



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

**DISEÑO DE UN TRATAMIENTO PARA AGUA RESIDUALES EN
UNA PLANTA CERVECERA MEDIANTE MICROALGA *Chlorella*
*vulgaris***

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

BIOLOGO

MELISSA VIRGINIA GELLIBERT NOBLECILLA
KAREM POLLETTE RAMIREZ POZO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos a Dios por ser guía en nuestros caminos y a la Pacha mama por ser una inspiración en nuestros ideales y objetivos.

A nuestras familias por su indispensable apoyo durante toda nuestra formación académica y profesional, incentivándonos a mejorar como personas día a día al ser ejemplos de vida y responsabilidad.

A nuestros docentes por impartir sus enseñanzas y brindarnos las herramientas necesarias para nuestra formación ética y profesional. A nuestra tutora Magdalena Aray MSc, por su dirección y paciencia en la formación de este proyecto.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, Collin y Alexandra, por ser el apoyo y pilar en mi vida, a ellos les pertenece mis logros y metas. A mi tía Mireya por ser una inspiración durante la carrera y creer en mí, y a mi hermana Belén por el soporte que me ha brindado durante estos años evitando que me aburra un solo día.

Karem

El presente proyecto lo dedico a mis padres, en especial a mi mamá que me ha brindado todo su apoyo y todo su amor para seguir adelante, a mis hermanos y a mi primo Gabriel.

Melissa

EVALUADOR DEL PROYECTO

Nombre del Tutor

Tutor Proyecto Integrador

Magdalena Aray MSc.

Nombre del Profesor

Profesor Materia Integradora

Humberto Bedoya MSc.

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente a Karem Pollette Ramírez Pozo y Melissa Virginia Gellibert Noblecilla; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....
Melissa Virginia Gellibert Noblecilla

.....
Karem Pollette Ramírez Pozo

RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales actualmente usado en la industria cervecera se compone por un sistema de lodos activados, donde microorganismos bacterianos son capaces de asimilar contaminantes del medio y usarlos como nutrientes para su consumo energético, aportando beneficios en el sistema de depuración. De este proceso resultan grandes volúmenes de residuos sólidos que se acumulan en los estanques, y donde solo una pequeña porción de los sólidos resultantes es aprovechada para relleno sanitario.

El objetivo de este proyecto, es proponer un diseño económicamente viable para el tratamiento de aguas residuales, mediante el uso de microalgas específicas, *Chlorella vulgaris* microorganismo de cultivo, con el fin de disminuir las concentraciones de nitrógeno, fósforo y metales pesados en aguas residuales de la industria de fabricación de cerveza.

Con el sistema propuesto se espera que exista una mayor remoción de nutrientes en un tiempo de cultivo de 7 a 10 días, garantizando que alrededor del 80% de nitrógeno y un 75% del fósforo sean removidos al ser utilizados como nutrientes necesarios para la demanda energética de la microalga y de la producción de biomasa, purgando las aguas residuales de este tipo de elementos [1], [2]. Se espera que el volumen de aguas residuales tratadas por medio de este sistema sea mayor y requiera de menor tiempo de permanencia que el sistema actual de depuración.

La implementación de este diseño resultaría más provechoso como sistema primario de depuración, al remover mayor cantidad de nutrientes del medio acuático. Para conocer la eficacia del sistema propuesto, análisis de calidad de agua se realizarán antes y después del tratamiento.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
EVALUADOR DEL PROYECTO.....	iv
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL	7
ABREVIATURA	9
ÍNDICE DE FIGURA	10
INTRODUCCIÓN.....	12
Situación del problema.....	12
Justificación del abordaje del tema.....	13
OBJETIVOS	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
CAPÍTULO 1	16
INFORMACIÓN GENERAL	16
1.1. Importancia económica de la Industria	16
1.1.1. Compromiso con el ambiente	17
1.2. Aguas residuales	17
1.2.1. Aguas residuales de la industria	18
1.2.2. Digestión anaeróbica	20
1.2.3. DQO y DBO.....	21
1.2.4. Eliminación de nutrientes.....	21
1.2.5. Contaminantes inorgánicos	22
1.3. Microalgas: características	22
CAPÍTULO 2	28
MATERIALES Y MÉTODOS	28
CAPÍTULO 3.....	30
3.1. Biorreactor de depuración	30

3.2. Caudal de los sistemas	31
3.3. Sistema de aireación	34
3.4. Diseño Experimental del Sistema de Tratamiento con Microalgas.....	35
3.5. Recolección de la biomasa algal.....	36
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFIA.....	39
ANEXOS.....	43

ABREVIATURA

UASB. Upflow Anaerobic Sludge Blanket, Manta anaeróbica de lodo de flujo ascendente.

BWW. Brewery wastewater, aguas residuales de cervecería.

GMTD. Guía de mejor técnicas disponibles.

DQO. Demanda Química de Oxígeno, es la demanda de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica.

PBR. Siglas en inglés del fotobiorreactor

CO₂. Dióxido de Carbono

CN. Cervecería Nacional

K. Potasio, metales pesados presentes en la industria.

Na. Sodio, metales pesados presentes en la industria.

Ca. Calcio, metales pesados presentes en la industria.

Mg, Magnesio, metales pesados presentes en la industria.

DBO, Demanda bioquímica de oxígeno, utilizado para medir los niveles de contaminación en un cuerpo de agua.

