Fecha de inicio de análisis: | 2018 / 07 / 23 | Fecha de recepción: |
| Fecha de culminación de análisis: | 2018 / 07 / 23 | 2018 / 07 / 23 |

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS**

**CIUU: 2424** — TIPO DE MUESTRA: COMPUESTA[1]

G: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Cromo 7).[1] — FECHA DE MUESTREO: 2018 / 07 / 23[1]

H: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Cromo 8).[1]

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Resultados G | Resultados H | incert. U (k=2) | Limites Máximos Permisibles[2] | Método |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cromo Hexavalente | $Cr^{+6}$ | mg/l | 0.002 | No detectable | - | 0.5 | 8023 HACH |

**OBSERVACIONES:**

[1] Dato proporcionado por la empresa.

[2] Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial Nº 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

ING. MARLON RAMIREZ
DIRECTOR TÉCNICO

Fecha de emisión:
2018 / 07 / 30

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE. 23 RD EDITION

* Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.

Nota: * Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.

Fuentes: (Laboratorio Aguas Petroleo y Medio Ambiente , 2018).

**Anexo J. Informe de Cr (VI) de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera Tratada con Chlorella vulgaris en el Segundo Tratamiento de la muestra 3(I)**

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

**UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD**
**LABORATORIOS**
**AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE**
**Facultad de Ingeniería Química**
**Universidad de Guayaquil**
**Cdla. Universitaria Salvador Allende**
**Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772**
**Guayaquil - Ecuador**

**INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO**

**INFORME Nº: LA / 103 / 18**

| | | |
|---|---|---|
| SOLICITADO POR: | ALVAREZ PRISCILA - BOBADILLA ANA PAULA | |
| EMPRESA: | - | |
| DIRECCIÓN: | Atarazana MzK3 V27(1) | |
| Fecha de inicio de análisis: | 2018 / 07 / 24 | Fecha de recepción: |
| Fecha de culminación de análisis: | 2018 / 07 / 24 | 2018 / 07 / 24 |

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS**

**CIUU: 2424** — TIPO DE MUESTRA: COMPUESTA(1)

I: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Cromo 9).(1) — FECHA DE MUESTREO: 2018 / 07 / 24(1)

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Resultados I | incert. U (k=2) | Limites Máximos Permisibles(2) | Método |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cromo Hexavalente | $Cr^{+6}$ | mg/l | 0.004 | - | 0.5 | 8023 HACH |

**OBSERVACIONES:**

(1) Dato proporcionado por la empresa.

(2) Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

ING. MARLON RAMIREZ
DIRECTOR TÉCNICO

Fecha de emisión:
2018 / 07 / 30

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE. 23 RD EDITION

* Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.
Nota: * Queda prohibido la reproduccion parcial o total de este informe sin previa autorizacion de esta Unidad.

Fuente: (Laboratorio Aguas Petroleo y Medio Ambiente , 2018).

**Anexo K. Informe del Análisis de Cr(VI) y DQO de la muestra de Agua Residual de una Empresa Papelera en el Segundo Tratamiento de la muestra 3 (J)**

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

**UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD**
**LABORATORIOS**
**AGUAS PETROLEO Y MEDIO AMBIENTE**
**Facultad de Ingeniería Química**
**Universidad de Guayaquil**
**Ciudadela Universitaria Salvador Allende**
**Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772**
**Guayaquil - Ecuador**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO**
**POR EL SAE CON ACREDITACIÓN**
**N° OAE LE C 08-003**

**INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO**

**INFORME N°: LA / 103 / 18**

| | | |
|---|---|---|
| SOLICITADO POR: | ALVAREZ PRISCILA - BOBADILLA ANA PAULA | |
| EMPRESA: | - | |
| DIRECCIÓN: | Atarazana MzK3 V27(1) | |
| Fecha de inicio de análisis: | 2018 / 07 / 25 | Fecha de recepción: |
| Fecha de culminación de análisis: | 2018 / 07 / 25 | 2018 / 07 / 25 |

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS**

**CIUU: 2424** — TIPO DE MUESTRA: COMPUESTA(1)

J: MUESTRA AGUA RESIDUAL (Cromo 10).(1) — FECHA DE MUESTREO: 2018 / 07 / 25(1)

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Resultados J | incert. U (k=2) | Limites Máximos Permisibles(2) | Método |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Demanda Quimica de Oxigeno | D.Q.O. | mg/l | 297 | ± 39 | 200 | 5220D PEE/UCC/LA/03 |
| *Cromo Hexavalente | $Cr^{+6}$ | mg/l | 0.014 | - | 0.5 | 8023 HACH |

**OBSERVACIONES:**

*Los ensayos marcados (*) NO están incluidos en el alcande de la Acreditación del SAE.

