

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**



**ESCUELA DE POSGRADO**

**TESIS**

**INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DE LUZ Y pH EN LA  
REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA (DBO<sub>5</sub>), DE EFLUENTES DE  
REMOJO DE CURTIEMBRE, UTILIZANDO MICROALGA *chlorella*  
*vulgaris*, A NIVEL LABORATORIO**

**PRESENTADO POR:**

**JORGE LUIS MENDOZA BOBADILLA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN ECOLOGÍA Y  
GESTIÓN AMBIENTAL**

**ASESOR:**

**Dr. JOSE VICENTE NUNJA GARCIA**

**HUACHO - 2019**

**INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DE LUZ Y PH EN LA  
REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA (DBO5), DE EFLUENTES  
DE REMOJO DE CURTIEMBRE, UTILIZANDO MICROALGA**

**JORGE LUIS MENDOZA BOBADILLA**

**TESIS DE MAESTRÍA**

**ASESOR: Dr. JOSE VICENTE NUNJA GARCIA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL**

**JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRO EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS**

**HUACHO**

**2019**



## **DEDICATORIA**

A Dios por guiar día a día mis pasos en mi vida profesional.

A mi mayor inspiración y bendición, mis hijos Jesús y Anghelo; a mi esposa Patricia del Pilar por su apoyo incondicional.

A mi madre Nélica por sus sabios consejos y recomendaciones diarias.

A mi familia, por comprenderme siempre.

*Jorge Luis Mendoza Bobadilla*

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por otorgarme la sabiduría para obtener esta meta y la vida para llegar a compartirla con mi familia y amigos. De forma muy especial agradezco al Dr. José Vicente Nunja García, director de la tesis, por creer en la idea que dio origen a esta investigación; gracias a sus conocimientos, compromiso, motivación y por todo el apoyo brindado en su desarrollo hoy puedo culminar este trabajo.

Gracias a mis padres: Sixto y Nely; por sus valores y consejos inculcados; en especial a mi madre por creer en mis expectativas siendo la principal impulsora de mis sueños.

A mis hijos y esposa Patricia del Pilar, quien con su amor y apoyo es el sostén incondicional en mi vida.

A la escuela de Postgrado de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión por permitirme formar parte de su comunidad y a sus docentes de la Maestría Ecología y Gestión Ambiental por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación del master.

Por último, a todos los compañeros del grupo de Ecología y Gestión Ambiental de la UNJFSC por brindarme su amistad y buen humor, fundamental para empezar el día con buena disposición.

Sin su apoyo, confianza y consejos este trabajo no habría sido posible. Gracias.

*Jorge Luis Mendoza Bobadilla*

# ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>ix</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Descripción de la realidad problemática</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Formulación del problema</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1 Problema general</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2 Problemas específicos</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Objetivos de la investigación</b>	<b>6</b>
<b>1.3.1 Objetivo general</b>	<b>6</b>
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Justificación de la investigación</b>	<b>6</b>
<b>1.5 Delimitaciones del estudio</b>	<b>7</b>
<b>1.6 Viabilidad del estudio</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>8</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Antecedentes de la investigación</b>	<b>8</b>
<b>2.1.1 Investigaciones internacionales</b>	<b>8</b>
<b>2.1.2 Investigaciones nacionales</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Bases teóricas</b>	<b>11</b>
<b>2.3 Definición de términos básicos</b>	<b>14</b>
<b>2.4 Hipótesis de investigación</b>	<b>16</b>
<b>2.4.1 Hipótesis general</b>	<b>16</b>
<b>2.4.2 Hipótesis específicas</b>	<b>16</b>
<b>2.5 Operacionalización de las variables</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>18</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Diseño metodológico</b>	<b>18</b>
<b>3.2 Población y muestra</b>	<b>19</b>
<b>3.2.1 Población</b>	<b>19</b>
<b>3.2.2 Muestra</b>	<b>19</b>



3.3	Técnicas de recolección de datos	19
3.3.1	Observación en microscopio de las muestras de microalgas:	19
3.3.2	Identificación de la microalga <i>Chlorella</i> :	19
3.3.3	Conteo celular manual por cámara de Neubauer:	20
3.3.4	Determinación de biomasa por peso seco:	20
3.3.5	Cosecha de Microalga:	20
3.4	Técnicas para el procesamiento de la información	20
<b>CAPÍTULO IV</b>		<b>22</b>
<b>RESULTADOS</b>		<b>22</b>
4.1	Análisis de resultados	22
4.1.1	Identificación y Cinética del crecimiento de la microalga <i>Chlorella vulgaris</i>	22
4.1.2	Caracterización del Efluente de Remojo:	23
4.1.3	Evaluación de la mejor relación en volumen de Efluente de Remojo : Microalga, en la remoción de DBO <sub>5</sub> .	24
4.1.4	Evaluación de la Intensidad de luz en la Remoción de DBO <sub>5</sub> , a pH 8.9 y 7.2	26
4.1.5	Influencia del pH en la disminución de la DBO <sub>5</sub> en efluentes de Remojo, evaluados a 3150, 5100 y 8100 lux.	28
4.1.6	Comparación de los Porcentaje de Remoción de DBO <sub>5</sub> de efluentes de Remojo, evaluados a diferentes pH e intensidades de luz.	30
4.1.7	Análisis de Varianza (ANOVA) del Porcentaje de Remoción DBO <sub>5</sub> evaluado a 4 niveles de Intensidad de luz y 2 niveles de pH.	31
4.2	Contrastación de hipótesis	34
<b>CAPÍTULO V</b>		<b>35</b>
<b>DISCUSIÓN</b>		<b>35</b>
5.1	Discusión de resultados	35
5.1.1	Identificación y Cinética del crecimiento de la microalga <i>Chlorella vulgaris</i>	35
5.1.2	Caracterización del Efluente de remojo:	35
5.1.3	Evaluación de la mejor relación en volumen de Efluente de Remojo : Microalga, en la remoción de DBO <sub>5</sub> .	36
5.1.4	Evaluación de la Intensidad de luz en la Remoción de DBO <sub>5</sub> , evaluados a pH 8.9 y 7.2	36
5.1.5	Influencia del pH en la Remoción de DBO <sub>5</sub> de efluentes de Remojo, evaluados a 3150, 5100 y 8100 lux.	37
5.1.6	Análisis de Varianza (ANOVA) del Porcentaje de Remoción DBO <sub>5</sub> evaluado a 4 niveles de Intensidad de luz y 2 niveles de pH.	38
<b>CAPÍTULO VI</b>		<b>39</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>39</b>

<b>6.1 Conclusiones</b>	<b>39</b>
<b>6.2 Recomendaciones</b>	<b>40</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>41</b>
<b>7.1 Fuentes documentales</b>	<b>41</b>
<b>7.2 Fuentes electrónicas</b>	<b>43</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO 1: Resultados obtenidos</b>	<b>48</b>
<b>Anexo 2: Registro fotográfico.</b>	<b>51</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Valores máximos admisibles de efluentes líquidos</b>	<b>4</b>
<b>Tabla 2: Operacionalización de las Variables.</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 3: Caracterización del efluente de Remojo</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 4: Análisis de Varianza para el porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub></b>	<b>32</b>
<b>Tabla 5: Pruebas de Múltiple Rangos para Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> por pH</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 6: Pruebas de Múltiple Rangos para Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> por Intensidad de Luz</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 7: Cinética de crecimiento de la microalga <i>Chlorella Vulgaris</i> por conteo celular</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 8: DBO<sub>5</sub> a diferentes relaciones en volumen de solución microalgal:efluente de Remojo, evaluados cada dos días hasta 12 días de tratamiento</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 9: DBO<sub>5</sub> a diferentes Intensidades de luz evaluados cada dos días hasta 12 días de tratamiento y pH 7.2</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 11: DBO<sub>5</sub> a diferentes pH evaluados cada dos días hasta 12 días de tratamiento y 3150 Lx</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 12: DBO<sub>5</sub> a diferentes pH evaluados cada dos días hasta 12 días de tratamiento y 5100 Lx</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 13: DBO<sub>5</sub> a diferentes pH evaluados cada dos días hasta 12 días de tratamiento y 8100 Lx</b>	<b>50</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Comparación morfológica de la microalga <i>Chlorella vulgaris</i> aislada (izquierda) vs. la microalga de referencia bibliográfica (derecha)</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2: Cinética de crecimiento de la microalga <i>Chlorella Vulgaris</i> por conteo celular.</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3: Remoción de DBO<sub>5</sub> evaluados a diferentes concentraciones de efluentes y microalga con iluminación natural.</b>	<b>25</b>
<b>Figura 4: Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> evaluados a diferentes concentraciones de efluentes y microalga con iluminación natural.</b>	<b>25</b>



<b>Figura 5: Evaluación de DBO<sub>5</sub> a diferentes niveles de intensidades de luz y evaluados pH 7.2</b>	<b>26</b>
<b>Figura 6: Porcentaje de Remoción de DBO<sub>5</sub> a diferentes niveles de intensidades de luz y evaluados pH 7.2</b>	<b>27</b>
<b>Figura 7: Evaluación de DBO<sub>5</sub> a diferentes niveles de intensidades de luz y evaluados pH 8.9</b>	<b>27</b>
<b>Figura 8: Porcentaje de Remoción de DBO<sub>5</sub> a diferentes niveles de intensidades de luz, evaluados a pH 8.9</b>	<b>28</b>
<b>Figura 9: Influencia del pH en la Remoción de DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo utilizando cultivos de C. Vulgaris, evaluado a 3150 lux.</b>	<b>29</b>
<b>Figura 10: Influencia del pH en la Remoción de DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo utilizando cultivos de C. Vulgaris, evaluado a 5100 lux.</b>	<b>29</b>
<b>Figura 11: Influencia del pH en la Remoción de DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo utilizando cultivos de C. Vulgaris, evaluado a 8100 lux.</b>	<b>30</b>
<b>Figura 12: Porcentaje de Remoción de DBO<sub>5</sub> a diferentes Intensidades de Luz y pH</b>	<b>31</b>
<b>Figura 13: Grafica de las medias para Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> por pH.</b>	<b>33</b>
<b>Figura 14: Grafica de las medias para Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> por Intensidad de luz.</b>	<b>34</b>

## RESUMEN

El presente trabajo evaluó la influencia de la iluminancia, el tiempo y el pH en la remoción de Materia Orgánica Biodegradable  $DBO_5$  de los efluentes de Remojo generados en la etapa de Ribera de la Curtiembre Junior SAC, utilizando la especie *Chlorella vulgaris* en fotobioreactores de columnas de Burbuja (BCR) a escala laboratorio; evaluando 3 niveles de Intensidad Luminosa (3150, 5100 y 8100 lux) y 2 niveles de pH (8.9 y 7.2).

En una primera fase se estudió la cinética de crecimiento de la microalga *Chlorella vulgaris* mediante conteo celular, determinando el mejor tiempo de cosecha de la microalga de 7 días. Además se determinó que la mejor relación en volumen de Efluente: microalga que muestre adaptabilidad de la microalga y eficiencia en remover  $DBO_5$ , es de 1:1 respectivamente.

Se demostró que el pH e Intensidad de luz influyen en la remoción de  $DBO_5$ , concluyendo que el mejor nivel de Intensidad luminosa y pH son 5100 Lux y 7.2 respectivamente, obteniendo 91 % de Remoción de  $DBO_5$  en 12 días.

Los resultados permiten sugerir que el tratamiento de los efluentes de Remojo de curtiduría con la microalga *Chlorella vulgaris* es un método viable en la remoción de materia orgánica biodegradable  $DBO_5$ .

Palabras clave: Microalga, *Chlorella vulgaris*, Efluentes de Remojo,  $DBO_5$ .

## ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the influence of illuminance and pH in the removal of Biodegradable Organic Material BOD<sub>5</sub> from the soaking effluents from the Ribera de la Curtiembre Junior SAC, using the *Chlorella vulgaris* species in photobioreactors of columns of Bubble (BCR) at laboratory scale; evaluating 3 levels of Luminous Intensity (3150, 5100 and 8100 lux) and 2 pH levels (8.9 and 7.2).

In a first phase, the growth kinetics of *Chlorella vulgaris* microalgae was studied by cell counting, determining the best harvest time of the microalga of 7 days. In addition, it was determined that the best volume ratio of Effluent: microalgae that shows adaptability of the microalga and efficiency in removing BOD<sub>5</sub>, is 1: 1 respectively.

It was demonstrated that the pH and intensity of light influence the removal of BOD<sub>5</sub>, concluding that the best level of light intensity and pH are 5100 Lux and 7.2 respectively, obtaining 91% of BOD<sub>5</sub> Removal in 12 days.

The results allow to suggest that the treatment of tanning soda effluents with the *Chlorella vulgaris* microalgae is a viable method in the removal of biodegradable organic material BOD<sub>5</sub>.

Keywords: Microalga, *Chlorella vulgaris*, Effluents of Remojo, DBO<sub>5</sub>

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los problemas ambientales generados por la Industria de Curtiduría han recibido mayor atención, por ser una de las Industrias que genera efluentes contaminados.

Los efluentes generados por esta Industria tienen impactos negativos al medio ambiente debido al uso en sus procesos de agentes químicos los cuales están presentes en cantidades apreciables en sus efluentes tales como sulfuros, cromo, sulfatos, materia orgánica biodegradable así como agentes orgánicos persistentes, tales como colorantes azoicos (De Gisi et al., 2009 & Gallego et al. 2013).

Uno de los principales problemas de contaminación que nos enfrentamos en las últimas décadas es el inadecuado manejo de las aguas residuales domésticas, que son vertidas a cuerpos de agua y reutilizadas sin un adecuado tratamiento, constituyendo no sólo un problema de contaminación de los recursos hídricos y la pérdida de ecosistemas, sino también un riesgo para la salud pública y la alteración del bienestar de la población (Lofrano et al, 2013).

El curtido de pieles es una de las industrias de mayor importancia en la Provincia de Trujillo – Perú. Actualmente existen más de 80 curtiembres distribuidas en tres distritos: La Esperanza, El Porvenir y Florencia de Mora. Sin embargo, debido a una mala política de planificación en los sectores industriales, no existe un sistema para tratar las aguas residuales. Por lo que, todas las curtiembres vierten sus efluentes líquidos al colector de aguas domésticas. Esto ha generado en el tiempo, que cada empresa destine un área para acondicionar las aguas residuales a las normas ambientales vigentes (Moura, 2018).

Debido a los problemas ambientales y de salud asociados al mal manejo de los productos químicos de la industria, los países a través de sus políticas públicas, han establecido normas cada día más rigurosas para controlar las emisiones de estos contaminantes (Moura, 2018).

Muchas curtiembres formales han cerrado, debido a las exigencias de los diferentes ministerios; como es el cumplimiento de los Valores Máximos Admisibles (VMA) para poder descargar sus aguas residuales al sistema de alcantarillado doméstico por parte del Ministerio de Vivienda. A partir del año 2013, las funciones de supervisión, evaluación y fiscalización en el sector de industrial las asume el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), no solo para el rubro del cuero, sino también en los rubros de cerveza,



papel, cemento, ya que el Ministerio de Producción realizó la transferencia de funciones a través del DS N° 009 – 2011 – MINAM. (OEFA, 2013; Castañeda & Castillo, 2016).

Al ver todas estas exigencias, algunas curtiembres formales han reaparecido como curtiembres informales debido a las leyes y regulaciones que tienen que cumplir. (Carbonell, 2018)

Castañeda y Castillo (2016) mencionan que un sector de las curtiembres formales alquila sus servicios a los curtidores informales como un medio de generar ingresos.

El problema que generan los efluentes líquidos de las curtiembres, implica: la necesidad de un desarrollo tecnológico, el posible cierre de la industria, generar cambios en el proceso y el factor social si las curtiembres son cerradas por no cumplir la norma ambiental.

Moura señala que el uso de la tecnología de filtración con membranas: nanofiltración como tratamiento de los efluentes finales de curtiembre, es una alternativa de solución, porque no requiere de mucho espacio, es una tecnología limpia y el agua puede ser reutilizada para el proceso o en otro tipo de actividades (2018:76).

Por todo lo mencionado anteriormente, es necesario adecuar e implantar tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales generadas en el proceso de pieles en curtiembres, con la finalidad de cumplir con la legislación vigente, de tal manera que la industria del cuero opere de una forma responsable y que su producción no tenga consecuencias futuras.



# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

El deterioro del medio ambiente hoy en día no es una novedad. En las últimas décadas la preocupación por el medio ambiente y su interés de la sociedad civil va en aumento; esto ha determinado que las organizaciones, sea cualquiera el rubro a que se dediquen tengan que adecuar sus actividades operando en armonía con el medio ambiente.

La industria del curtido de pieles no es ajena a esta realidad, debido a la estrecha relación de sus actividades con el medio ambiente. El curtido de pieles de ovino o vacuno en cuero terminado se obtienen mediante un proceso químico.