ANEXOS

ANEXO 1.....	41
TABLA 1.....	19

ÍNDICE DE FIGURA

Fig. 2. Resultados en la descendencia de los niveles de nitrógeno y fósforo a partir de dos cepas de Chlorella en aguas residuales de cervecería..	26
Fig. 1. Grafica de crecimiento celular de la microalga del genero Chlorella en un medio de cultivo enriquecido, de BWW esteril y no esteril.....	26
Figura 3: Presentación del sistema del biorreactor propuesto para el cultivo y depuración de aguas.....	27
Figura 4: Presentación de la rueda en paletas para el sistema de circulación.....	31
Figura 5: Diagrama del sistema de cultivo y cosecha.....	33

INTRODUCCIÓN

SITUACIÓN DEL PROBLEMA

El cambio climático ha sido un foco de interés alrededor del mundo, en Ecuador uno de sus efectos es el retroceso de los glaciares Andinos influenciando gravemente el sector productivo y desarrollo del país. Además, de acuerdo a lo expuesto por Ludeña, Wilk, & Deeb (2013) el 68% de las emergencias y desastres en nuestro país, han sido por eventos climáticos, estando en continuo riesgo un 35% de la población al encontrarse en zonas de vulnerabilidad, de igual forma el 30% de las poblaciones Costeras se encuentran continuamente amenazadas por inundaciones. Entre las causas de este cambio climático, están las continuas descargas de aguas residuales, la deforestación de manglares, bosques y otros ecosistemas, llevando a la degradación y desaparición de algunos entornos naturales y su biodiversidad. Se ha identificado a las aguas residuales, como las causantes del 41% del metano dentro de las emisiones de los gases invernaderos. La presencia de compuestos tóxicos como metales pesados y plaguicidas en estos efluentes, así como la eutrofización de cuerpos de agua que reciben descargas pesadas de nitrógeno y fósforo, amenazan el medio ambiente, a la salud y el bienestar de los seres humanos, por lo que deben ser tratados con urgencia [4], [5].

Estas descargas de agua que se realizan diariamente, provocan no solamente contaminación a cuerpos de hídricos, sino también posee efectos colaterales a otros ecosistemas acuáticos al eutrofizarlos, recibiendo gran cantidad de materia orgánica que exceden su capacidad

de autodepuración, importante en su ciclo hidrológico y recuperación para estos sistemas [6].

Una de las fuentes de contaminación más señaladas son las que se desarrollan a gran escala, como son las industrias procesadoras de alimento, han presentado un gran desgaste de energía en la implementación de sus productos. La industria cervecera fue escogido como nuestro objeto de atención por ser un producto de popular y tradicional consumo, al conocer que sus procesos generan aguas residuales con altos niveles de contaminantes, caracterizadas por una carga orgánica elevada, pH variable, concentraciones de sólidos en suspensión y un contenido de nitrógeno total alto [7]. En Guayaquil, la Cervecería Nacional (CN) y Ambev Ecuador S.A. son las empresas responsables de la producción y distribución de este popular producto, además de representar un importante factor económico para el país, al proveer plazas de trabajo de forma directa e indirecta, estas industrias poseen un compromiso ecológico al momento de iniciar y terminar sus procesos de producción. A pesar de este compromiso en el que reutilizan el agua residual después de haberla procesado en sus propias plantas de tratamiento, la eficiencia de su uso del agua solo llega a un 3.31 hl/hl, cuya conversión a m^3 solo llega a $0.33 m^3$ [8] de los $2\ 003\ 990.66m^3$ de agua que utilizan, siendo un problema latente.

JUSTIFICACIÓN DEL ABORDAJE DEL TEMA

Las aguas residuales que dejan los procesos involucrados en la producción cervecera de nuestro país, no están siendo realmente aprovechadas, a pesar de que la CN y AMBEV declaran que un porcentaje de estas aguas son reutilizadas para sistemas de riego de

jardines o de limpieza. Actualmente, en otras partes del mundo, los desechos, tanto líquidos como sólidos, que resultan de las cervecerías y destilerías, han sido implementados en la gestión de nuevas estrategias para la sostenibilidad de aspectos económicos, ecológicos y sociales [2]. Estudios previos llevados por Farooq et al., (2013) y Weber & Stadlbauer, (2017) demuestran que las aguas residuales de las cervecerías, denominadas BWW (brewery wastewater) por sus siglas en inglés, poseen carbonos orgánicos biodegradables, que resultan ser no tóxicas para microalgas usadas en biorremediación. La más utilizadas para este propósito son *Chlorella sp.* y *Chlorella vulgaris*, que mostraron mejores resultados en la remoción de nitrógeno y fósforo [9], componentes usualmente controlados en el tratamiento de aguas contaminadas debido a que, son los responsables de eutrofizar los sistemas, las BWW poseen los niveles suficientes de nitrógeno total (TN) y fósforo (TP) para el cultivo de microalgas, las cuales son potencialmente eficaces en la producción de biodiesel, además la auto-sedimentación de las microalgas cultivadas en aguas residuales es una ventaja adicional que puede reducir el costo de cultivo y recolección [1].

En una visita realizada a la Compañía Cervecera Ambev Ecuador s.a., pudimos conocer su sistema de depuración de aguas residuales, mediante la aplicación de lodos activados, que consiste en microorganismos bacterianos capaces de asimilar contaminantes del medio y usarlos como nutrientes para su consumo energético, eliminando del agua residual los contaminantes orgánicos. Si bien el sistema es efectivo y sus niveles de DQO y nutrientes se encuentran por debajo del rango permitido, una vez que estos lodos cumplen su función, pasan a una piscina de almacenamiento, donde solo una pequeña fracción de todo el lodo liberado, es secada y usada como relleno sanitario, el resto de los desechos se acumulan.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar una alternativa al tratamiento de aguas residuales generados por la industria cervecera, empleando las propiedades tecnológicas de la microalga *Chlorella* sp.