**Rango deAcreditación; DQO: 100 - 900 mg/l.

(1) Dato proporcionado por la empresa.

(2) Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

ING. MARLON RAMIREZ
DIRECTOR TÉCNICO

Fecha de emisión:
2018 / 07 / 30

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE. 23 RD EDITION

Nota: * Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.
* Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.

Fuentes: (Laboratorio Aguas Petroleo y Medio Ambiente , 2018).

## Anexo L. Normativa de Limites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Límite máximo permisible |
|---|---|---|---|
| Aceites y Grasas. | Sust. solubles en hexano | mg/l | 30,0 |
| Alkil mercurio | | mg/l | No detectable |
| Aluminio | Al | mg/l | 5,0 |
| Arsénico total | As | mg/l | 0,1 |
| Bario | Ba | mg/l | 2,0 |
| Boro Total | B | mg/l | 2,0 |
| Cadmino | Cd | mg/l | 0,02 |
| Cianuro total | $CN^-$ | mg/l | 0,1 |
| Cinc | Zn | mg/l | 5,0 |
| Cloro Activo | Cl | mg/l | 0,5 |
| Cloroformo | Ext. carbón cloroformo ECC | mg/l | 0,1 |
| Cloruros | $Cl^-$ | mg/l | 1 000 |
| Cobre | Cu | mg/l | 1,0 |
| Cobalto | Co | mg/l | 0,5 |
| Coliformes Fecales | NMP | NMP/100 ml | 10000 |
| Color real [1] | Color real | unidades de color | Inapreciable en dilución: 1/20 |
| Compuestos fenólicos | Fenol | mg/l | 0,2 |
| Cromo hexavalente | $Cr^{+6}$ | mg/l | 0,5 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | $DBO_5$ | mg/l | 100 |
| Demanda Química de Oxígeno | DQO | mg/l | 200 |
| Estaño | Sn | mg/l | 5,0 |
| Fluoruros | F | mg/l | 5,0 |
| Fósforo Total | P | mg/l | 10,0 |
| Hierro total | Fe | mg/l | 10,0 |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo | TPH | mg/l | 20,0 |
| Manganeso total | Mn | mg/l | 2,0 |
| Materia flotante | Visibles | | Ausencia |
| Mercurio total | Hg | mg/l | 0,005 |
| Níquel | Ni | mg/l | 2,0 |
| Nitrógeno amoniacal | N | mg/l | 30,0 |
| Nitrógeno Total Kjedahl | N | mg/l | 50,0 |
| Compuestos Organoclorados | Organoclorados totales | mg/l | 0,05 |
| Compuestos Organofosforados | Organofosforados totales | mg/l | 0,1 |
| Plata | Ag | mg/l | 0,1 |
| Plomo | Pb | mg/l | 0,2 |
| Potencial de hidrógeno | pH | | 6-9 |
| Selenio | Se | mg/l | 0,1 |
| Sólidos Suspendidos Totales | SST | mg/l | 130 |
| Sólidos totales | ST | mg/l | 1 600 |
| Sulfatos | $SO_4^{-2}$ | mg/l | 1000 |
| Sulfuros | $S^{-2}$ | mg/l | 0,5 |
| Temperatura | °C | | Condición natural ± 3 |
| Tensoactivos | Activas al azul de metileno | mg/l | 0,5 |
| Tetracloruro de carbono | Tetracloruro de carbono | mg/l | 1,0 |

***Figura Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.***

Fuente: (TULSMA, Acuerdo Mministerial 097: Registro Oficial - Edición Especial N° 387, 2015).