Jordan (2012) afirma que “las curtiembres son industrias de alto impacto en el aspecto económico, social y ambiental, por la cantidad de recursos que movilizan tienen una participación del 11% en el mercado mundial del cuero”. (p.xviii)

Rodriguez y Zapata mencionan que, en las últimas décadas la industria de curtido de pieles ha causado mayor preocupación ambiental, por el elevado consumo de agua en sus procesos y la variedad de sustancias químicas utilizadas, generando efluentes en sus procesos con altas cargas contaminantes como sulfuros, cromo, colorantes y materia orgánica biodegradable principalmente (Rodriguez y Zapata, 2015, p.15).

Para procesar una tonelada de pieles crudas a cuero terminado es necesario 500 Kg de productos químicos, estimándose que un 85 % de estos productos no se incorpora en el cuero final terminado. Además, se eliminan en los efluentes líquidos los residuos que acompañan a la piel como son grasas, arenas, recorte de pieles; de la cual solo se aprovecha el 20 % del peso de la piel cruda. Generando apreciables cantidades de residuos sólidos y aguas residuales, conteniendo una serie de productos químicos altamente contaminantes que son eliminados en sus efluentes (Greenpeace, 2018, p.4).

Al degradarse la materia orgánica contenida en los efluentes que liberan las curtiembres consume el oxígeno disuelto de los cuerpos de agua que las receptionan, provocando un impacto en la vida acuática.

A nivel mundial la industria de curtiembre es considerada como altamente contaminante debido a las altas cargas contaminantes presente en sus aguas residuales, impactando en la calidad de vida de las poblaciones aledañas a sus operaciones.

Artuz, Martínez y Morales (2018) en su estudio sobre los impactos ambientales en el río Bogotá de la industria de curtición de pieles, analiza el caso en Colombia y Uruguay afirmando lo siguiente:

En Colombia, según la Corporación Autónoma Regional en su reporte del año 2006, se localizan 737 curtiembres, 121 ubicadas en la provincia de Almeidas municipio de Villapinzón, 50 en el municipio de Chocontá, 9 en el municipio de Cogua y 350 en el sector de San Benito en Bogotá; cuyos efluentes con elevados niveles de contaminación son eliminados directamente al río Bogotá, los cuales impactan negativamente al medio ambiente afectando la salud y la calidad de vida de sus operarios y los residentes aledaños.

En el año 2005, el Departamento Administrativo del Medio Ambiente con el objetivo que las curtiembres adecuen sus operaciones y minimicen las descargas de residuos al sistema de alcantarillado domestico cerraron temporalmente 35 curtiembres (Artuz, L.; Martínez, M.; Morales, C. 2018).

En el año 2005 el Instituto de Ingeniería Química y el Laboratorio Tecnológico reportaron que la industria del curtido de pieles en Uruguay procesa al año 1,7 millones de pieles de vacuno y 3 millones de bovino, a su vez generan 260 TN de óxido de cromo en sus vertimientos aproximadamente, los cuales son emitidos directamente al sistema de alcantarillado municipal siendo su destino final los cursos de agua. (Artuz, L.; Martínez, M.; Morales, C., 2018, p. 46).

Las economías en desarrollo, como Pakistán, requieren una mayor consideración en el contexto de los problemas relacionados con la contaminación del agua. Aunque el hecho de que la industria del cuero sea un sector económico líder en Pakistán, existe un creciente deterioro ecológica debido a la producción de grandes cantidades de efluentes líquidos provenientes de las curtiembres, potencialmente tóxicas que contienen cromo trivalente y hexavalente.

En la ciudad de Kasur se concentran la mitad de curtiembres existentes en Pakistan, cuyos efluentes son eliminados al medio ambiente sin ningún procesamiento ni tratamiento, provocando un dilema ambiental perdurable debido a su impacto potencial sobre la población, en el agua acuática receptora y los efectos inminentes sobre la salud humana. Además, estas sustancias tóxicas hacen su entrada a los acuíferos superficiales y subsuperficiales lo que da como resultado la contaminación del riego y el agua potable. (Wise, J.P., Wise T., Zhang, Y. , Romano, T., O'Hara, T., 2008) (Lubna, S., Sohail E., Muhammad A., Naureen A., Aftab A., Imran I., Aqeel J. , 2012).

En nuestro país muchas industrias emiten aguas residuales contaminadas a ríos y mares poniendo en peligro la vida acuática que existe en ellas. Siendo las curtiembres las de mayor importancia por la mayor carga contaminante que presentan, cuyos efluentes contienen sulfuro, cromo, materia orgánica y colorantes. Las industrias de curtición de pieles, en nuestro país están ubicadas principalmente en las ciudades de Trujillo Arequipa y Lima, tanto las formales como las informales. Rey de Castro (2013) afirma que el Reporte Técnico del Ministerio de Industria, Turismo, Integración y Negociaciones comerciales Internacionales (MITINCI) recomendó que necesariamente en los parques industriales de estas ciudades deben instalarse una planta de tratamiento de efluentes comunes y para las curtiembres planta de tratamiento y recuperación de cromo para su reutilización; hasta el día de hoy solamente el parque industrial de Arequipa cuenta con su planta de tratamiento para sus efluentes (Rey de Castro, 2013). Actualmente siguen apareciendo curtiembres que trabajan en la informalidad eliminando sus aguas residuales que generan directamente red de alcantarillado municipal, dificultando la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

Las entidades encargadas del cumplimiento de las normativas ambientales de cumplimiento del sector curtiembre tenemos al Ministerio de Producción quien regula los Límites Máximos Permisibles (LMP), el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental con competencias fiscalizadoras y al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento exigiendo el cumplimiento de Valores Máximos Admisibles para las descargas de aguas residuales No domésticas en el sistema de alcantarillado. Los principales VMA dados por el Ministerio de vivienda se detallan en la tabla 1, (Castañeda & Castillo, 2016 & Sedapal,s.f.).

**Tabla 1: Valores máximos admisibles de efluentes líquidos**

Parámetro	Valores máximos admisibles,
	VMA
DQO, mg/l	1000
DBO, mg/l	500
Sulfuros, mg/l	5
Cromo total, mg/l	10

Nota: Decreto Supremo N° 001-2015-Vivienda

Actualmente el mercado internacional exige competitividad en calidad de producto, precio y condiciones ambientales de producción, generando nuevos desafíos de competitividad para poder sostenerse en el mercado internacional (Salcedo, I. 2014).

La Industria del curtido de pieles en nuestro país, se concentra mayoritariamente en las ciudades de Arequipa, Lima y Trujillo.

En la ciudad de Trujillo se comercializa pieles y cuero terminado de vacuno, ovino y caprino.

En la Región La Libertad, una de las principales actividades económicas es el sector curtiembre, así como la comercialización de cuero y calzado, siendo considerada la ciudad de Trujillo “La capital del calzado del Perú”.

Castillo y Pinedo manifiestan que, en la ciudad de Trujillo existen alrededor de 85 curtiembres entre las formales e informales; solamente 20 de ellas están ubicadas en el Parque Industrial de la Esperanza, las restantes en zonas urbanas de los distritos del Porvenir, Moche, La esperanza y Florencia de Mora (Castañeda y Castillo, 2016 & Pinedo, 2012).

La ciudad de Trujillo cuenta con un parque industrial que agrupa a un importante número de curtiembres, pero hasta el día de hoy no cuenta con una planta para dar tratamiento a los efluentes líquidos que generan; emitiendo sus efluentes al alcantarillado de efluentes domésticos (Medrano, 2017).

Con el crecimiento poblacional sin ningún control territorial por parte de las autoridades, el parque industrial de la ciudad de Trujillo que alguna vez estuvo alejada de la ciudad, hoy en día está rodeada casa que conviven con las industrias; cuyos



residentes protestan por los malos olores generados por los residuos sólidos y los efluentes.

A todo ello, se suma que muchas curtiembres informales de los distritos Florencia de Mora y el Porvenir operan dentro de sus propios domicilios (Rivera, 2010).

Ante esta realidad el tratamiento de los efluentes generados por las curtiembres a base de microalgas se presenta como una nueva alternativa, presentado mayor sustentabilidad ambiental que otras formas de tratamiento ya que este no genera contaminantes adicionales, haciendo uso de la biomasa generada (Pittman J.K., 2011).

## **1.2 Formulación del problema**

De acuerdo a la realidad problemática se ha creído conveniente estudiar la remoción de materia orgánica ( $DBO_5$ ) de efluentes de Remojo de curtiduría utilizando microalga *chlorella vulgaris*.

### **1.2.1 Problema general**

¿En qué medida las condiciones de tratamiento intensidad de luz y pH influyen en la remoción de materia orgánica expresada en  $DBO_5$  de efluentes de Remojo de Curtiduría utilizando microalga *chlorella vulgaris*?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿De qué manera el pH del medio de tratamiento influye en la remoción de  $DBO_5$  de efluentes de Remojo de Curtiduría utilizando microalga *chlorella vulgaris*?
- ¿De qué manera la intensidad de luz del medio de tratamiento influye en la remoción de  $DBO_5$  de efluentes de Remojo de Curtiduría utilizando microalga *chlorella vulgaris*?



### 1.3 Objetivos de la investigación

Con la realidad descrita, los objetivos de la investigación son:

#### 1.3.1 Objetivo general

Determinar si las condiciones de tratamiento intensidad de luz y pH influyen en la remoción de materia orgánica expresada en DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo de Curtiduría utilizando microalga chlorella vulgaris.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la influencia del pH del medio de tratamiento en la remoción de DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo de Curtiduría mediante microalga chlorella vulgaris.
- Establecer la influencia de la intensidad de luz del medio de tratamiento en la remoción de DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo de Curtiduría utilizando microalga chlorella vulgaris.

### 1.4 Justificación de la investigación

Los efluentes de Remojo de la etapa de Ribera de la Industria de Curtiduría contienen elevadas cantidades de materia orgánica biodegradable, pH básicos, pero no contienen sustancias tóxicas como sulfuros, cromo ni colorantes inorgánicos, motivo por el cual estos representan una buena fuente de nutrientes para el cultivo de microalgas.

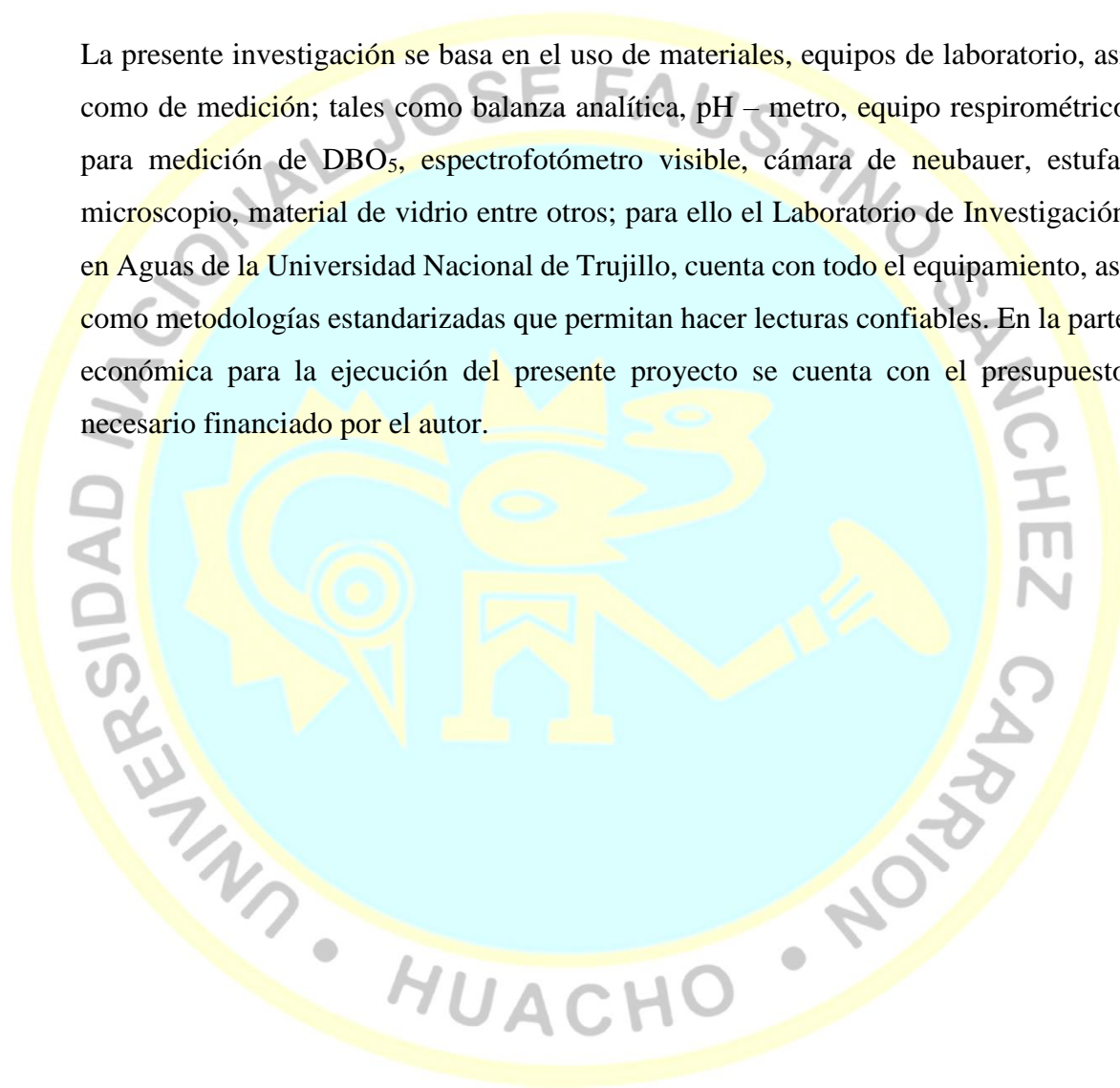
De esta manera, la presente investigación pretende dar tratamiento a las aguas de Remojo removiendo la materia orgánica biodegradable (DBO<sub>5</sub>) utilizando microalga chlorella vulgaris, en un fotobiorreactor a escala laboratorio. La importancia del presente proyecto radica en ofrecer una alternativa de tratamiento a los efluentes de Remojo de Curtiembre disminuyendo los niveles de DBO<sub>5</sub> y generando biomasa microalgal con potencial uso en la generación de metano y extracción de lípidos para obtener biodiesel.

## **1.5 Delimitaciones del estudio**

El proyecto de investigación se desarrolló en el Laboratorio de Investigación en Aguas de la Universidad Nacional de Trujillo, con los efluentes provenientes de la etapa de Remojo de la curtiembre Junior SAC, ubicada en el Parque Industrial de la ciudad de Trujillo, departamento de La Libertad – Perú.

## **1.6 Viabilidad del estudio**

La presente investigación se basa en el uso de materiales, equipos de laboratorio, así como de medición; tales como balanza analítica, pH – metro, equipo respirométrico para medición de DBO<sub>5</sub>, espectrofotómetro visible, cámara de Neubauer, estufa, microscopio, material de vidrio entre otros; para ello el Laboratorio de Investigación en Aguas de la Universidad Nacional de Trujillo, cuenta con todo el equipamiento, así como metodologías estandarizadas que permitan hacer lecturas confiables. En la parte económica para la ejecución del presente proyecto se cuenta con el presupuesto necesario financiado por el autor.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

En bibliografía se cuenta con numerosos estudios referente a los efectos de factores fisicoquímicos como temperatura, intensidad de luz, concentración de nutrientes, etc en el crecimiento de las microalgas acumulando biomasa (Gong Y. y Jiang M. , 2011).

##### 2.1.1 Investigaciones internacionales

**García Cubero, Rafael (2012)**, en su tesis Doctoral estudió la “Producción de biomasa de microalgas rica en carbohidratos acoplada a la eliminación fotosintética de CO<sub>2</sub>” Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis de la Universidad de Sevilla; a continuación, se detallan los objetivos y las conclusiones obtenidas:

Objetivo principal evaluar la viabilidad de sistemas de cianobacterias y/o microalgas para la producción de materia orgánica rica en carbohidratos, acoplada a la eliminación del CO<sub>2</sub> presente en mezclas gaseosas procedentes de emisiones industriales. Llegando a las siguientes conclusiones:

- De entre once cianobacterias y microalgas, *Scenedesmus vacuolatus* y *Chlorella vulgaris* son las especies cuyas características son las más adecuadas para destinarlas a la generación de biomasa rica en carbohidratos con CO<sub>2</sub> como fuente de carbono.
- El principal factor condicionante tanto del crecimiento de *Chlorella vulgaris*, como de la producción de biomasa y fijación de CO<sub>2</sub> por sus cultivos es la iluminancia promedio, seguido en importancia por temperatura, disponibilidad de nitrógeno y pH.
- Las condiciones que más favorecen la acumulación de almidón por *Chlorella vulgaris* son: pH 7.0; temperatura 25°C (García, R. 2012).