Objetivos Específicos

- Diseñar soluciones basadas en el uso de microalgas para disminuir las concentraciones de nitrógeno, fosforo y metales pesados en aguas residuales de una fábrica de cerveza.
- Implementar un sistema primario al tratamiento de aguas residuales de la industria cervecera que conste de fotobiorreactores, para el respectivo tratamiento biológico.
- Evaluar los requerimientos fisicoquímicos del agua residual, para garantizar un óptimo crecimiento de la microalga y su capacidad de remoción de nutrientes de aguas residuales de las cervecerías por ficorremediación, para mejorar la calidad del agua y promover la continuidad de la oxidación bacteriana.

CAPÍTULO 1

INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Importancia económica de la Industria

El mercado de bebidas mueve anualmente millones de dólares en el mundo, en términos de cobro y generación de empleos directos e indirectos. Dividiéndose este mercado entre bebidas alcohólicas y no alcohólicas, teniendo una mayor preferencia de la población mundial por la bebida alcohólica tipo cerveza [10].

A nivel nacional según los datos de la Superintendencia de Compañías y la Asociación Nacional de Cervecerías del Ecuador, los actores principales que controlan el mercado de la cerveza ecuatoriana son de firmas industriales como Cervecería Nacional y Ambev Ecuador que poseen un porcentaje del 99,48% de participación y el 0,52% corresponde a la producción artesanal [1].

Para el año 2013, solo la CN registró ventas de 5,7 millones de hectolitros de cerveza, obteniendo ingresos de \$443,6 millones, aumentando su crecimiento en un 8,3% desde el 2012, incrementando sus plazas de trabajo de forma directa a 2040 y de forma indirecta a 23.227. Los grupos de interés que conforman el desarrollo de la empresa son diversos, brindando empleo no solo a accionistas, sino a proveedores externos, agricultores, transportistas y colaboradores en los procesos de fabricación [8].

1.1.1. Compromiso con el ambiente

Como empresa ha desarrollado estrategias que buscan reducir su huella de carbono, planes como cero desperdicios en operaciones, promueve un sistema de recolección y clasificación de residuos, además de la reutilización y reciclaje del 92% de sus envases durante los procesos de producción. Sus emisiones de CO₂ generan un indicador de 7,42 kg CO₂/hl, los tratamientos de sus aguas servidas generan gas metano, que ingresa a las calderas como combustible, disminuyendo el consumo de petróleo búnker, lo cual reduce las emisiones de CO₂ por la quema del combustible [8]

1.2. Aguas residuales

Las aguas residuales generadas, desde una perspectiva ambiental, sin duda son el aspecto más significativo, cuando se analizan vertidos en regiones vinícolas se encuentran valores de contaminación muy altos, teniendo una elevada carga orgánica pero poco tóxicos [11]. Para tener una mejoría en la calidad de los efluentes que se descargan, hay varios tipos de tratamientos de las aguas residuales; el primer tratamiento consiste en la separación de sólidos (sedimentación, flotación y/o neutralización), el segundo tratamiento trata de la degradación bacteriana de la materia orgánica en las lagunas de oxidación, lagunas de estabilización, lodos activos y filtros biológicos (digestores anaeróbicos); este segundo tratamiento tiene como secuela generar efluentes con altas concentraciones de nutrientes como amonio y fosfato, también presencia de patógenos como coliformes, helmintos, etc., teniendo en cuenta lo antes mencionado es necesario un tercer tratamiento de procesos fisicoquímicos (precipitación, intercambio iónico,

remoción de nutrientes, metales pesados, cloración, ozonización y ósmosis inversa) [6].

El objetivo del tratamiento de aguas residuales es eliminar el DBO, sólidos suspendidos, toxicidad, nutrientes y coliformes [12].

1.2.1. Aguas residuales de la industria

Las aguas generadas por la industria productiva son las que mayor presencia de contaminantes por metales pesados contienen y menos nitrógeno y fósforo que otro tipo de aguas residuales, aunque estos contenidos varían dependiendo del origen de sus operaciones [5]. Las aguas residuales de la producción vinícola son generadas en el proceso de limpieza de los circuitos, reservorios y de las maquinarias, ya que están en contacto continuo con la materia prima y de los productos obtenidos en las distintas fases de la producción [11]. Al igual que la producción vinícola, las aguas residuales de las cervecerías son provenientes de la fabricación de la malta y la cerveza, así como la limpieza de los equipos de los envases y de las instalaciones. Las aguas residuales de estas industrias, se caracterizan por tener una elevada carga orgánica, concentraciones apreciables de sólidos en suspensión y un pH variable, también contiene un valor alto de Nitrógeno a consecuencia de la levadura en las aguas residuales [7].

Debido a la alta presencia de carbonos orgánicos y niveles de DQO y DBO, que se presentan en las aguas residuales de la cervecería, esta cuenta con su propia planta de tratamiento, donde cumplen los niveles permisibles de 90 mg/l en DBO y 38 mg/l de DQO, un porcentaje de las aguas residuales son reutilizadas en jardinería, limpieza de las líneas de producción y, parcialmente en servicios higiénicos [8]. Según la GMTD

(Guía de mejor técnicas disponibles) , los parámetros contaminantes se expresan en la figura 1 [7].

Tabla 1: Valores típicos de los parámetros contaminantes en kg/hl de cerveza envasada.
Fuente: [7].