**Ruiz Martínez, Ana (2011)** en su tesis para optar el grado de magister titulada “Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente” Universidad Politécnica de Valencia, España, a continuación, se detallan los objetivos y las conclusiones obtenidas:

Tuvo como objetivo principal evaluar el cultivo de algas autóctonas en condiciones controladas de luz, temperatura y nutrientes, pero teniendo como aporte de nutrientes a las aguas finales de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas; llegando a la siguiente conclusión:

- Si es factible cultivar microalgas con aguas provenientes de un sistema de tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas, desarrollándose y aumentando su biomasa de forma satisfactoria; eliminando los fosfatos, nitratos y nitrógeno amoniacal, los cuales son tomados como nutrientes para su desarrollo (Ruiz, A., 2011).

**Sacristán de Alva, Manuel (2013)** en su tesis que para optar por el grado de maestro en Ingeniería “Producción de biodiesel a partir de microalgas empleando diferentes calidades de agua”, Universidad Nacional Autónoma de México; a continuación, se detallan los objetivos y las conclusiones obtenidas:

Objetivo principal Determinar el potencial que tienen diferentes especies de microalgas para remover el nitrógeno y el fósforo en diferentes calidades de agua, pudiendo generar biomasa en la cual se acumulen lípidos que posteriormente sean utilizados para la producción de biodiesel.; llegando a la siguiente conclusión:

- La mayor eficiencia de remoción de nutrientes para los cultivos de la especie *C. vulgaris* se obtuvo en agua residual, siendo de 78.4 % en el caso de los fosfatos, de 66.5 % para los nitratos y de 65.2 % para la DQO; la eficiencia de remoción para el nitrógeno orgánico y amoniacal fue similar en el agua residual y el agua tratada, siendo de 91.5 % y 93 % respectivamente, esto se obtuvo en 13 días de cultivo. Se obtuvo la mayor concentración de biomasa seca en los cultivos de agua residual (1,149 mg/L), con el mayor contenido de lípidos (22.4 %) (Sacristán de Alva, M. 2013).



Es factible el uso de microalgas en el tratamiento de efluentes industriales; producto de la fotosíntesis generan micro burbujas de oxígeno, reduciendo la carga orgánica biodegradable.

Sin embargo, los efluentes de las curtiembres presentan características muy tóxicas, altos contenidos en cromo y colorantes haciendo difícil su tratamiento; existiendo escasa información en cultivo de microalgas con efluentes de curtiembres (Dixit et al., 2015 & Xinbei et al., 2016).

### 2.1.2 Investigaciones nacionales

**Carbonell Muñoz, J. y Tamayo Jara, K. (2018)** en su tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental evaluaron la “Influencia de la iluminancia y tiempo de remoción de materia orgánica, expresada en DBO<sub>5</sub>, de efluentes de remojo en curtiembres, utilizando chlorella pyrenoidosa en un fotobiorreactor a escala laboratorio” en la Universidad Nacional de Trujillo, Perú; a continuación, se detallan los objetivos y las conclusiones obtenidas:

Objetivo principal determinar la influencia de la iluminancia y tiempo de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno utilizando Chlorella Pyrenoidosa en un fotobiorreactor a escala laboratorio; llegando a las siguientes conclusiones:

- La iluminancia es un parámetro que influye en el crecimiento microalgal; a 8200 Lx ocurrió la fotoinhibición, el cual es un factor limitante en el crecimiento microalgal.
- La eficiencia de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno se dio a los 5100 Lx; obteniendo resultados de remoción de hasta un 89%, utilizando la especie Chlorella Pyrenoidosa (Carbonel y Tamayo, 2018).

**Castañeda Flores, L. y Castillo Cabrera, J. (2016)** en su tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental estudió la “Influencia de la iluminancia pH y tiempo de remoción de sulfuros, sólidos suspendidos, Demanda Química y Biológica de Oxígeno de efluentes de Ribera en curtiembres, utilizando microalgas en un



fotobiorreactor a escala laboratorio” en la Universidad Nacional de Trujillo, Perú; a continuación, se detallan los objetivos y las conclusiones obtenidas:

Objetivo principal fue evaluar la Influencia de la intensidad de luz, pH y tiempo en la remoción de Sulfuros, sólidos suspendidos, Demanda Química y biológica de Oxígeno de los efluentes de Ribera utilizando microalgas en un fotobiorreactor a escala laboratorio; llegando a las siguientes conclusiones:

- La intensidad de luz, el pH y el tiempo influyen directamente en la eliminación de Sulfuros, sólidos suspendidos, Demanda química y Biológica de Oxígeno de los efluentes de Ribera de curtiembre.
- La intensidad de luz afecta directamente la cinética de crecimiento de las microalgas, sin embargo, existe un factor de foto-inhibición cuando la iluminancia es excesiva, concluyendo que en el tratamiento de efluentes de Ribera con microalga *Scenedesmus* sp a 5700 Lux de iluminancia se presentan los mejores resultados.
- El pH afecta al crecimiento de las microalgas y en la remoción de Sulfuros, demanda Química y Biológica de Oxígeno de las aguas de ribera de curtiembre, evaluando desde pH 9 a 11.5 concluyendo que el mejor pH para el crecimiento de la microalga *Scenedesmus* sp. 9.0. (Castañeda y Castillo, 2016).

## 2.2 Bases teóricas

### **Etapas en el proceso de curtición de pieles.**

La transformación de las pieles en cuero terminado se lleva a cabo en 3 etapas. La etapa de Ribera comprende los procesos de Lavados y Remojo que permiten eliminar la suciedad y las grasas de las pieles mediante un tratamiento con enzimas antes de comenzar el depilado de las pieles (Pelambre), para ello utilizan cal y sulfuro de sodio, logrando eliminar el pelo y la epidermis; quedando listas las pieles para el proceso de curtido y recurtido; etapa en la que se transforma la piel en cuero para su posterior acabado final; quedando listas para su comercialización.

### **Balance de consumo de agua de proceso en la curtiembre Junior SAC**

Realizando un balance de agua de proceso en la curtiembre Inversiones Junior SAC, se determinó que la etapa de Ribera consume el 70 % del agua de proceso (40 % en

Remojo y 30 % en Pelambre), las etapas de Curtido y Acabado consumen el 20 % cada una de ellas; siendo necesaria separar los efluentes antes del tratamiento.

**Condiciones óptimas de crecimiento:** Barona, A. (2014) expresa que, para un óptimo crecimiento la microalga *Chlorella* necesita dióxido de carbono, agua y luz, los nutrientes (Nitrógeno, Fósforo y hierro) deben ser proporcionados por el medio del cultivo; respecto a la temperatura del medio debe encontrarse en el intervalo de 15 a 30 °C. Temperaturas por debajo de 15°C retardan el crecimiento de las especies, a temperaturas superiores a 35°C es letal, deben permanecer generalmente dentro de 18 a 30 °C.

Estrés metabólico y síntesis de lípido: las microalgas buscan adaptarse a sus condiciones ambientales con el fin de almacenar o incrementar la eficiencia en la utilización de los recursos que dispone. En general el crecimiento en biomasa microalgal (consiste en un 40% de carbono) depende del suministro suficiente de una fuente de carbono, pH y luz para realizar la fotosíntesis (Lin, Q.; Lin, J., 2011).

Sin embargo, se puede ajustar o cambiar su estructura interna, cuando en el exterior se realiza variaciones o se modifican los nutrientes disponibles (Liu, Wang, & Zhou, 2008).

La producción y composición de lípidos, depende en primera medida de la constitución genética y del tipo de microalga, sin embargo, esta producción se puede ver afectada por las condiciones físicas, químicas, pH, salinidad, temperatura, disponibilidad y tipo de nutrientes del medio de cultivo, la fase de crecimiento en que se encuentre la célula, el tipo y la intensidad de luz. La limitación de nutrientes y la adecuación a diferentes condiciones de su entorno hacen que se evidencien diversas respuestas en las células como cambios morfológicos, alteración en la permeabilidad de las membranas, acumulando lípidos, reduciendo la actividad fotosintética y modificando el proceso metabólico (Gouveia & Oliveira, 2009).

Otras ventajas son que las microalgas no compiten por tierras cultivables, pueden fijar CO<sub>2</sub>, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorando la calidad del aire y los productos de desecho después de la extracción de lípidos pueden ser usados como fertilizantes (Cai, Park, & Li, 2013).

### **Microalgas como alternativa en el tratamiento de aguas.**

Las microalgas requieren elevados volúmenes de medios de cultivo para su crecimiento a gran escala, lo que conlleva mayores costos de operación asociados al suplemento de nutrientes. Según Lee (2013) para generar 1 kg de microalgas se requieren aproximadamente 1.8 kg de CO<sub>2</sub>, 3.7 kg de agua, 0.33 kg de nitrógeno y 0.71 kg de fosfatos, si se usa agua fresca sin reciclaje, este consumo de agua y recursos hace que el cultivo de algas sea muy costoso (Lee et al., 2013). Pero si las aguas residuales que contienen nutrientes como nitrógeno amoniacal, nitratos y fosfatos se pudieran usar como fuente de nitrógeno y fósforo, la producción en masa de microalgas sería más factible económicamente (Wu P.F., 2013).

La implementación de una estrategia eficiente para combinar el tratamiento de efluentes líquidos con la producción de biomasa microalgal como materia prima para biocombustibles permitirá minimizar el uso de agua fresca que es un recurso muy preciado actualmente.

Un tratamiento de aguas residuales a base de algas es más ambientalmente sustentable que algunas otras formas de tratamiento ya que este no genera contaminantes adicionales, si se hace uso de la biomasa generada.

La habilidad de las microalgas para crecer en ambientes ricos en nutrientes y acumular metales del agua residual, las hace atractivas para tratamientos de agua sostenibles y de bajo costo.

El crecimiento eficiente de microalgas en aguas residuales y su contenido en lípidos depende de varios factores tales como el pH, la temperatura del medio de cultivo, disponibilidad de luz, CO<sub>2</sub> y la concentración de nutrientes esenciales en el medio de cultivo como el nitrógeno, fósforo y carbono orgánico, además de la relación entre estos nutrientes (Pittman et al., 2011).

La eficiencia de los tratamientos de agua basados en microalgas por lo general decrece a bajas temperaturas, con altas concentraciones de oxígeno disuelto debido a que se produce un daño foto-oxidativo en las células y con bajas o muy altas intensidades de luz solar (Wang et al., 2011).

La fotoinhibición puede producirse durante días soleados o con bajas concentraciones de algas ya que la intensidad de la luz no es reducida por las células que están en la

superficie. Se ha determinado mediante la realización de experimentos al aire libre con agua residual doméstica que el factor principal que limita el crecimiento de las algas es la luz.

Las algas que han sido más estudiadas en el tratamiento de aguas residuales pertenecen a los géneros *Anabaena*, *Phormidium*, *Spirulina*, *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Scenedesmus* (Hoffmann, 1998).

Las especies de microalgas *Chlorella* son ampliamente utilizadas para el tratamiento de aguas residuales y han probado tener altos porcentajes de remoción de fósforo, nitrógeno y materia orgánica biodegradable DBO5 con diferentes tiempos de retención que va entre 1 a 20 días en un consorcio con bacterias o por ellas mismas, demostrando así que existe potencial para remplazar los sistemas convencionales en el proceso secundario o terciario para la reducción del contenido de nutrientes en un agua residual con la producción de biomasa (Sacristán de Alva, 2013).

### 2.3 Definición de términos básicos

**Las microalgas:** Constituyen un grupo muy amplio y variado de microorganismos fotosintéticos unicelulares que comprenden organismos eucariotas y a cianofíceas procariotas. Desde el punto de vista biotecnológico, el término microalga hace referencia a aquellos microorganismos que contienen clorofila a y otros pigmentos fotosintéticos similares. Por tanto, son capaces de realizar la fotosíntesis oxigénica, tomado de <https://w3.ual.es/~jlguil/Investigacion/Composicion.htm>

Las microalgas presentan tamaño y forma muy diversas, existiendo en casi todos los hábitats acuáticos conocidos, tanto marinos como dulceacuícolas (Hun, Y. 2010).

Estas especies contienen lípidos en sus membranas y metabolitos como fuente de energía; actualmente representa una opción de interés en la producción de biodiesel utilizándolo como materia prima; en comparación con los cultivos de plantas (Guedes, A. Amaro, H., 2011).

**Microalga *Chlorella*:** López (2015) menciona que “El nombre *Chlorella* deriva del griego *Chloros*, que significa verde, y del latín *ella*, que significa cosa pequeña; descubierta y nombrada por el holandés Martinus Willem Beijerincken 1890”. Teniendo las siguientes características:



División	:	Chlorophyta.
Clase	:	Chlorophyceae.
Color	:	Verde.
Forma	:	Esférica.
Forma de Crecer	:	Células simples.
Tamaño	:	2 - 8 $\mu\text{m}$ de diámetro

Las microalgas son una de las primeras formas de vida, existiendo en la tierra hace 2,5 millones de años. En la actualidad, se cultiva de forma masiva con fines alimenticios (Lopez, M. 2015).

Según Infante (2011) menciona que la microalga chlorella por el tamaño que presenta es posible observarla en microscopio, una célula individual mide 6/1000 mm de ancho; el color verde característico se debe al elevado contenido de clorofila (Infante et al., 2011).

Estos microorganismos representan una materia prima que se caracteriza por tener una alta tasa fotosintética, es decir que son de rápido crecimiento, tener adaptabilidad ambiental, producciones mayores de biomasa y tasas de crecimiento superiores comparadas con las plantas oleaginosas (Lee et al., 2012).

Tupiño (2016) en su tesis “Cultivo de la microalga Scenedesmus Obliquus para la obtención de biomasa y lípidos” muestra los siguientes conceptos:

**Fotobiorreactores:**

Unidades de cultivo donde se genera la fotosíntesis controlando las condiciones físicas y las variables químicas de cultivo,

Sistemas cerrados o con bajo contacto con la atmosfera, donde se desarrolla el cultivo y producción de microalgas, controlando las condiciones físicas y las variables químicas de cultivo.

Lípidos Conjunto de moléculas orgánicas (la mayoría biomoléculas), que están constituidas principalmente por carbono e hidrógeno y en menor medida por oxígeno (Tupiño M., 2016).

### **Cinética de crecimiento de microalga:**

Incremento progresivo de la población de las microalgas, aumentando su tamaño mediante un proceso metabólico, dividiéndose las células.

La cinética de crecimiento de la microalga consta de cinco fases: adaptación, crecimiento exponencial, crecimiento lineal, estacionaria y de muerte, como se muestra en la figura 1.

En la primera fase las microalgas no presentan crecimiento teniendo que adecuarse a las condiciones de cultivo; en la fase siguiente el crecimiento es acelerado aumentando la biomasa. En la tercera fase las células de microalga se siguen multiplicando hasta llegar a reducir la producción de biomasa, llegando a la cuarta etapa donde el crecimiento es lineal; por último, las células de microalgas mueren terminando su ciclo (Ruiz, J. 2015).

## **2.4 Hipótesis de investigación**

### **2.4.1 Hipótesis general**

Las condiciones de tratamiento intensidad de luz y pH tienen influencia en la remoción de materia orgánica expresada en DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo de Curtiduría utilizando microalga chlorella vulgaris.

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

- El pH del medio de tratamiento tiene influencia en la remoción de DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo de Curtiduría utilizando microalga chlorella vulgaris.
- La intensidad de luz del medio de tratamiento influye en la remoción de DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo de Curtiduría utilizando microalga chlorella vulgaris

## 2.5 Operacionalización de las variables

En la siguiente tabla se presenta la operacionalización de las variables del presente estudio, sus dimensiones e indicadores.

**Tabla 2: Operacionalización de las Variables.**

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>V. INDEPENDIENTE</b>		
➤ CONDICIONES DE OPERACIÓN	- El pH	- pH alto : 8.9 - pH bajo : 7.2
	- Intensidad de luz, Lux	- Alto : 8100 - Medio: 5100 - Bajo : 3150
<b>V. DEPENDIENTE.</b>		
➤ REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.	- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	- mg de oxígeno consumido en 5 días.

Nota: Elaboración propia.

## CAPÍTULO III METODOLOGÍA

### 3.1 Diseño metodológico

La presente Investigación es de naturaleza experimental; debido a que se realizará más de una medición durante todo el experimento en los diferentes tratamientos.

A continuación, se describen los métodos que se llevarán a cabo para evaluar la remoción de materia orgánica ( $DBO_5$ ) de los efluentes de Remojo de la Curtiembre Junior SAC en un fotobiorreactor controlado, utilizando microalga *Chlorella vulgaris*; evaluando la influencia del pH y la Intensidad de luz en el tratamiento.

Para tal fin, se diseñó y construyeron 6 reactores de plástico transparente de 3 litros de capacidad, donde se llevó a cabo el cultivo de microalgas.

La experimentación consistió en inocular la microalga *Chlorella vulgaris* a diferentes condiciones (Intensidad de luz y pH) utilizando efluente de Remojo de la Curtiembre Junior SAC como fuente de nutrientes previamente autoclavadas.

Las muestras de efluentes previamente se caracterizaron analizando los siguientes parámetros  $DBO_5$ , turbidez.

El trabajo experimental se dividió en 3 etapas.

**Etapa I:** Evaluar la cinética de crecimiento del cultivo de microalga *Chlorella vulgaris* en condiciones ideales.

En esta etapa se obtuvo el tiempo óptimo de cosecha de la microalga, utilizando medio de cultivo comercial. Se evaluó el crecimiento de las microalgas por conteo celular por espacio de 12 días obteniéndose el tiempo óptimo de cosecha donde se obtuvo la mayor cantidad en gramos de biomasa.

**Etapa II:** Evaluar el efecto de la relación en volumen de solución de microalga y efluente de Remojo de curtiembre.



En esta etapa se evaluó la remoción de  $\text{DBO}_5$  utilizando diferentes relaciones en volumen de solución de microalga y efluente de Remojo (3:1, 1:1, 1:3).

**Etapa III:** Evaluación del efecto de la intensidad de luz y pH en la remoción de materia orgánica expresada en  $\text{DBO}_5$  de Efluentes de Remojo utilizando microalga *Chlorella vulgaris*.

En esta etapa se determinó la remoción de  $\text{DBO}_5$  de los efluentes de Remojo de Curtiembre evaluando el efecto de la intensidad de luz (8100, 5100 y 3150 Lx) y el pH (pH 7.1 y 8.9).

## **3.2 Población y muestra**

### **3.2.1 Población**

Conformada por las aguas residuales de la Etapa de Remojo de la curtiembre Junior SAC.

### **3.2.2 Muestra**

Estará conformada por una muestra correspondiente a 10 litros del Efluente de Remojo de curtiduría.

## **3.3 Técnicas de recolección de datos**

### **3.3.1 Observación en microscopio de las muestras de microalgas:**

Colocar en un portaobjetos una gota de solución microalgal a examinar, observando su morfología en el microscopio.

### **3.3.2 Identificación de la microalga *Chlorella*:**

La microalga *Chlorella* se identificó basándose en su morfología descrita anteriormente y comparándose con bibliografía especializada.

### **3.3.3 Cuento celular manual por cámara de Neubauer:**

Se utilizó la cámara de Neubauer para determinar el crecimiento celular de la microalga, siguiendo la fórmula de Neubauer (Tupiño M., 2016).

Concentración (células/mL) = Total de células x 10 000 / (N° de cuadrantes contabilizados)

### **3.3.4 Determinación de biomasa por peso seco:**

Filtrar 50 ml de solución microalgal utilizando filtro Whatman de 0,45 µm de poro, los filtros con las microalgas retenidas llevar a sequedad en estufa a una temperatura de 50 °C, enfriar en desecador y pesar en balanza de precisión. Por diferencia entre el peso del filtro con microalgas y filtro solo se obtiene el peso seco de las microalgas, tomando en cuenta los 50 ml de volumen filtrado se obtienen los gramos de biomasa por litro de solución microalgal (García R., 2012).

### **3.3.5 Cosecha de Microalga:**

La microalga se cosecharon por filtración a los 7 días, en su etapa de crecimiento exponencial.

## **3.4 Técnicas para el procesamiento de la información**

Con el objetivo de determinar si existen diferencias en los resultados de remoción de DBO<sub>5</sub> para cada pH e intensidad de luz se realizó un análisis de varianza de los resultados obtenidos utilizando el programa STATGRAPHICS Centurion XVI.

Para realizar el análisis estadístico de cada pH e intensidad de luz respecto al tiempo de tratamiento por separado se consideró un modelo de dos factores, estos factores contemplan 3 niveles intensidad de luz, 2 niveles de pH y 6 niveles del tiempo de Tratamiento. Teniendo en total 12 tratamientos para cada nivel de intensidad de luz y 18 tratamientos para cada nivel pH.

Por lo tanto, la hipótesis nula es que todos los tratamientos son iguales y la alternativa es que alguno de los tratamientos es diferente. Utilizando como variable respuesta, el porcentaje de remoción de  $\text{DBO}_5$ .

Por otro lado, para comparar la influencia del pH en cada nivel de intensidad de luz se tendrá un modelo estadístico de 2 factores, uno es el nivel de pH que tiene 2 niveles (6.5 y 9.5) y el otro es el tiempo de tratamiento con 6 niveles (2, 4, 6, 8, 10 y 12 días) evaluados a 3150, 5100 y 8100 Lx. La variable respuesta es porcentaje de remoción de  $\text{DBO}_5$ .



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

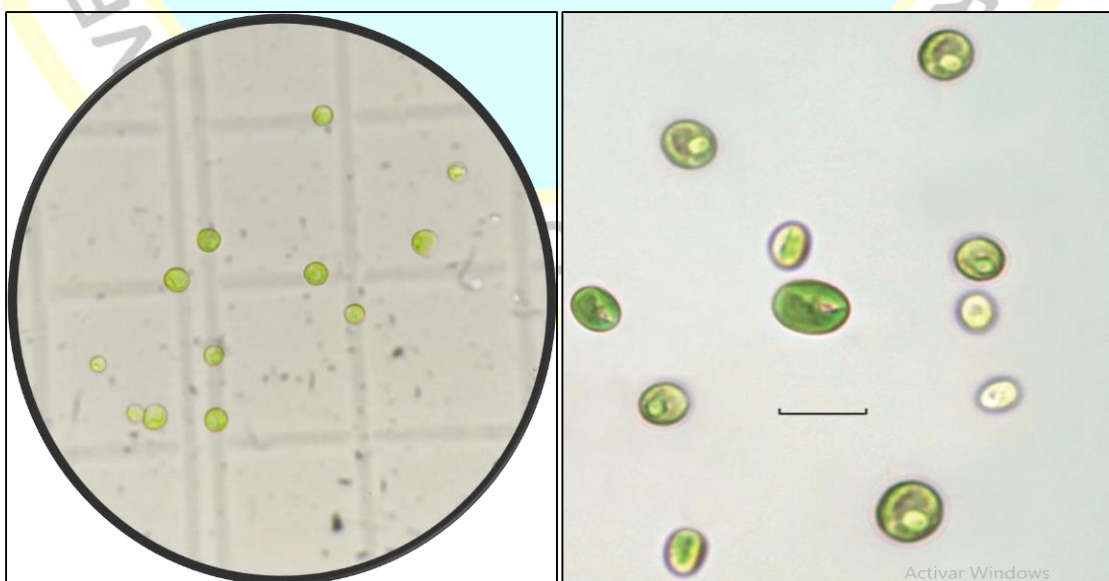
#### 4.1 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos a lo largo de la presenta investigación se muestran en las respectivas Tablas y Figuras.

##### 4.1.1 Identificación y Cinética del crecimiento de la microalga *Chlorella vulgaris*

La identificación de la microlaga *Chlorella vulgaris* se realizó consultando bibliográfica de referencia, las cuales indican que este tipo de microalga es un alga verde unicelular de agua dulce; sus células se encuentran aisladas, en ocasiones puede formar agregados, presentando una morfología esférica de color verde y un tamaño que oscila entre 2 y 10  $\mu\text{m}$ . En la Figura 1 se comparan morfológicamente la microalga aislada en el Laboratorio de Investigación en Aguas con la de referencia bibliográfica (Cáceres 2009), (Agriculture and Agri-Food Canada 2006), (Moura, 2018).

**Figura 1: Comparación morfológica de la microalga *Chlorella vulgaris* aislada (izquierda) vs. la microalga de referencia bibliográfica (derecha)**

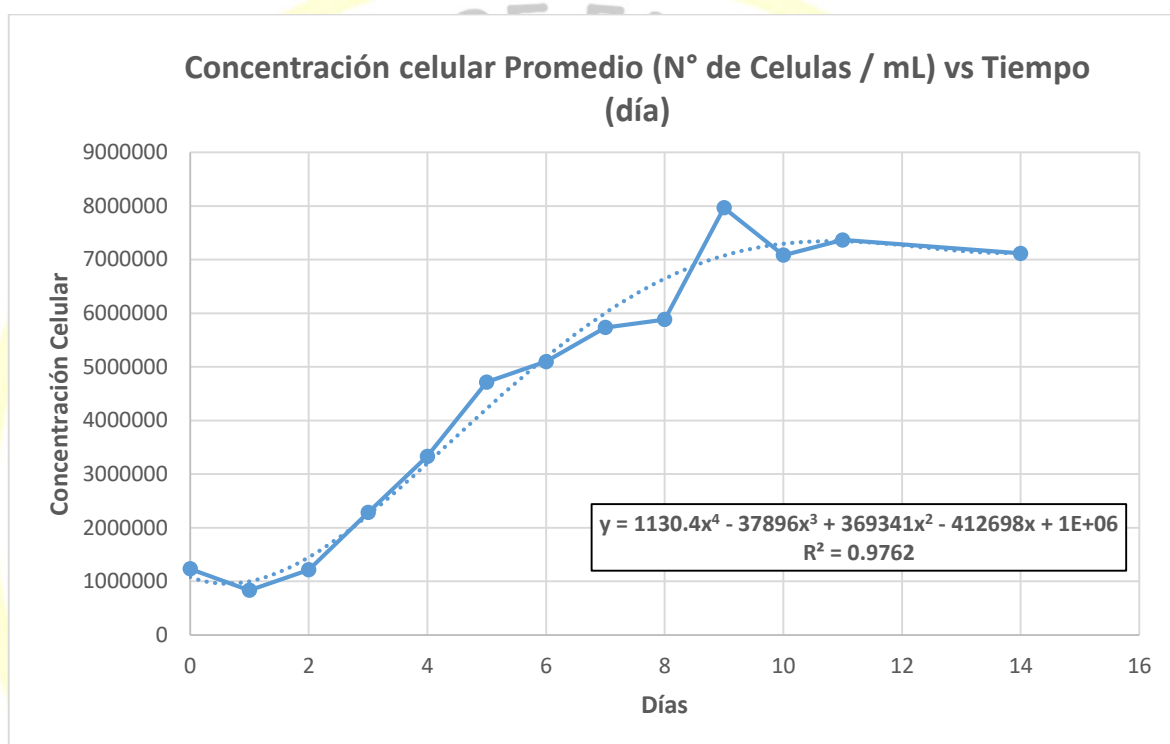


Nota: Elaboración propia



Los ensayos de cinética de crecimiento de la microalga *Chlorella vulgaris* se realizaron por triplicado y a luz natural, mediante conteo celular por 14 días, cuyos resultados tabulados de concentración celular (N° de Células / mL) por día y las curvas de la cinética de crecimiento se muestran en la Tabla 7 del Anexo 1 y Figura 2 respectivamente.

**Figura N° 2: Cinética de crecimiento de la microalga *Chlorella Vulgaris* por conteo celular.**



Nota: Elaboración propia.

#### 4.1.2 Caracterización del Efluente de Remojo:

Las aguas de Remojo proceden de la Curtiembre Junior SAC, ubicada en el Parque Industrial, de la ciudad de Trujillo. En la Tabla 3 se muestran los resultados de la caracterización inicial del efluente de Remojo, comparándolos con los valores máximos admisibles VMA, previa sedimentación por 4 horas.

**Tabla 3: Caracterización del efluente de Remojo**

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	VMA, DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO (D.S N° 021-2009-VIVIENDA)
pH	---	8.9	6 - 9
DBO <sub>5</sub>	---	1520	500
TURBIDEZ	NTU	980	---
SST	ppm	1570	500
Conductividad	mS/cm	65	---

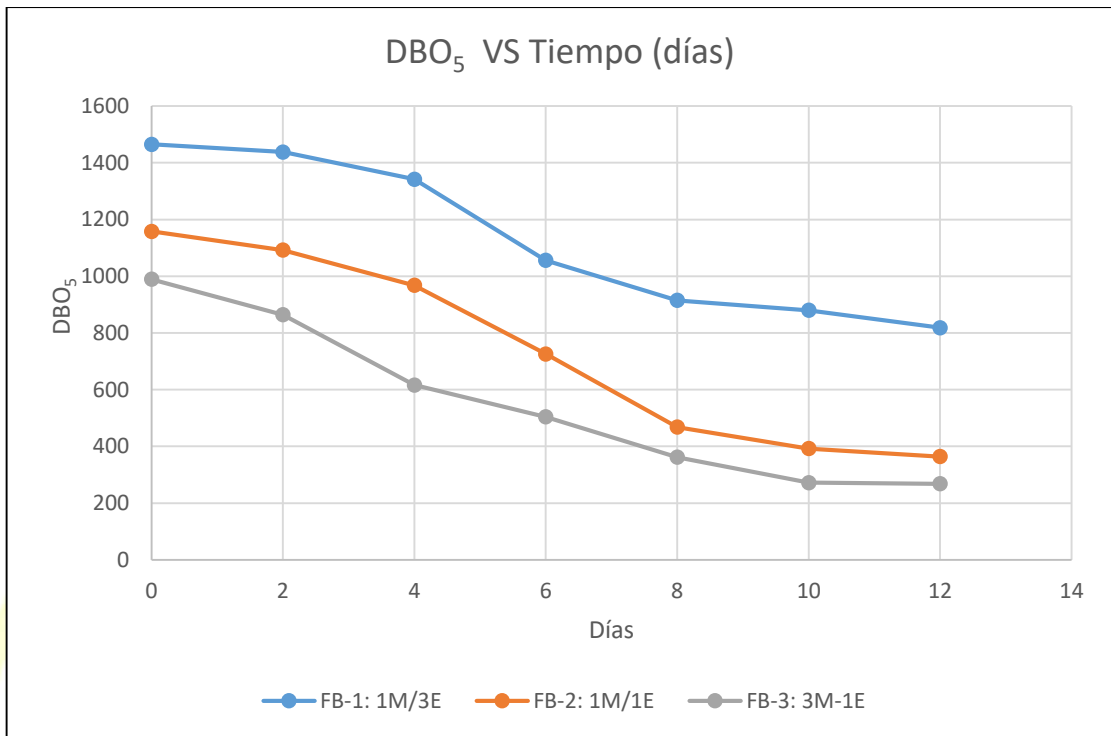
Nota: Elaboración propia.

#### **4.1.3 Evaluación de la mejor relación en volumen de Efluente de Remojo :**

##### **Microalga, en la remoción de DBO<sub>5</sub>.**

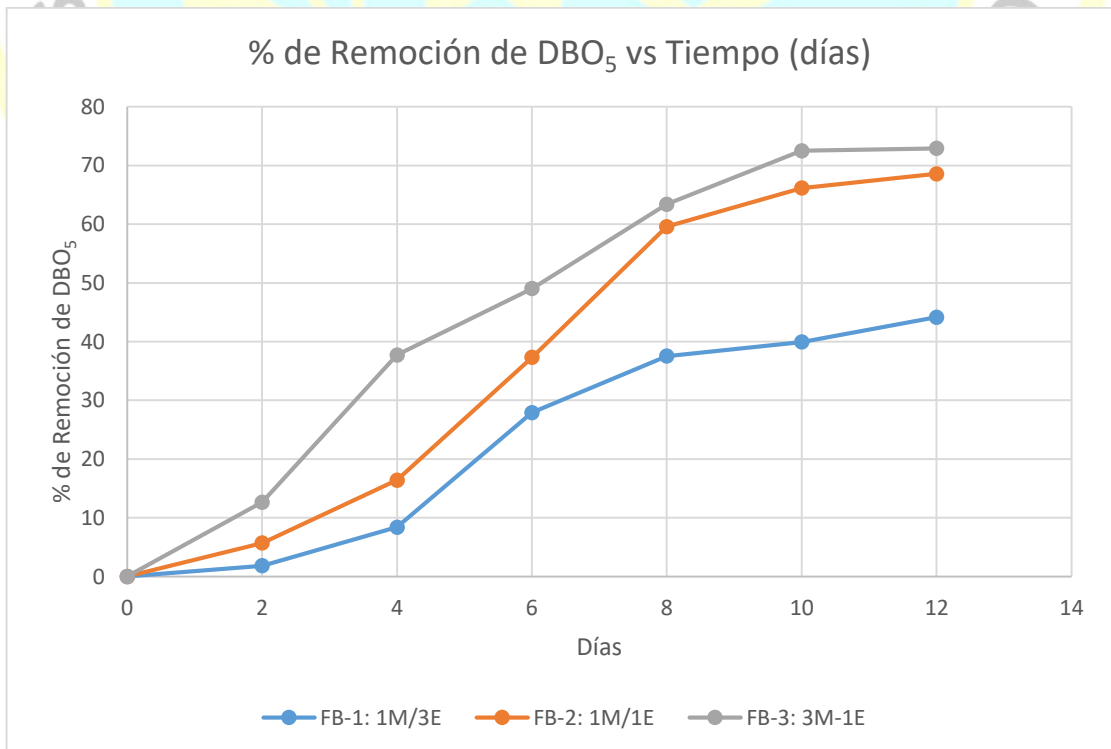
Con la finalidad de obtener la mejor relación en volumen de Efluente de Remojo:Microalga que nos muestre el mejor porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> y adaptabilidad de la microalga, se evaluó 3 relaciones en volumen de Efluente de Remojo:Microalga; los resultados se muestran en la Figura 3 y Tabla 8 del Anexo 1, sus correspondientes porcentajes de remoción se presentan en la Figura 4, ensayos realizados a iluminación natural.