	DQO	Sólidos en suspensión	Nitrógeno total	Fósforo total	Cloruros
Antes de depuración	0,5-2,9	0,06-0,28	0,01-0,06	0,01-0,1	0,06 – 0,2
Después de depuración	0,02 – 0,42	0,005-0,17	0,0026-0,031	0,0011-0,009	0,026-0,34

Los efluentes de las cervecerías tienen una discontinuidad diaria en su caudal así como en su composición, influyendo notablemente los factores como: los elementos que se estén lavando, fases de lavado en la toma de muestra, productos de limpieza, el caudal que se mezcla con el vertido antes de llegar al alcantarillado, importancia de derrames, etc. Los rendimientos de depuración elevados son requeridos, usualmente la tecnología disponible es la combinación de una fase anaerobia seguida de una fase aeróbica, conformada de la siguiente manera: línea de agua (tamizado, homogenización eventualmente acompañada de una neutralización, decantación, ajuste de pH, digestión anaeróbica, tratamiento aeróbico y decantación secundaria) y línea de lodo (espesamiento y deshidratación) [7].

Debido a las concentraciones altas de materia orgánica, se recomienda un sistema anaeróbico previo al sistema aeróbico, porque suele tener como consecuencia una serie de ventajas en el sistema aeróbico [7]:

- Al tener disponibilidad de un sistema anaeróbico eliminando el 70% - 80% de materia orgánica (DQO), el sistema aeróbico no se encontrara sobrecargado.
- Lo que respecta a la fracción biodegradable del agua residual fue eliminada por el sistema anaerobio.
- El sistema aerobio no necesita el mismo nivel de atención, el control de los parámetros de operaciones no son importantes.
- La adición de nutrientes no es necesaria.
- Disminución de la cantidad de fangos producidos en el sistema aeróbico y están más estabilizados.

Hay diferentes tipos de sistemas anaeróbicos en el tratamiento de aguas residuales, el más extensivo en cerveceras es el tipo Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), el más avanzado y de mayor implantación es el sistema anaeróbico de recirculación interna (BIOPAQ-IC) [7].

1.2.2. Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica (AD) es un proceso por el que se utilizan microorganismos descomponedores de desechos orgánicos para la producción de biogás, buscando optimizar el rendimiento del mismo y la degradación de sólidos, la mayor parte de los efluentes resultantes de la AD es separada en fracciones líquidas y sólidas, la porción sólida se reserva, mientras que la líquida es reutilizada como fertilizante. La excesiva aplicación de digestores anaeróbicos puede resultar en el aumento de los niveles de nitrógeno y fósforo, corriendo el riesgo de eutrofización del sistema [5]. Sin embargo, las aguas residuales provenientes de la producción de cerveza poseen las concentraciones de nitrógeno y fósforo necesarios para el crecimiento de microalgas, además

de que las trazas como K, Na, Ca y Mg no limitan su crecimiento convirtiéndose en una factible alternativa [1].

1.2.3. DQO y DBO

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nos ayuda a determinar el oxígeno necesario para los microorganismos responsables en la degradación bioquímica de la materia orgánica en un medio anaeróbico, conociendo los requerimientos relativos de aguas residuales y aguas contaminadas. La demanda química de oxígeno (DQO), es una expresión del poder contaminante del agua, sobre todo en aguas residuales que poseen componentes tóxicos para los microorganismos [13]

1.2.4. Eliminación de nutrientes

Con el fin de mejorar la remoción de nutrientes en aguas residuales (nitrógeno y fósforo), que amenazan continuamente con la eutrofización del sistema. Las microalgas se usan como un instrumento para la eliminación de estos nutrientes, donde el CO₂ de las aguas residuales, puede fijarse a la atmosfera a través de la actividad fotosintética de las microalgas autotróficas. De igual forma el nitrato es la forma más altamente oxidada y más estable en ambientes acuáticos oxidados, siendo una fuente de nitrógeno esencial de microalgas ya que la presencia de nitrato induce la actividad de la nitrato reductasa. El fósforo es también un factor clave en el metabolismo energético de las algas y se encuentra en los ácidos nucleicos, lípidos, proteínas y los intermedios del metabolismo de los carbohidratos [5].

1.2.5. Contaminantes inorgánicos

Los metales pesados son identificados como los mayores contaminantes en las aguas residuales, su forma tóxica expuesta es un riesgo para la salud humana. Kumar et al. (2015) ha demostrado que la forma más eficiente de asimilar estos compuestos, es a través de microorganismos, cuya capacidad de remoción ha resultado ser efectiva que los métodos fisicoquímicos convencionales [14].

1.3. Microalgas: características

Las microalgas son la base de la cadena alimenticia acuática, caracterizada por responder de una manera rápida y predecible en frente de agentes contaminantes [15], éstas al ser organismos vivos necesitan una serie de parámetros como luz y nutrientes que deben ser evaluados y medidos para un cultivo exitoso [12]. Durante los últimos años se han realizado avances importantes con respecto al uso de microalgas con fines medicinales, cosmetólogos, purificación de aguas residuales, producción de pigmentos y antibióticos, industria farmacéutica, prevención de contaminación acuática, acuicultura, entre otros; 493 especies aproximadamente han sido reportadas, de las cuales pueden ser utilizadas como una alternativa de alimentación para el hombre y animales. Algunos países como India, México, Alemania, Japón y Perú, llevan un registro de especies de microalgas que son un excelente complemento alimenticio para ser humano, como las harinas de *Spirulina* y *Scenedesmus* que son caracterizadas por tener un valor proteico alto sin efecto tóxico [15].