**Figura 3: Remoción de DBO<sub>5</sub> evaluados a diferentes concentraciones de efluentes y microalga con iluminación natural.**



Nota: Elaboración propia.

**Figura 4: Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> evaluados a diferentes concentraciones de efluentes y microalga con iluminación natural.**

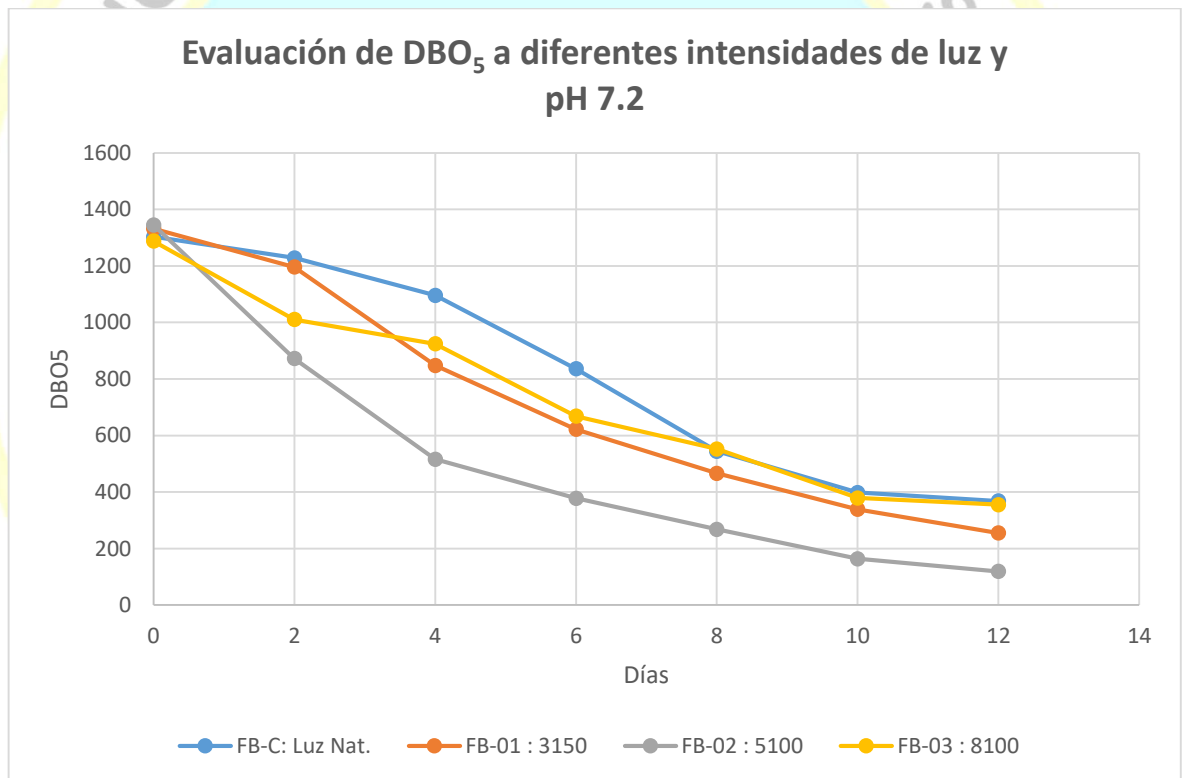


Nota: Elaboración propia.

#### 4.1.4 Evaluación de la Intensidad de luz en la Remoción de DBO<sub>5</sub>, a pH 8.9 y 7.2

Las Tablas 9 y 10 del Anexo 1, reportan los valores y sus porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> de los efluentes de Remojo, evaluando 3 niveles de Intensidad Luminosa (3150, 5100 y 8100 lux) y 2 niveles de pH (8.9 y 7.2), en 12 días de Tratamiento con microalga *Chlorella Vulgaris*; utilizando la mejor relación en volumen de efluente:microalga (1:1) obtenida en la etapa anterior; así como una muestra control evaluada a luz natural. Las correspondientes curvas de disminución de DBO<sub>5</sub> y porcentajes de remoción se muestran en las Figuras 5, 6, 7 y 8.

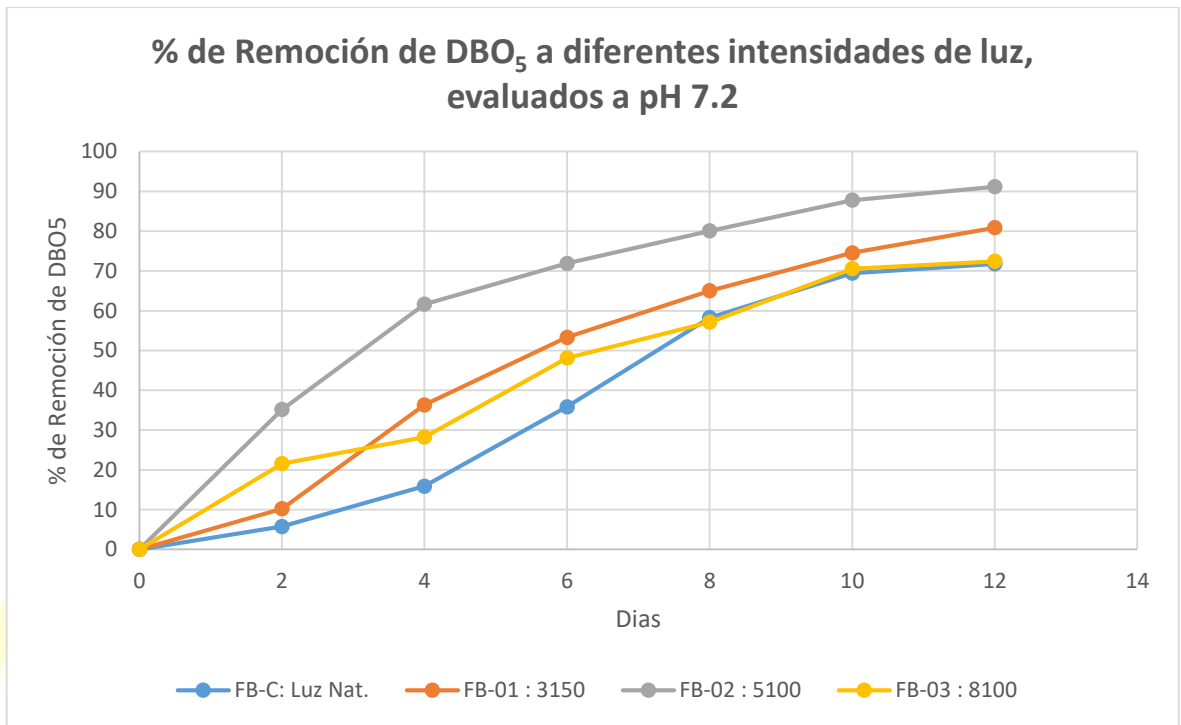
**Figura 5: Evaluación de DBO<sub>5</sub> a diferentes niveles de intensidades de luz y evaluados pH 7.2**



Nota: Elaboración propia.

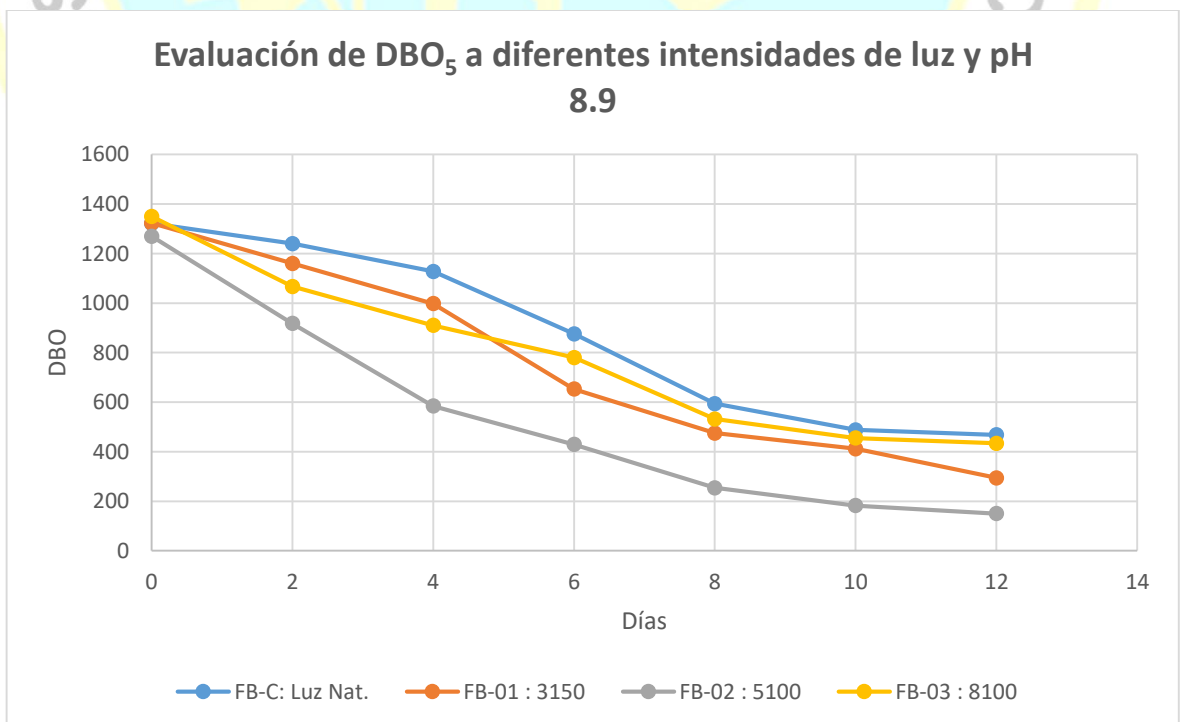


**Figura 6: Porcentaje de Remoción de DBO<sub>5</sub> a diferentes niveles de intensidades de luz y evaluados pH 7.2**



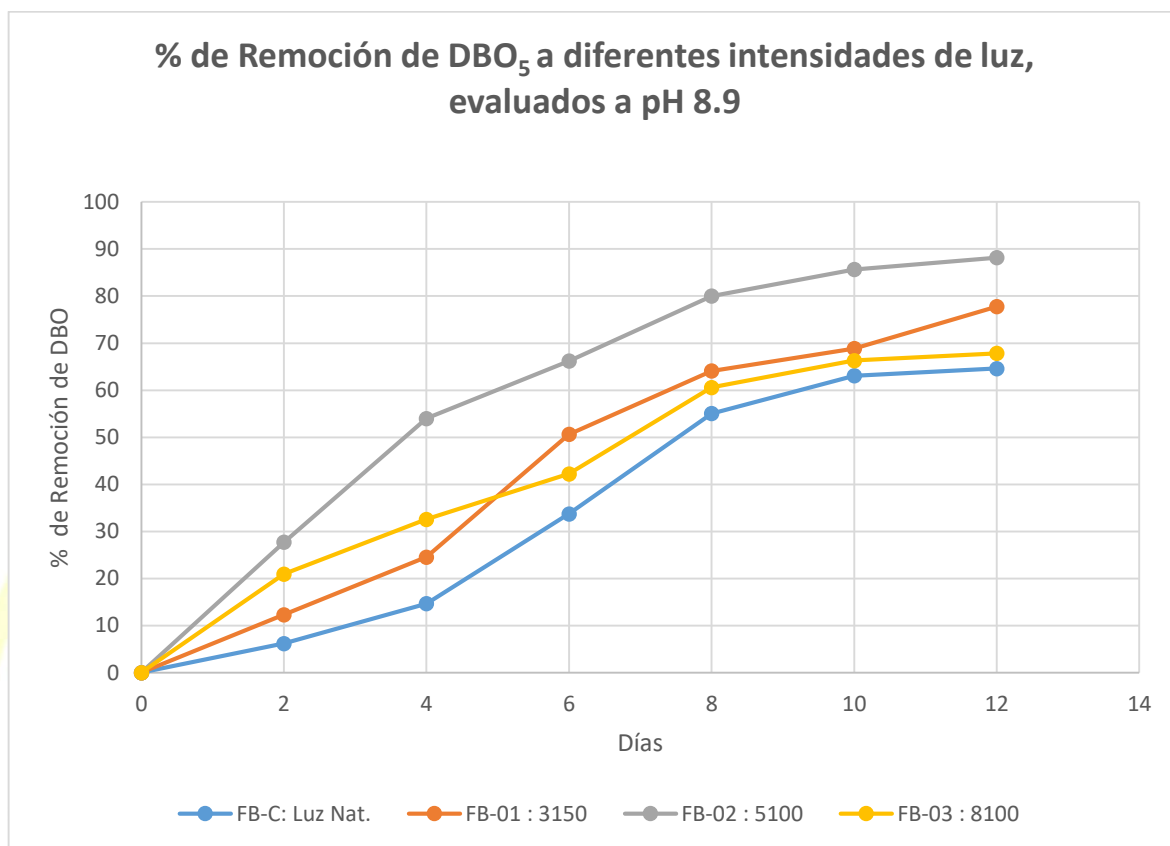
Nota: Elaboración propia.

**Figura 7: Evaluación de DBO<sub>5</sub> a diferentes niveles de intensidades de luz y evaluados pH 8.9**



Nota: Elaboración propia.

**Figura 8: Porcentaje de Remoción de DBO<sub>5</sub> a diferentes niveles de intensidades de luz, evaluados a pH 8.9**

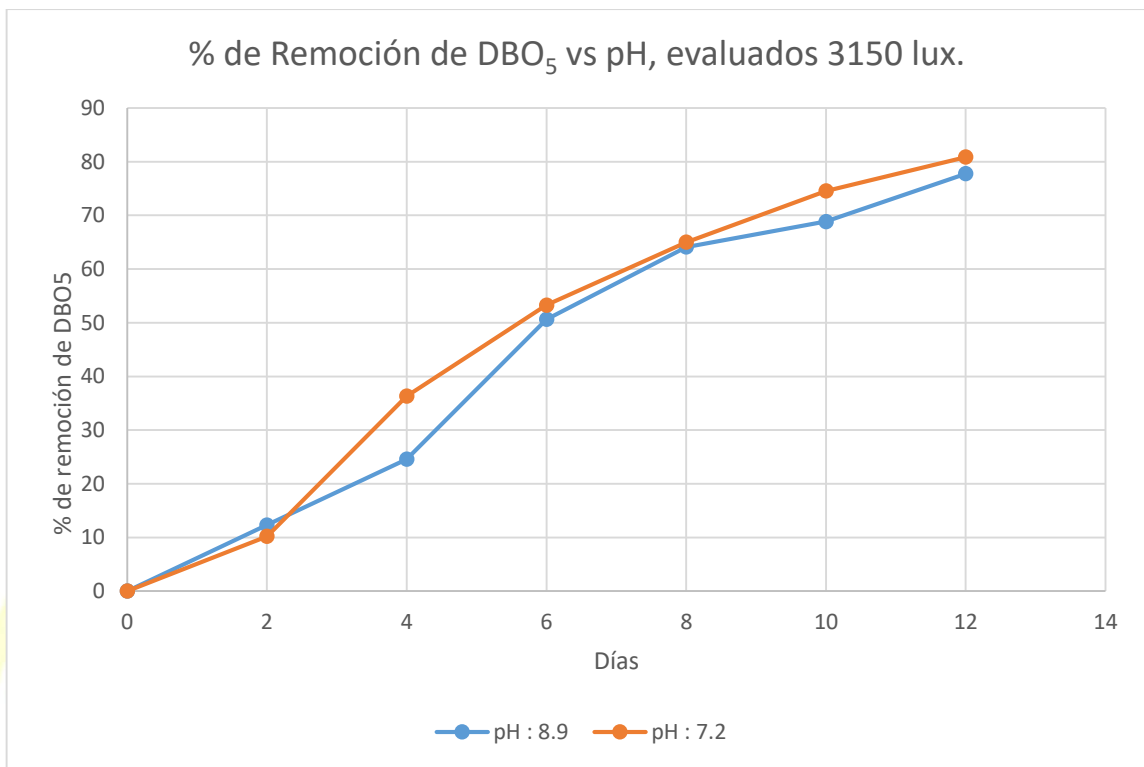


Nota: Elaboración propia.

#### **4.1.5 Influencia del pH en la disminución de la DBO<sub>5</sub> en efluentes de Remojo, evaluados a 3150, 5100 y 8100 lux.**

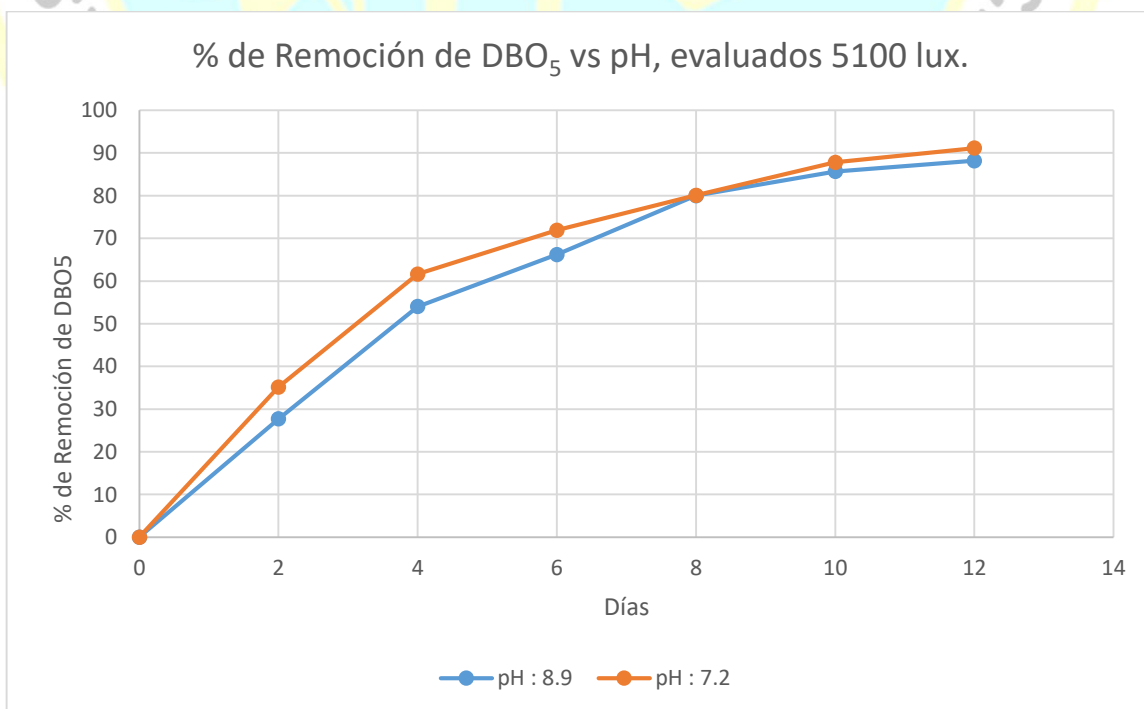
Las Tablas 11, 12 y 13 del Anexo 1 y Figuras 9, 10 y 11 muestran los porcentajes de remoción de materia orgánica biodegradable DBO<sub>5</sub>, evaluados a los pH 7.2 y 8.9 para cada una de las intensidades de luz.

**Figura 9: Influencia del pH en la Remoción de DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo utilizando cultivos de C. Vulgaris, evaluado a 3150 lux.**



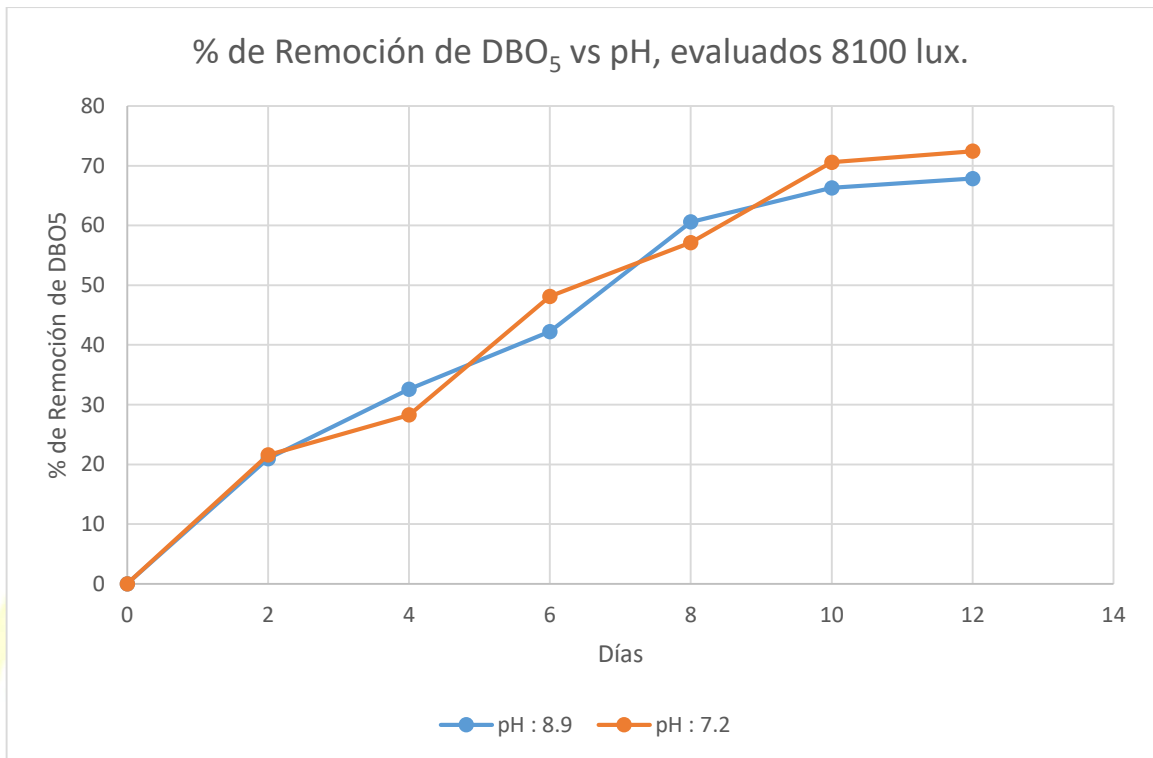
Nota: Elaboración propia.

**Figura 10: Influencia del pH en la Remoción de DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo utilizando cultivos de C. Vulgaris, evaluado a 5100 lux.**



Nota: Elaboración propia.

**Figura 11: Influencia del pH en la Remoción de DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo utilizando cultivos de C. Vulgaris, evaluado a 8100 lux.**

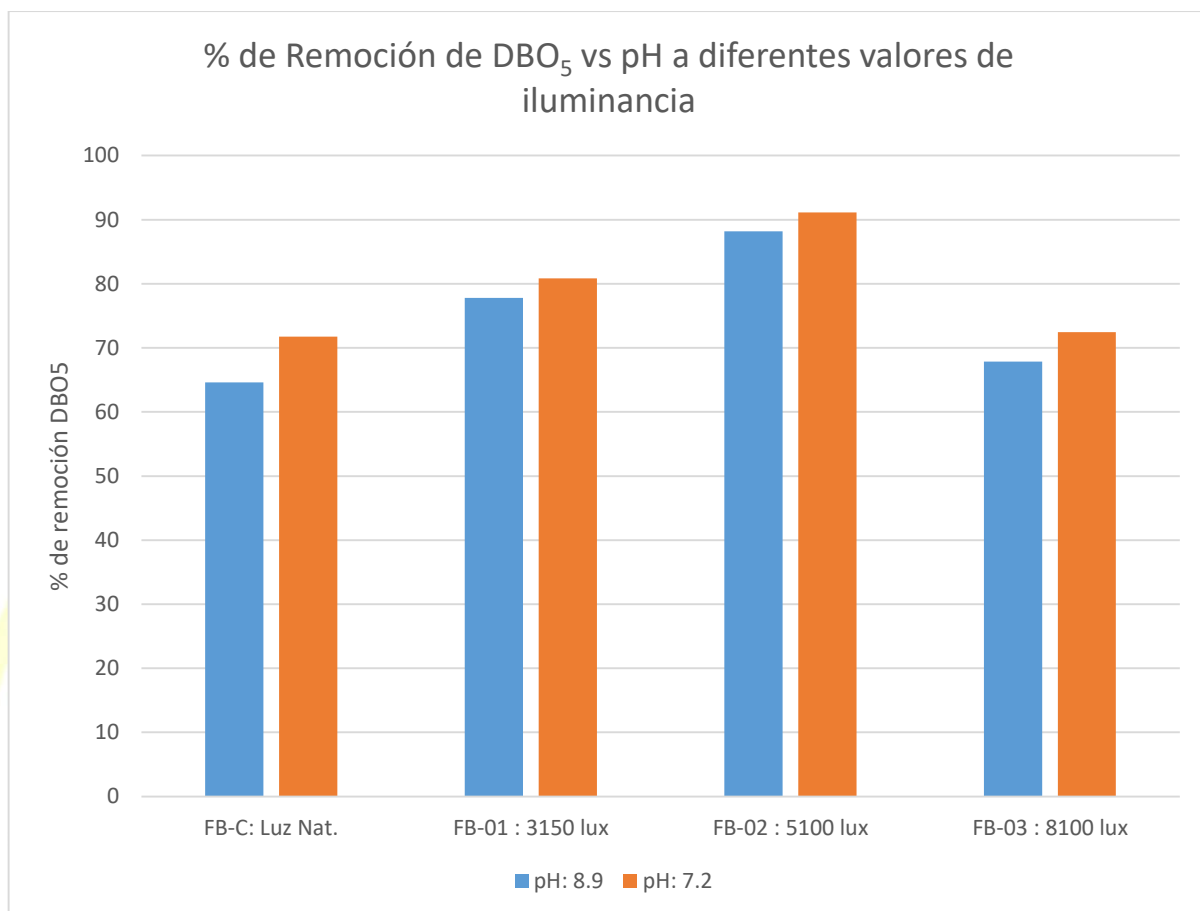


Nota: Elaboración propia.

#### **4.1.6 Comparación de los Porcentaje de Remoción de DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo, evaluados a diferentes pH e intensidades de luz.**

En la Figura 12, se comparan los resultados del Porcentaje de Remoción de DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo, evaluados a diferentes intensidades de luz (3150, 5100 y 8100 lux) y a dos pH (8.9 y 7.2).

**Figura 12: Porcentaje de Remoción de DBO<sub>5</sub> a diferentes Intensidades de Luz y pH**



Nota: Elaboración propia.

#### **4.1.7 Análisis de Varianza (ANOVA) del Porcentaje de Remoción DBO<sub>5</sub> evaluado a 4 niveles de Intensidad de luz y 2 niveles de pH.**

Con la finalidad de Contrastar la hipótesis se realizó un análisis de Varianza Multifactorial Categórico teniendo en cuenta 3 factores experimentales pH (7.2 y 8.9), Intensidad de luz (Luz Natural, 3150, 5100 y 8100 lux) y Tiempo (2,4,6,8,10,12 días de tratamiento) y una variable respuesta Porcentaje de Remoción de DBO<sub>5</sub>; en el Programa estadístico STATGRAPHICS CENTURION XVI.

La Tabla 4 muestra los efectos principales de los tres factores y sus interacciones sobre el porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub>.



**Tabla 4: Análisis de Varianza para el porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub>**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS					
PRINCIPALES					
A:pH	111.021	1	111.021	14.43	0.0017
B:Intensidad de Luz	4998.73	3	1666.24	216.59	0.0000
C:Tiempo	22176.4	5	4435.27	576.53	0.0000
INTERACCIONES					
AB	16.2292	3	5.40972	0.70	0.5647
AC	34.8542	5	6.97083	0.91	0.5026
BC	653.896	15	43.5931	5.67	0.0009
RESIDUOS	115.396	15	7.69306		
TOTAL (CORREGIDO)	28106.5	47			

Nota: *Elaboración propia.*

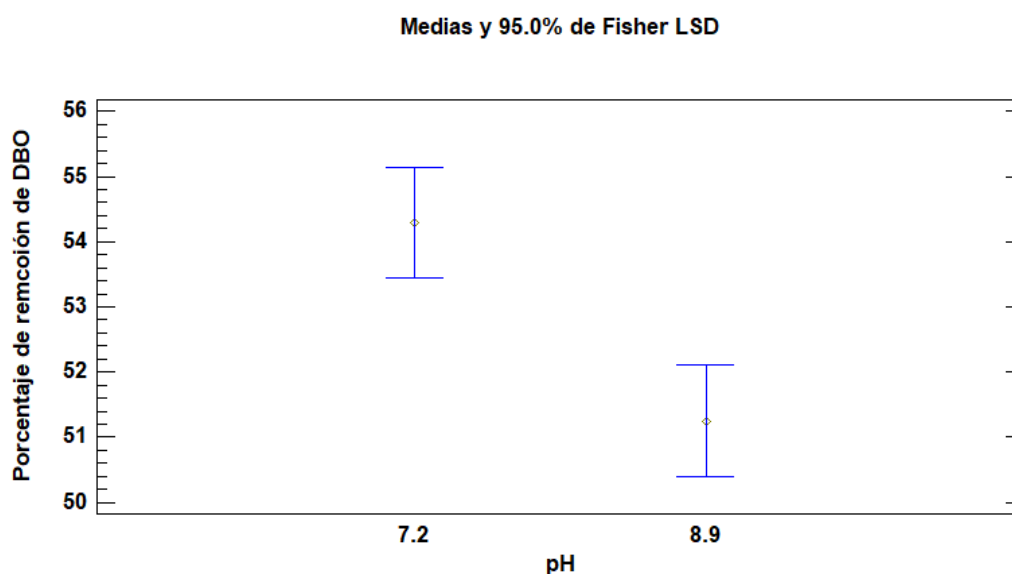
Las tablas 5 y 6 muestran los resultados de las Pruebas de Múltiple Rangos para Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> por pH e Intensidad de Luz con sus correspondientes graficas de medias.

**Tabla 5: Pruebas de Múltiple Rangos para Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> por pH**

pH	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
8.9	24	51.25	0.566166	X
7.2	24	54.2917	0.566166	X

Nota: *Elaboración propia.*

**Figura 13: Grafica de las medias para Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> por pH.**



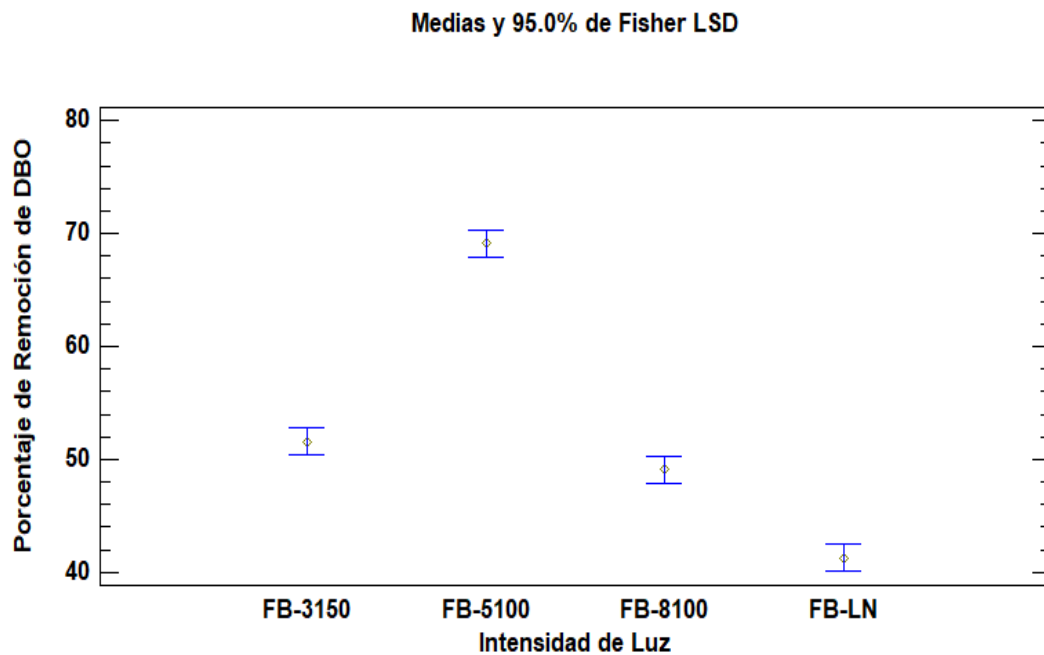
Nota: Elaboración propia.

Tabla 6: *Pruebas de Múltiple Rangos para Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> por Intensidad de Luz*

<i>Intensidad de Luz</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
FB-LN	12	41.25	0.80068	X
FB-8100	12	49.0833	0.80068	X
FB-3150	12	51.5833	0.80068	X
FB-5100	12	69.1667	0.80068	X

Nota: *Elaboración propia.*

**Figura 14: Grafica de las medias para Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> por Intensidad de luz.**



Nota: Elaboración propia.

#### 4.2 Contratación de hipótesis

Como el valor  $p$  de las pruebas estadística es bastante pequeño, ( $p < 0.05$ ), donde se establece que al menos un tratamiento de intensidad de luz es diferente para cada pH, se concluye que el porcentaje de Remoción de Mataría Orgánica de los efluentes de Remojo de curtiduría se ve influenciada significativamente por dichas variables. Con las Pruebas de Múltiple Rangos para Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> por pH e Intensidad de luz se determina que los mejores Porcentajes de Remoción de materia orgánica biodegradable DBO<sub>5</sub> se obtienen a 7.2 de pH y 5100 lux de Intensidad de Luz.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN

#### 5.1 Discusión de resultados

##### 5.1.1 Identificación y Cinética del crecimiento de la microalga *Chlorella vulgaris*

En la Figura 2 se observan las tres fases características del crecimiento de microalgal latencia, exponencial y estacionaria.

La fase de adaptación de las microalgas a las condiciones del medio, fase de latencia se aprecia entre el día 0 hasta el día 2, observándose una ligera disminución en su concentración celular en el primer día, adaptándose al medio de cultivo al día siguiente dando inicio a su fase exponencial.