Las microalgas son consideradas como el mayor indicativo de una alerta temprana de las características ecológicas de un cuerpo de agua como esteros, charcas, estanques, riachuelos, etc., producidos por productos químicos, uno de los usos de las microalgas como bioindicadores, es la determinación y evaluación de sustancias químicas altamente tóxicas, éstas han sido utilizadas para diagnosticar petróleo en concentraciones significativas, por medio de ensayos realizados en ecosistemas acuáticos donde se ha evidenciado disminución en el contenido de clorofila y en el número de células de la microalgas [15].

El cultivo de microalgas adquiere un protagonismo ya que es considerada eco-amigable, éstas reciclan contaminantes en medios líquidos y gaseosos que son incorporados en su metabolismo para generar biomasa. Existen dos diseños básicos para la producción de organismos fotoautótrofos: cultivo abierto (biomasa expuesta a condiciones ambientales) y cultivo cerrado (fotobiorreactores o PBR con escaso o nulo contacto con el medio externo) [12].

La especie a cultivar depende del fin que se va a brindar a la biomasa resultante como por ejemplo pigmentos y alimento, y/o si el cultivo es para una ficorremediación (capacidad depuradora de una microalga; - eliminando o biotransformando contaminantes en aguas residuales y un medio gaseoso) [12]. En un sistema abierto las especies de algas que predominan dependerán de los factores ambientales y factores biológicos, en el sistema cerrado se logra cultivos monoespecíficos alejados del medio ambiente [15].

Las microalgas han presentado una solución eficiente al tratamiento de aguas residuales, debido a su capacidad a la asimilación de nutrientes orgánicos e inorgánicos, presentes en estas aguas residuales y la

inhibición de la misma a la contaminación bacteriana [1]. El cultivo de microalgas tiene la capacidad de adaptación ante diferentes medios agresivos, gracias a sus mecanismos de tolerancia, donde a través de la membrana llevan a cabo los procesos de absorción, adsorción y desorción de metales pesados, convirtiéndose en una estrategia que promueve la sostenibilidad de descontaminación y previniendo futuros riesgos para la salud, además que el uso de microalgas, disminuye los riesgos de eutrofización del agua [6].

La ficorremediación tiene una mediana complejidad convirtiéndola en una técnica atractiva (fuente de nutrientes y/o CO₂), la asociación a los procesos productivos de la biomasa presenta una cadena de dificultades que deben mejorarse como en la relación costo/eficiencia de los actuales sistemas de separación de biomasa. La biomasa de las microalgas tiene una alta variedad de productos con un valor económico, asociándose a la ficorremediación los costos del cultivo se pueden reducir [12].

En un cultivo de ficorremediación, las microalgas tienen que cumplir tres condiciones: tasa de crecimiento alta, tolerancia elevada a la variación estacional y diurna (sistema abierto), y buena capacidad para la formación de agregados para la cosecha por gravedad. Hay especies que están presentes en aguas contaminadas que son utilizadas en los tratamientos de las aguas residuales por tener una elevada tolerancia. *Chlorella*, *Ankistrodesmus*, *Scenedesmus*, *Euglena*, *Chlamydomonas*, *Oscillatoria*, *Micractinium*, *Golenkinia*, *Phormidium*, *Botryococcus*, *Spirulina*, *Nitzschia*, *Navicula* y *Stigeoclonium* son géneros que han sido reportados en aguas residuales de diferentes procedencias [12].

1.3.1. Cianobacterias, algas verdeazuladas

Las cianobacterias son procariotas, pertenecientes al reino bacteria, son aquellas que realizan la fotosíntesis oxigénica. Su importancia también radica en su papel dentro de la red trófica, como base de los niveles alimenticios acuáticos, al ser las responsables de la mayor productividad primaria en el planeta. Su tolerancia a ambientes contaminados ha sido estudiado por González, García-Balboa, Rouco, Lopez-Rodas, & Costas, (2012), donde recomiendan estos organismo para la bioremediación de cuerpos de agua contaminados y efluentes, antes de ser descargadas a otros sistemas hídricos, resultando ser una estrategia económica y de naturaleza renovable.

1.3.2. Chlophytas (algas verdes)

Son eucariotas, se las conocen como algas verdes por la pigmentación que las caracteriza, al poseer clorofila a y b. Estas algas bajo diferentes condiciones son capaces de producir almidón y aceites esenciales, estos lípidos producidos y almacenados en su membrana tienen un gran interés comercial [14]. Las más populares pertenecientes a este phylum son *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*, no solo por su uso en la biorremediación de aguas contaminadas, sino por reutilización en el campo de la producción de biocombustibles.

1.3.3. *Chlorella sp.*

Los beneficios presentados por esta microalga como estrategia de biorremediación han sido identificados por Lau, Tam, & Wong (1996), en el que usaron *Chlorella vulgaris* para la remoción de nutrientes en aguas residuales, con una efectividad de 86% para Nitrógeno inorgánico y 78%

para P inorgánico. Otros estudios realizados por Olarte Gómez & Valencia Giraldo (2016) midieron la efectividad de remoción de nutrientes en aguas contaminadas con linazas, consiguiendo un resultado de asimilación de Fósforo, Nitrógeno, DQO y DBO5 de 75,7%, 84,93%, y 30,92%, respectivamente, lo que argumenta la viabilidad de emplear la microalga *Chlorella vulgaris* en la realización de procesos de biorremediación.