Esta fase abarca entre los días 3 al 9, teniendo un crecimiento de 7 días aproximadamente y una fase estacionaria que inicia el día 10, periodo donde termina el crecimiento de las microalgas por ausencia de nutrientes, evidenciándose el inicio de la fase de muerte de las microalgas, apareciendo un ligero color amarillo. El estudio del crecimiento de la microalga *Chlorella* nos permitió determinar el tiempo de cosecha de la microalga para los ensayos posteriores, escogiéndose el día 7 en plena fase exponencial periodo en el cual la microalga se encuentra ya adaptada y en pleno crecimiento; además de comprobar que el medio de cultivo es apto para su crecimiento.

##### 5.1.2 Caracterización del Efluente de remojo:

De la Tabla 4 se aprecia que los valores de  $DBO_5$  y sólidos suspendidos totales sobrepasan los valores máximos admisibles para poder ser descargados a la red de sistema de alcantarillado de la ciudad, como efluente no doméstico.

Los elevados valores de  $DBO_5$  y sólidos suspendidos totales se deben a la presencia de materia orgánica biodegradable soluble y en suspensión generados en la etapa de Remojo, provenientes de la limpieza de las pieles.

Los efluentes de Remojo y Pelambre son considerados como los más contaminante del proceso de curtición de pieles por diversos autores, por las elevadas cargas contaminantes en materia orgánica biodegradable y no biodegradable así como los altos valores de sulfuros que presentan las aguas de Pelambre.

### **5.1.3 Evaluación de la mejor relación en volumen de Efluente de Remojo :**

#### **Microalga, en la remoción de DBO<sub>5</sub>.**

De la Figura 3 y 4 se aprecia que los tratamientos más efectivos en términos de remoción de DBO<sub>5</sub> son FB-2 y FB-3, logrando resultados muy similares un 68 y 73 % de remoción de materia orgánica biodegradable expresada en DBO<sub>5</sub>, a los 12 días de tratamiento; además la concentración de sólidos suspendidos y materia orgánica presentes en FB-2 cuyo contenido de Efluente de Remojo es del 50 %, no afectan el crecimiento las microalgas, evidenciándose que logran adaptarse en ambos medios.

Por el contrario, el tratamiento FB-1 es el que menos remueve DBO<sub>5</sub> alcanzando un 50 % de eficiencia, debido a la mayor presencia de efluente de Remojo, 75 % en volumen y 25 % de microalga; además a partir del día 7 se apreció la aparición de un ligero color amarillento acrecentándose al transcurrir los días, evidenciando la muerte de las microalgas por sobresaturación con los contaminantes presentes en el efluente de Remojo; reduciendo el ciclo de crecimiento microalgal.

Con los resultados obtenidos se determinó que la mejor relación en volumen de Efluentes de Remojo y microalga para los ensayos posteriores es de 1:1 (50% de Efluente de Remojo).

### **5.1.4 Evaluación de la Intensidad de luz en la Remoción de DBO<sub>5</sub>, evaluados a pH 8.9 y 7.2**

La intensidad luminosa es uno de los principales factores a considerar en el cultivo de microalgas, en las figuras 5, 6, 7 y 8 se aprecian el incremento de los porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> de los tratamientos a 3150, 5100 y 8100 lux de



intensidad lumínica en comparación con el control a luz natural, debido al incremento de la fotosíntesis al aumentar la intensidad lumínica.

De la Figura 6 y 8, se aprecia que el tratamiento a 5100 lux de iluminancia muestra la mayor eficiencia en remover la materia orgánica biodegradable llegando a 89 % en 12 días, así como un 78 % de remoción del tratamiento a 3150 lux, en comparación con los 65 % obtenidos por el tratamiento control a luz natural. El mismo comportamiento muestran los tratamientos evaluados a pH 7.2.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Carbonell (2018) quien logró la eliminación del 90 % de  $DBO_5$  de efluentes de remojo de curtiduría en 10 días a 5100 lux.

En ambos pH el tratamiento FB-03 a pesar de tener la mayor iluminancia 8100 lux mostró un porcentaje de remoción menor de la materia orgánica biodegradable que el tratamiento FB-02 a 5100 lux en 12 días. Tal como se explicó al aumentar el nivel de luz en los fotobiorreactores la fotosíntesis se acelera, alcanzando la máxima tasa de crecimiento, momento en que ocurre la fotoinhibición la cual es específica para cada tipo de microalga; en estas condiciones ocurre la muerte de las especies disminuyendo la eficiencia de la fotosíntesis y producción de biomasa (Contreras-Flores et al. 2003, Richmond 2004, Martínez 2008, Park et al. 2011).

Concordante con lo observado en la experimentación, en ambos pH se observó que a una iluminancia de 8100 lux en el día 7 comienza la fotoinhibición cambiando de color de los fotobiorreactores a mostaza perdiendo el color verde de las microalgas; el día 9 se llevaron muestras al microscopio donde se evidenció disminución en la población microalgal reflejando la muerte de ellas.

### **5.1.5 Influencia del pH en la Remoción de $DBO_5$ de efluentes de Remojo, evaluados a 3150, 5100 y 8100 lux.**

Los resultados mostrados en las Figuras 9, 10 y 11 presentan comportamientos muy similares, evidenciando que la microalga *C. vulgaris* presenta tolerancia al pH, sin que el porcentaje de remoción de materia orgánica biodegradable ( $DBO_5$ ) sea afectado en el intervalo de pH entre 7.2 a 8.9, para cada valor de iluminancia;

además en las Figuras se aprecia un ligero incremento del porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> a pH 7.2 en cada valor de Intensidad de Luz. Resultados concordantes con los obtenidos por Martínez (2008), quien estudió el efecto del pH en la producción de biomasa y la tasa de fijación de Dióxido de Carbono en cultivos de *Chlorella vulgaris* en un rango de pH de 6.5 y 8.5, concluyendo que esta especie presenta tolerancia a los cambios de pH en el rango estudiado y el máximo rendimiento de producción de biomasa se obtiene a un pH de 7.5.

#### **5.1.6 Análisis de Varianza (ANOVA) del Porcentaje de Remoción DBO<sub>5</sub> evaluado a 4 niveles de Intensidad de luz y 2 niveles de pH.**

El análisis de Varianza de los factores pH, Intensidad de luz y tiempo sobre la remoción de DBO<sub>5</sub> de la Tabla 10, muestra que los valores-p de la interacción entre la intensidad de luz (B) y el tiempo (C), además las variables independientes son menores que el nivel de confianza 0.05, probando que la interacción BC, el pH, la Intensidad de Luz y el tiempo de tratamiento tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la Remoción de DBO<sub>5</sub> con un nivel de confianza del 95.0%.

Las Pruebas de Múltiple Rangos para Porcentaje de Remoción de DBO<sub>5</sub> por pH de la tabla 11 muestran que el mejor pH es 7.2 por estar sólo en un grupo y presentar la media más alta (54.2916), tal como se aprecia en la figura 13.

Las Pruebas de Múltiple Rangos para Porcentaje de Remoción de DBO<sub>5</sub> por Intensidad de Luz de la tabla 12 muestran la presencia de 4 grupos homogéneos y el mejor valor de intensidad de luz es 5100 lux por estar sólo en un grupo y presentar la media más alta (69.1667), tal como se aprecia en la figura 14.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

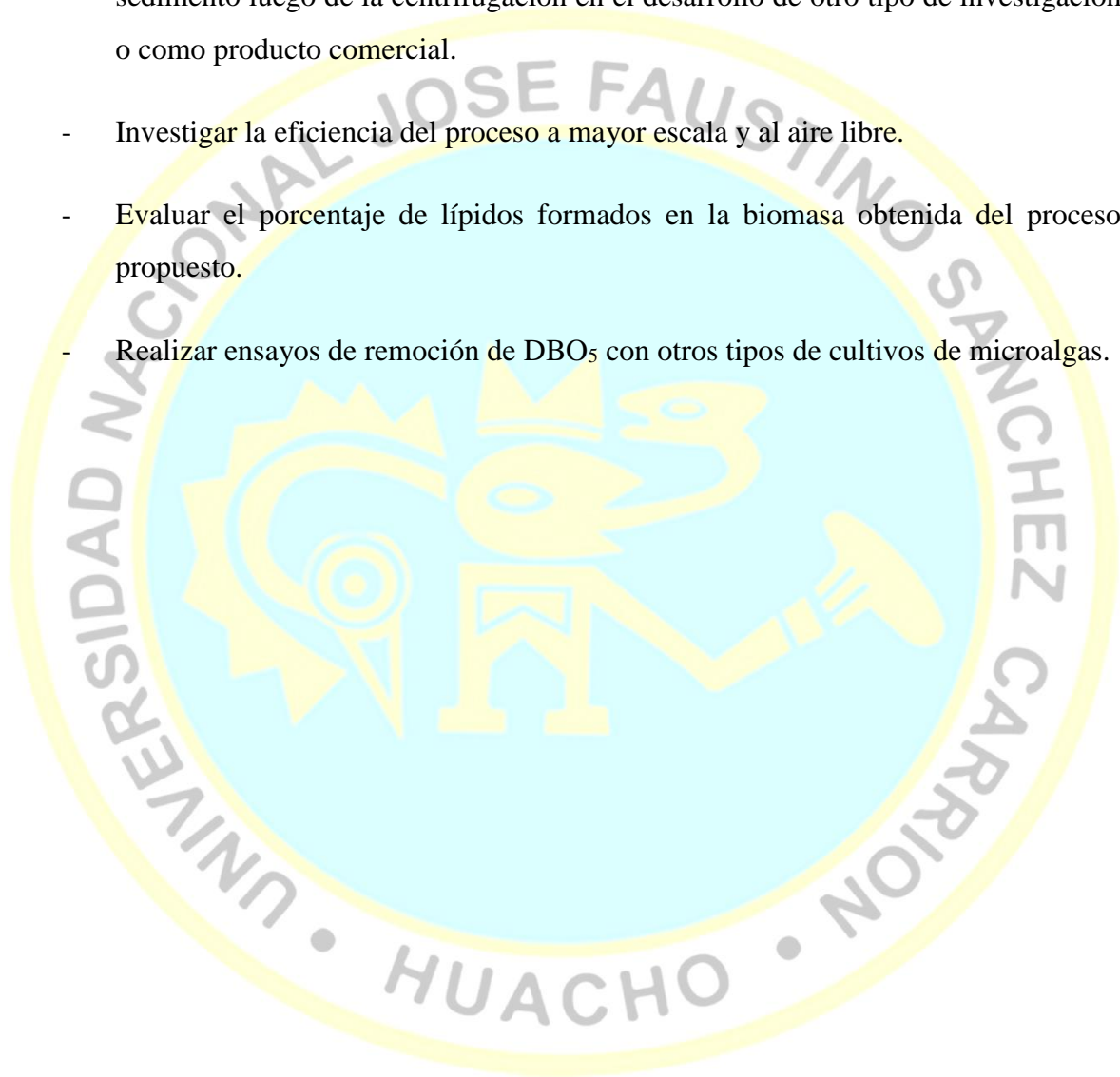
#### 6.1 Conclusiones

El presente estudio demostró la capacidad de la microalga *Chlorella vulgaris* para remover materia orgánica biodegradable DBO<sub>5</sub> de efluentes de Remojo de Curtiduría, concluyendo:

- La remoción de materia orgánica biodegradable DBO<sub>5</sub> de Efluentes de Curtiduría depende del pH y de la Intensidad de Luz del medio de cultivo.
- A 8100 de Intensidad de luz ocurre la fotoinhibición, siendo un factor limitante en el crecimiento de la microalga.
- El Tratamiento de los Efluentes de Remojo a pH 8.9 y distintas intensidades de luz: 3150, 5100, 8100 lux, logró eliminar el 78, 88, 68 % de materia orgánica biodegradable DBO<sub>5</sub>.
- A pH 8.9 el mejor porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> se dio a 5100 lux, equivalente a un 88 % de remoción; 23 % más que los obtenidos a Luz natural.
- El Tratamiento de los Efluentes de Remojo a pH 7.2 y distintas intensidades de luz: 3150, 5100, 8100 lux, logró eliminar el 81, 91, 72 % de materia orgánica biodegradable DBO<sub>5</sub>.
- A pH 7.2 el mejor porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> se dio a 5100 lux, equivalente a un 91 % de remoción; 19 % más que los obtenidos a Luz natural.
- El mejor Porcentaje de Remoción de materia orgánica biodegradable DBO<sub>5</sub> se dio a 7.2 de pH y 5100 lux de Intensidad de Luz obteniendo un porcentaje de 91 %.

## 6.2 Recomendaciones

- Investigar la eficiencia del proceso a niveles entre 5100 y 8100 de Intensidad de Luz, con la finalidad de optimizar el valor donde ocurre la fotoinhibición.
- Evaluar la posibilidad de utilizar la biomasa microalgal que se obtiene como sedimento luego de la centrifugación en el desarrollo de otro tipo de investigación o como producto comercial.
- Investigar la eficiencia del proceso a mayor escala y al aire libre.
- Evaluar el porcentaje de lípidos formados en la biomasa obtenida del proceso propuesto.
- Realizar ensayos de remoción de  $DBO_5$  con otros tipos de cultivos de microalgas.





## REFERENCIAS

### 7.1 Fuentes documentales

Cai T., P. S. (2013). Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19: , 360–369.

Carbonell, J.; Tamayo, K. (2018). Influencia de la iluminancia y tiempo de remoción de materia orgánica, expresada en DBO5, de efluentes de Remojo en curtiembres, utilizando *Chlorella pyrenoidosa* en un fotobioreactor a escala laboratorio. Tesis de Ingeniería Ambiental Universidad nacional de Trujillo.

De Gisi, S; Galasso, M; De Feo, G. Treatment of tannery wastewater through the combination of a conventional activated sludge process and reverse osmosis with a plane membrane. *desalination*, v. 249, p. 337–342, 2009.

Dixit, S., Yadav, A., Dwivedi, P., & Das, M. . (2015 ). Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: a review. *Journal of Cleaner Production*, 87, 39-49.

Gallego-Molina, A; Mendoza-Roca, J.; Aguado, D; Galiana-Aleixandre; Reducing pollution from the deliming–bating operation in a tannery. wastewater reuse by microfiltration membranes. *chemical engineering research and design*, v. 91, p. 369–376, 2013.

Gong Y. y Jiang M. . (2011). Biodiesel production with microalgae as feedstock: from strains to . *Biotechnology Letters* 33(7), 1269–1284.

Gouveia, L. a. (2009). Microalgae as a raw material for biodiesel production. *J. Ind Microbiol Biotechnol* 36(2):, 269-74.

Guedes, A. Amaro, H. (2011). Microalgae as sources of high added-value compounds- a brief review of recent work. *Biotechnol* , 597-613.

Hoffmann, P. (1998). Wastewater treatment with suspended and nonsuspended algae., *Journal of Phycology*, 34(5):757–763.



INFANTE, C.; ANGULO, E.; ZÁRATE, A.; FLOREZ, J. & BARRIOS, F., . (2011). Propagación de la microalga *Chlorella* sp. En cultivo por lote: cinética del crecimiento celular. *Avances en ciencias* , 3(2) pp: 159-164 .

Lee S.H., Ahn C.Y., Jo B.H., Lee S.A., Park J.Y., An K.G. y Oh H.M. (2013). Increased microalgae growth and nutrient removal using balanced N:P ratio in wastewater. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 23(1), 92–98.

LEE, D.Y., PARK, J.J., BARUPAL, D.K. and FIEHN, O. (2012). System response of metabolic networks in *Chlamydomonas reinhardtii* to total available ammonium. *Mol Cell Proteomics* , 973-88.

Lin, Q., and LIN, J. . (2011). Effects of nitrogen source and concentration on biomass and oil production of a *Scenedesmus rubescens* like microalga. *Bioresour Technol.*;102(2), 1615-21.

Liu, Z. W. (2008). Effect of iron on growth and lipid accumulation in *Chlorella vulgaris*. *Bioresour Technol.*;99(11):, 4717-22. .

Lofrano, G; Meriç, S; Zengin, G.E; Derin Orhon, D. Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: a review. *science of the total environment*, v. 461–462, p. 265–281, 2013.

Lubna, S., Sohail E., Muhammad A., Naureen A., Aftab A., Imran I., Aqeel J. . (2012). Ecotoxicological risks associated with tannery effluent Wastewater. *Environmental toxicology and pharmacology* 34, 180–191.

Park J, R Craggs & A Shilton. (2011). Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. *Bioresource Technology* 102: 35-42.

Pittman J.K., D. A. (2011). The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resource. *Bioresource Technology* 102(1), 17-25.

Richmond A. 2004. Biological principles of mass cultivation. In: Richmond A (ed). *Handbook of microalgal culture: Biotechnology and applied phycology*, pp. 125-177. Blackwell Science, Iowa.

Rivera, M. (2010). *Gestión Ambiental para minimizar la contaminación generada por la industria de curtiembre en el distrito de El Porvenir*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.

Wang L., Min M., Li Y., Chen P., Chen Y., Liu Y., Wang Y. y Ruan R. . (2011). Cultivation of green algae *C. vulgaris* in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant. *Applied Biochemistry Biotechnology* , 162(4):1174-1186.