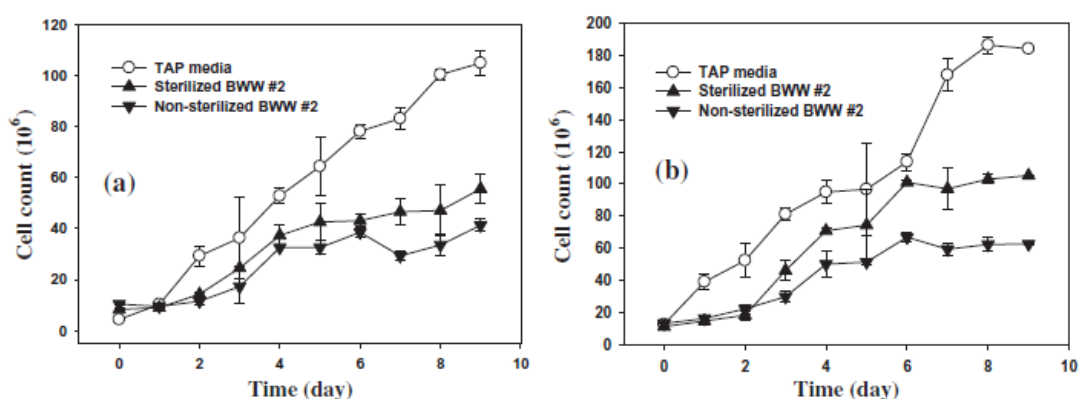


Fig 1. Gráfica de crecimiento celular de la microalga del genero *Chlorella* en un medio de cultivo enriquecido, de BWW esteril y no esteril. Fuente [1]

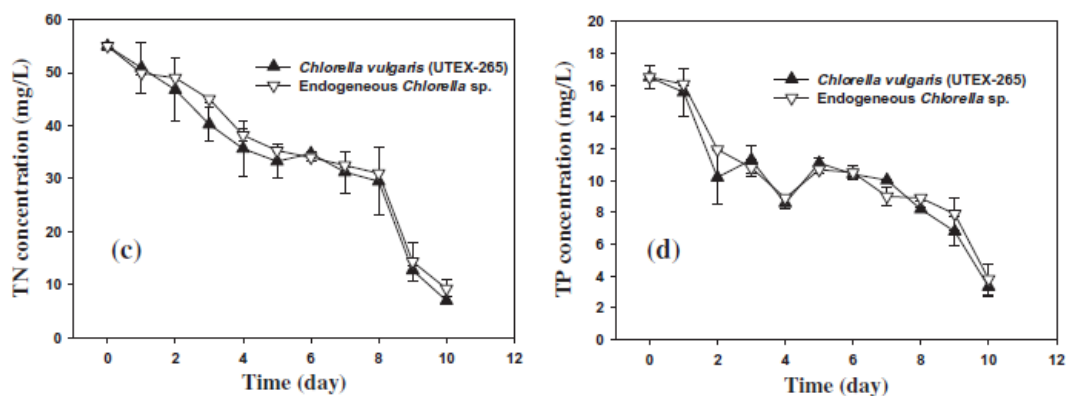


Fig 2. Resultados en la descendencia de los niveles de nitrógeno y fósforo a partir de dos cepas de *Chlorella* en aguas residuales de cervecría. Fuente [1]

1.3.4 *Chlorella vulgaris*

La microalga unicelular escogida como herramienta de depuración, es la *Chlorella vulgaris*, por sus propiedades biológicas está capacitada para tolerar los factores ambientales a los que se expondrá, la literatura describe que es capaz de crecer bajo una fluorescencia de 13000 lux, luz promedio del día [19], el medio óptimo para su crecimiento es de un pH de 7 a 8, por lo que las BWW posee las condiciones necesarias para su crecimiento. La temperatura externa no representa un reto, ya que son capaces de crecer en temperaturas de 22°C a 35°C [20].

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

Las aguas residuales vertidas en los cuerpos de agua ponen en peligro la oferta hídrica mundial, acelerando los procesos como por ejemplo la eutrofización por las altas concentraciones de los nutrientes como el nitrógeno y fósforo, generando una reducción o pérdida de la flora y fauna de los cuerpos de agua y/o causante de la pérdida total de estos ecosistemas [18]. Para prevenir esos inconvenientes se presenta la propuesta de un tratamiento de aguas residuales de las industrias cerveceras con la microalga *Chlorella vulgaris* mediante biorreactores que son piscinas que abarcan grandes cantidades de agua, con poca profundidad para que la luz solar logre penetrar de una manera homogénea para la realización de la fotosíntesis de las microalgas y así obtener una gran cantidad de biomasa algal. Un beneficio del uso de microalgas es el crecimiento fotosintético, no necesitando la adición de una fuente de carbono al medio para su crecimiento, lo que lo convierte en un sumidero de CO₂ [18].

(Olarte Gómez & Valencia Giraldo, 2016) indica que se han realizado estudios utilizando cultivos de la microalga *Chlorella vulgaris* para el tratamiento de aguas residuales en la vinanzas, donde *C. vulgaris* contribuye con la capacidad de remoción de Nitrógeno y Fósforo, obteniendo resultados mayores al 85% en dichos nutrientes y resultados mayores al 90% en sólidos totales.

Respecto al desarrollo de tecnologías en el cuidado ambiental, el reusar residuos y generar energías limpias a un bajo costo se ha tornado indispensable, siendo una de ellas el cultivo de microalgas al ser consideradas

eco amigables, adquiriendo de manera eficiente los contaminantes en medios líquidos y gaseosos, donde los incorporan en su metabolismo para generar biomasa [12]. El sistema propuesto de biorreactores tipos piscinas, son sistemas de cultivos abiertos, el cual se ha popularizado desde el siglo XX en los años 50; componiéndose en medios naturales como artificiales, donde están expuestos a las condiciones ambientales [30], el cultivo del biorreactor circula por un sistema de paletas para una mayor oxigenación, éste sistema es rentable ya que se utiliza para el tratamiento de aguas residuales, disminuyendo costos por requerimiento nutricional del cultivo, estos sistemas radican por su bajo costo y facilidad de construcción y de operación con una alta durabilidad [12].

La implementación de biorreactores conduce a un tiempo de retención hidráulica más bajo, la baja producción de lodos y menor requerimiento de espacio. El uso de sistemas biológicos con biorreactores, están llegando hacer una alternativa a los sistemas tradicionales como el de lodos activos [31]. Los biorreactores de sistemas de cultivos abiertos tienen ciertas ventajas como el bajo costo de implementación, bajo costo de mantenimiento y el valor paisajístico y biotópico, permitiendo convertir zonas degradadas en ecosistemas pequeños debidamente controlados; así mismo ciertas desventajas como las grandes superficies de suelo a utilizar, rendimiento variable de depuración en las estaciones del año y caso de regiones geográficas muy secas, grandes cantidades de pérdida de agua por la evapotranspiración, llevando aun riesgo de que los nutrientes se concentren rápidamente hasta que las microalgas no puedan metabolizar dando origen a la eutrofización [32].

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS ESPERADOS O PRELIMINARES

3.1. BIORREACTOR DE DEPURACIÓN

Para el diseño del biorreactor se consideró los volúmenes de agua resultantes de la actividad productiva de la cerveza, que reporta un volumen de 500m^3 de aguas residuales de un día de producción, involucrando actividades como fabricación y lavado de los sistemas únicamente.

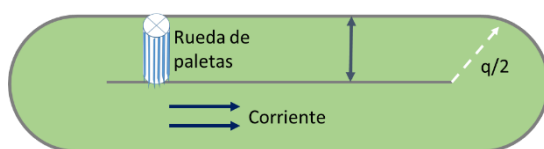


Figura 3: Presentación del sistema del biorreactor propuesto para el cultivo y depuración de aguas.

El diseño del biorreactor se presenta como una piscina de 50 cm de profundidad, 7 m de ancho y 54 m de largo, capaz de abarcar un volumen de 190 m^3 de agua residual, por lo que se considera la implementación de un

total de 9 piscinas, que tendrán una cobertura del material PVC, diseñado así por su amplio uso en la industria y poca adhesión de materiales acuosos, además de alta tolerancia a temperaturas y precios módicos en el mercado [21]. Estas piscinas retendrán el agua residual para la depuración y cultivo de la microalga *Chlorella vulgaris*. Debido a que se generan 500 m^3 de aguas residuales por día de producción, y en la semana laboral se producen tres días, se utilizarán tres piscinas para cada día de producción, hasta cumplir los 7 días de tratamiento y proceder a la cosecha.

3.2. CAUDAL DE LOS SISTEMAS

3.2.1. Caudal De Entrada

Para determinar el caudal de entrada en el sistema, se asumió un caudal principal de entrada para las aguas residuales, teniendo en cuenta que el volumen de agua residual por día de producción es de 500 m^3 , asumiendo como resultado de toda una jornada de trabajo de 8 horas, se realizó el siguiente cálculo.

$$Q = \frac{V}{T} \quad [1]$$

$$Q = \frac{500 \text{ m}^3}{28800 \text{ s}} = 0.01736 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde la ecuación 1 para Q es el caudal que se determinara, V representa el volumen del fluido ya conocido de 500 m^3 y T el tiempo en que el agua es liberada durante la jornada de 8 horas de producción, realizando la conversión de horas a 28800 segundos.

Para determinar el fluido que recorrerá a los sistemas debemos conocer la velocidad del fluido que este recorre en la tubería, despejando la ecuación 2, ya conociendo el diámetro de la tubería y el Q del agua residual, se halla el A , área por la ecuación 4. Y en la ecuación 3 se procede a resolver.

$$Q = v * A \quad [2] \qquad v = \frac{Q}{A} \quad [3] \qquad A = \pi * r^2 \quad [4]$$

$$v = \frac{0.01736 \text{ m}^3/\text{s}}{0.07068 \text{ m}^2} = 0.2456 \text{ m/s} \qquad A = \pi * 0.15^2$$

3.2.2. Caudales Divisorios

Por definición a la ley de conservación de la masa, el flujo que circula desde la tubería principal, hacia los biorreactores, se mantendrá constante y uniforme, cambiando simplemente la velocidad final para cada uno de los tres estanques depuradores.

$$Q_2 = v * A$$

$$Q_2 = 0.0818 \text{ m/s} * 0.07068 \text{ m}^2$$

$$Q_2 = 0.005787 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la ecuación para determinar el caudal de entrada a los tanques, se conservó el mismo diámetro de la tubería y por ende la misma área (A), mientras que la velocidad se divide para tres piscinas.

Conociendo la capacidad y el caudal de entrada para los estanques, se calculó el tiempo de llenado de los biorreactores.

$$Q = \frac{V}{T}$$

$$T = \frac{V}{Q}$$

$$T = \frac{190 \text{ m}^3}{0.005787 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$T = 32832 \text{ s} = 9.12 \text{ h}$$

Con los estanques una vez llenos, se procede a colocar el cultivo, la cantidad de cultivo que ingresa al sistema corresponde al 10% del volumen total del medio, por lo que se estableció que con un ingreso de 16 L de cultivo de *Chlorella* sp. a una densidad de 3×10^6 células por mililitro son suficientes para comenzar la corrida.