Wise, J.P., Wise T., Zhang, Y. , Romano, T., O'Hara, T. (2008). Alung and testes fibroblasts. . *Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 650, 30–38.

Wu P.F., T. J. (2013). Increasing algal biofuel production using *Nannochloropsis oculata* cultivated with anaerobically and aerobically treated swine wastewater. *Bioresource Technology* 133, 102-108.

Xinbei Tan, Yoshimitsu Thiagarajan, Shalini Mohan, Sankari Mohan, Priya Rajendra Rao, Siva Ramamoorthy, Rajasekaran Chandrasekaran . (2016). Biomass characterisation and phylogenetic . *Algal Research* 14, 92-99.

## 7.2 Fuentes electrónicas

Agriculture and Agri-Food Canada. (2006). Algae Identification field guide.[http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2011/agr/A125-8-2-2011-eng.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/agr/A125-8-2-2011-eng.pdf)

Artuz, L.; Martínez, M.; Morales, C. CORE (2011) Las Industrias curtiembres y su incidencia en la contaminación del río Bogotá. Accedido el 20 de Abril, 2018 desde <https://core.ac.uk/download/pdf/47280121.pdf>

Barona, A., (2014). Determinación del potencial antimicrobiano de la microalga *Chorella* extraída de las aguas empozadas de la acequia de Atocha, Tilulum y el socavón del cantón Ambato. <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8452/1/BQ%2053.pdf>

Cáceres, S. (2009). Aislamiento y caracterización de las principales microalgas presentes en el sistema hidropónico del tipo raíz flotante. Obtenido de la memoria para optar el título de Ingeniero Agrónomo de la Universidad de

Chile.<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117608/Scarlett%20C3%A1ceres.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Castañeda, I.; Castillo, J. (2016). Influencia de la iluminancia, pH y tiempo en la remoción de sulfuros, sólidos suspendidos, demanda química y biológica de oxígeno de efluentes de Ribera en curtiembres utilizando microalgas en un fotobiorreactor a escala laboratorio. Obtenido de Tesis de Ingeniería Ambiental Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/1839/Casta%20B1eda%20Flores%20C%20Lourdes%20Pamela.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Contreras, C.; Peña, J.; Flores, L.; Cañizares V., R. (2003) Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas. [Fecha de consulta: 27 de diciembre de 2018] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33908304>> ISSN 0378-1844

García, R. (2012). Producción de biomasa de microalgas rica en carbohidratos acoplada a la eliminación fotosintética de CO<sub>2</sub>. Obtenido de Tesis Doctoral Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis de la Universidad de Sevilla: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/101928/1/TESIS%20DOCTORAL%20RGC.pdf>

Greenpeace. (15 de Mayo de 2018). Greenpeace Argentina. Obtenido de <http://www.greenpeace.org/argentina/es/informes/La-contaminacion-viste-a-la-moda/>

Hun, Y., (2010) Efecto de la concentración de la solución nutritiva sobre la biomasa de microalgas del género *Chlamydomonas*. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111421/Memoria%20de%20T%20C3%20ADtulo%20%28Yasm%20C3%20ADn%20Hun%29.pdf?sequence=1>

Jordan, M. (2012) Obtención de colágeno por hidrólisis alcalina enzimática del residuo de wet blue en el proceso de curtición. Accedido el 10 de Noviembre del 2018, desde: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1630/1/236T0048.pdf>

Lopez, M., (2015) Aislamiento y cultivo de tres especies de microalgas chlorophyta con potencial para la alimentación de peces amazónicos.

<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4669/Lopez%20Espinoza%2C%20Mirian%20Belen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martínez L. (2008). Eliminación de CO<sub>2</sub> con microalgas autóctonas. Tesis Doctoral, Instituto de Recursos Naturales, Universidad de León. Accedido 20 de noviembre, 2018 desde <https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/1414/2008ON-MART%25CDNEZ%20GARC%25CDA%2C%20LORENA.pdf?sequence=1>

Medrano, J. (2017). Influencia del tipo de coagulante, dosis de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez en los efluentes de pelambre en curtiembres. Tesis de Ingeniería Ambiental Universidad Alas Peruanas. <http://repositorio.uap.edu.pe/handle/uap/6825>

Moura, A. (2018). Síntesis de materiales y aplicación de procesos de separación en aguas y soluciones acuosas industriales (p. 73-86) Accedido el 23 de Diciembre, 2018 desde [https://drive.google.com/drive/folders/1CLOM-F51LpBsF\\_TJRzJd1PHozY4oeyEk](https://drive.google.com/drive/folders/1CLOM-F51LpBsF_TJRzJd1PHozY4oeyEk)

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA. “El abc de la fiscalización ambiental”. Lima, Perú. 2013. Accedido 15 de Julio, 2018 desde: [https://www.oefa.gob.pe/en/?wpfb\\_dl=9562](https://www.oefa.gob.pe/en/?wpfb_dl=9562)

Pinedo, R. (2012). Impactos ambientales generados por la curtiembre D-Leyse, en el distrito de . Obtenido de Informe de Practicas Pre-Profesionales Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables: [https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades\\_academicas/IMPACTOS%20AMBIENTALES%20GENERADOS%20POR%20LA%20CURTIEMBRE%20D-LEYSE%2C%20EN%20EL%20DISTRITO%20DE%20EL%20PORVENIR%2C%20PROVINCIA%20TRUJILLO%2C%20REGION%20LA%20LIBERTAD.pdf](https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/IMPACTOS%20AMBIENTALES%20GENERADOS%20POR%20LA%20CURTIEMBRE%20D-LEYSE%2C%20EN%20EL%20DISTRITO%20DE%20EL%20PORVENIR%2C%20PROVINCIA%20TRUJILLO%2C%20REGION%20LA%20LIBERTAD.pdf)

Rey de Castro, A. (2013). Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo. Obtenido de Tesis para optar el Título de Licenciado en Química: Recuperada de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5123/REY\\_DE\\_CV ASTRO\\_ANA\\_CROMO\\_EFLUENTES\\_CURTIDO.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5123/REY_DE_CV ASTRO_ANA_CROMO_EFLUENTES_CURTIDO.pdf?sequence=1)



Rodriguez y Zapata, (2015). Influencia del pH, concentración de coagulante a base de aluminio y floculante en la remoción de sulfuros, solidos suspendidos, demanda química y biológica de oxígeno de efluentes de rivera en curtiembres. Accedido el 15 de Noviembre del 2018, desde: [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3270/RodriguezRamirez\\_C%20-%20ZapataJauregui\\_C.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3270/RodriguezRamirez_C%20-%20ZapataJauregui_C.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ruiz, A. (2011). Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia, España: <http://docplayer.es/21371755-Puesta-en-marcha-de-un-cultivo-de-microalgas-para-la-eliminacion-de-nutrientes-de-un-agua-residual-urbana-previamente-tratada-anaerobicamente.html>

Ruiz, J. (2015). Estudio de fotobiorreactor de microalga: sistema de monitoreo y simulación de estrategias de control. Obtenido de la Universidad de Piura, Perú: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2733/IME\\_190.pdf?sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2733/IME_190.pdf?sequence=1)

Sacristán de Alva, M. (2013). Producción de biodiesel a partir de microalgas empleando diferentes calidades de agua. Obtenido de la Tesis para optar de Maestro en Ingeniería de la Universidad nacional Autónoma de México. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:qETdo9-Q1BcJ:www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6171/tesis.pdf%3Fsequence%3D1+%&cd=8&hl=es&ct=clnk&gl=pe>

Salceso, I.; Orozco, J. (2014). Incidencias Socioeconómicas de las Barreras Arancelarias aplicadas a las importaciones de calzado en la Parroquia Quisapincha de Ambato, provincia de Tungurahua y propuesta de mejora en la Producción y comercialización del producto. Obtenido de Tesis para optar el Título de Ingeniero Comercial: Recuperada de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7275/1/UPS-GT000696.pdf>

Sedapal. (s.f.). Sedapal. Obtenido de <http://www.sedapal.com.pe/documents/10154/fedf8405-1bc2-428e-9d8d-a1c2ad009f53>



Tupiño M.,(2016) Cultivo de la microalga *Scenedesmus obliquus* var. *Dinorplus* (turpin) para la obtención de biomasa y lípidos.  
[http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/1095/1/ECOLOG%20Y%20G%20ESTI%20N%20AMBIENTAL\\_ESTEFANIA%20MERCADO%20TUPI%2091O\\_2016.pdf](http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/1095/1/ECOLOG%20Y%20G%20ESTI%20N%20AMBIENTAL_ESTEFANIA%20MERCADO%20TUPI%2091O_2016.pdf)



## ANEXOS

### ANEXO 1: Resultados obtenidos

**Tabla 7: Cinética de crecimiento de la microalga *Chlorella Vulgaris* por conteo celular**

Día	Concentración celular			Concentración celular Promedio (N° de Células / ml)
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	
0	1300000	1050000	1350000	1233333
1	700000	950000	850000	833333
2	1250000	1200000	1200000	1216667
3	2250000	2400000	2200000	2283333
4	3450000	3050000	3500000	3333333
5	4700000	4750000	4700000	4716667
6	4750000	5700000	4850000	5100000
7	5650000	5850000	5700000	5733333
8	6000000	5750000	5900000	5883333
9	7750000	8150000	8000000	7966667
10	7300000	5900000	8050000	7083333
11	7550000	6600000	7950000	7366667
14	6800000	6650000	7900000	7116667

Nota: *Elaboración propia.*

**Tabla 8: DBO<sub>5</sub> a diferentes relaciones en volumen de solución microalgal:efluente de Remojo, evaluados cada dos días hasta 12 días de tratamiento**

DIAS	DBO <sub>5</sub>						
	0	2	4	6	8	10	12
FB-1: 1M/3E	1465	1438	1342	1056	915	880	818
FB-2: 1M/1E	1158	1092	968	726	468	392	364
FB-3: 3M-1E	989	864	616	504	362	272	268

Nota: *Elaboración propia.*

**Tabla 9: DBO<sub>5</sub> a diferentes Intensidades de luz evaluados cada dos días hasta 12 días de tratamiento y pH 7.2**

DIAS	DBO <sub>5</sub>						
	0	2	4	6	8	10	12
FB-C: Luz Nat.	1303	1228	1096	836	544	398	368
FB-01 : 3150	1332	1196	848	622	466	339	255
FB-02 : 5100	1345	872	516	378	268	164	119
FB-03 : 8100	1288	1010	924	668	552	379	355

Nota: *Elaboración propia.*

**Tabla 10: DBO<sub>5</sub> a diferentes Intensidades de luz evaluados cada dos días hasta 12 días de tratamiento y pH 8.9**

DIAS	DBO <sub>5</sub>						
	0	2	4	6	8	10	12
FB-C: Luz Nat.	1322	1240	1128	876	594	488	468
FB-01 : 3150	1323	1160	998	653	475	412	294
FB-02 : 5100	1270	918	584	429	254	182	150
FB-03 : 8100	1350	1067	910	780	532	455	434

Nota: *Elaboración propia.*

**Tabla 10: DBO<sub>5</sub> a diferentes pH evaluados cada dos días hasta 12 días de tratamiento y 3150 Lx**

DIAS	DBO <sub>5</sub>						
	0	2	4	6	8	10	12
pH : 8.9	0	12	25	51	64	69	78
pH : 7.2	0	10	36	53	65	75	81

Nota: *Elaboración propia.*

**Tabla 11: DBO<sub>5</sub> a diferentes pH evaluados cada dos días hasta 12 días de tratamiento y 5100 Lx**

DIAS	DBO <sub>5</sub>						
	0	2	4	6	8	10	12
pH : 8.9	0	28	54	66	80	86	88
pH : 7.2	0	35	62	72	80	88	91

Nota: *Elaboración propia.*

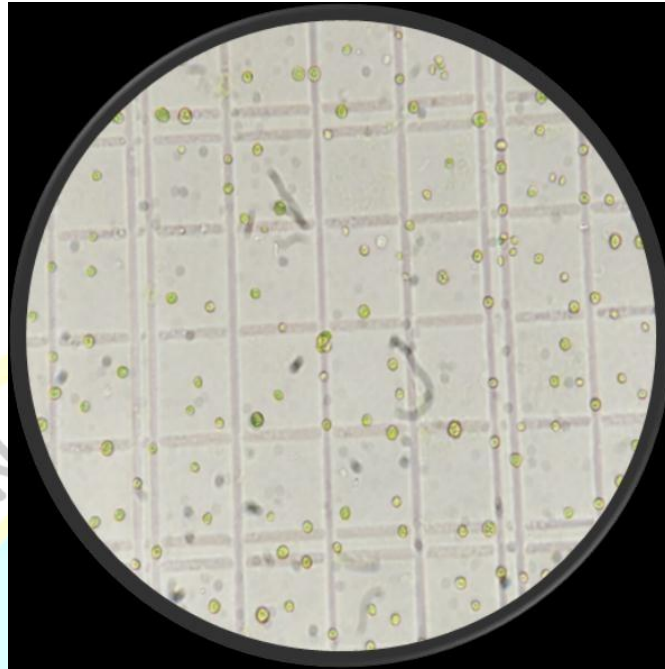
**Tabla 12: DBO<sub>5</sub> a diferentes pH evaluados cada dos días hasta 12 días de tratamiento y 8100 Lx**

DIAS	DBO <sub>5</sub>						
	0	2	4	6	8	10	12
pH : 8.9	0	21	33	42	61	66	68
pH : 7.2	0	22	28	48	57	71	72

Nota: *Elaboración propia.*



**Anexo 2: Registro fotográfico.**

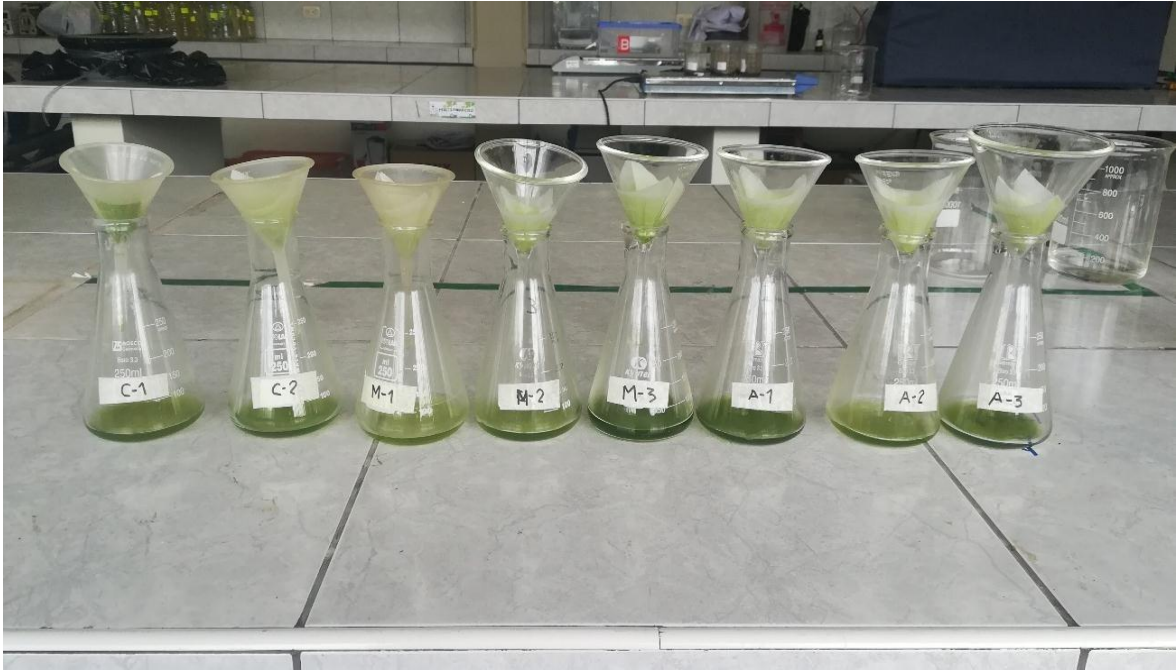


**Foto 1: Fotografía en el día 10 a 5100 Lx y pH 7.2**



**Foto 2: Fotobiorreactores a 3150, 5100 y 8100 lx.**





**Foto 3: Filtración de muestras para los respectivos análisis de DBO<sub>5</sub>.**



**Foto 4: Fotobiorreactor a 8100 Lx al 10 día, se aprecia la fotoinhibición.**



**Foto 5: Comparación Efluente de Remojo antes (izquierda) y después del tratamiento día 12 (derecha) a 5100 Lx y 7.2 de pH**



**Foto 6: Trabajos en el laboratorio**



**Foto 7: Trabajos en el laboratorio.**





---

**Dr. José Vicente Nunja García**  
**ASESOR**

---

**Dr. Berardo Beder Ruiz Sánchez**  
**PRESIDENTE**

---

**M(o). Ronald Fernando Rodríguez Espinoza**  
**SECRETARIO**

---

**M(o) Juan Manuel Ipanaque Roña**  
**VOCAL**