3.2.3. Caudales de Salida

Una vez encontrado el caudal de entrada a los biorreactores, se procede a calcular la velocidad del caudal de salida de los mismos utilizando la ecuación $Q = v * A$, conservando el mismo valor para A y la velocidad es multiplicada por tres, para obtener el caudal de salida de los biorreactores.

$$Q_2 = v_2 * A_2$$

$$v_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{0.00579 \text{ m}^3/\text{s}}{0.07069 \text{ m}^2}$$

$$v_2 = 0.08187 \text{ m/s} \times 3$$

$$v_2 = 0.24561 \text{ m/s}$$

Al calcular la velocidad del caudal de salida de los biorreactores, se podrá obtener el caudal de salida, el cual será el mismo valor para el caudal de entrada en el tanque de floculación.

$$A_2 v_2 = A_3 v_3$$

$$v_3 = \frac{0.07069 \text{ m}^2 \times 0.24561 \text{ m/s}}{0.07069 \text{ m}^2}$$

$$v_3 = 0.24561 \text{ m/s}$$

$$Q_3 = v_3 * A_3$$

$$Q_3 = 0.24561 \text{ m/s} * 0.07069 \text{ m}^2 = 0.01736 \text{ m}^3/\text{s}$$

El tanque de floculación tiene una salida del agua ya tratada el cual se calculará su caudal de salida sabiendo que el diámetro de la tubería es de 0.5 m, calculando a su vez la velocidad del caudal de salida.

$$A_3 v_3 = A_4 v_4$$

$$v_4 = \frac{0.07069 \text{ m}^2 \times 0.24561 \text{ m/s}}{0.19635 \text{ m}^2}$$

$$v_4 = 0.08842 \text{ m/s}$$

$$Q_4 = v_4 * A_4$$

$$Q_4 = 0.08842 \text{ m/s} * 0.19635 \text{ m}^2 = 0.01736 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.3. SISTEMA DE AIREACIÓN

El aireador seleccionado para este tipo de sistema fue escogido por un estudio previo realizado por Boyd (1998), donde se expresa que para sistemas de

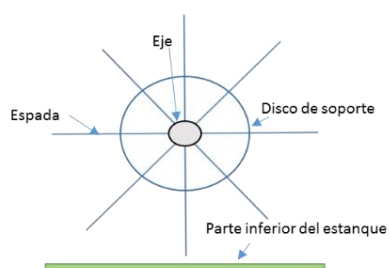


Figura 4: Presentación de la rueda en paletas para el sistema de circulación

cultivo en piscinas, la circulación por paletas proveía buenos niveles de intercambio de oxígeno. Estos sistemas se conforman por una serie de cuchillas que pueden ser de acero o plástico reforzado con fibra de vidrio. Las cuchillas deben ser soportadas en el eje de tal manera que no se doblen debido a la presión del agua durante la rotación [23]. De acuerdo a la literatura, una velocidad de 0.2 m/s es

recomendable para evitar la sedimentación de los organismos, y la estratificación térmica [23].

La rueda de paletas ejercerá un diámetro hidráulico sobre el sistema, para garantizar su circulación, por ende es necesario conocer su proporción sobre el sistema.

$$d_h = \frac{4wh}{w+2h} [5]$$

$$d_h = \frac{4 * 3.5 * 0.5}{3.5 + (2 * 0.5)} = 0.87m$$

Donde w , es el ancho del flujo en la piscina y h , la altura que posee la misma en metros.

Al usar un sistema de rueda de paletas, se debe ser sensible con la fuerza ejercida sobre los microorganismos, siendo suficiente 1 kW de potencia a 75-120 rpm, reportado por Boyd (1998), garantizando el flujo del sistema y cultivo de algas..

3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO CON MICROALGAS

Las aguas residuales de los procesos de producción de cerveza, limpieza de maquinarias y áreas, pasan a un reservorio de agua con una reja, donde se retienen los sólidos, luego pasan por otro reservorio con un filtro donde los sólidos pequeños que lograron pasar del reservorio anterior serán retenidos, estas aguas llegarán a las piscinas donde se realizará el tratamiento con las microalgas, cada piscina tiene una dimensión de 54 m de largo, 7 m de ancho y 0.5 m de profundidad, recaudando un volumen de 190 m³, se sembrará en 500 m³, 50 lts de microalgas que contiene una concentración de 3 x 10⁶ cel/ml, cada piscina contiene un volumen de 190 m³, por lo que a cada piscina le toca 16,66 lts de microalgas. Una vez pasado los 7 días de tratamiento, este cultivo pasa el sistema de floculación con el objetivo de estabilizar partículas (en este caso las microalgas), para tener aglomeraciones con mayor peso y mayor tamaño para una mejor sedimentación [28], este sistema está conformado por un tanque floculador, con dimensiones de 21 m de largo, 8 m de ancho y 3 m de profundidad (ver figura 4), se procede a colocar el floculante esparciéndose homogéneamente agitando constante y fuertemente por unos minutos, luego de una hora se habrá sedimentado la biomasa la cual será recolectada liberando finalmente el agua ya depurada al sistema de alcantarillado. Los floculantes que se usaran en este sistema son el sulfato de cobre (Cu SO₄) y sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃), siendo éste el más usado en los tratamientos de aguas residuales, se agregará 0,175 g/L, es decir, en cada 40 litros de agua se agrega 7 gr de Al₂(SO₄)₃ [24].

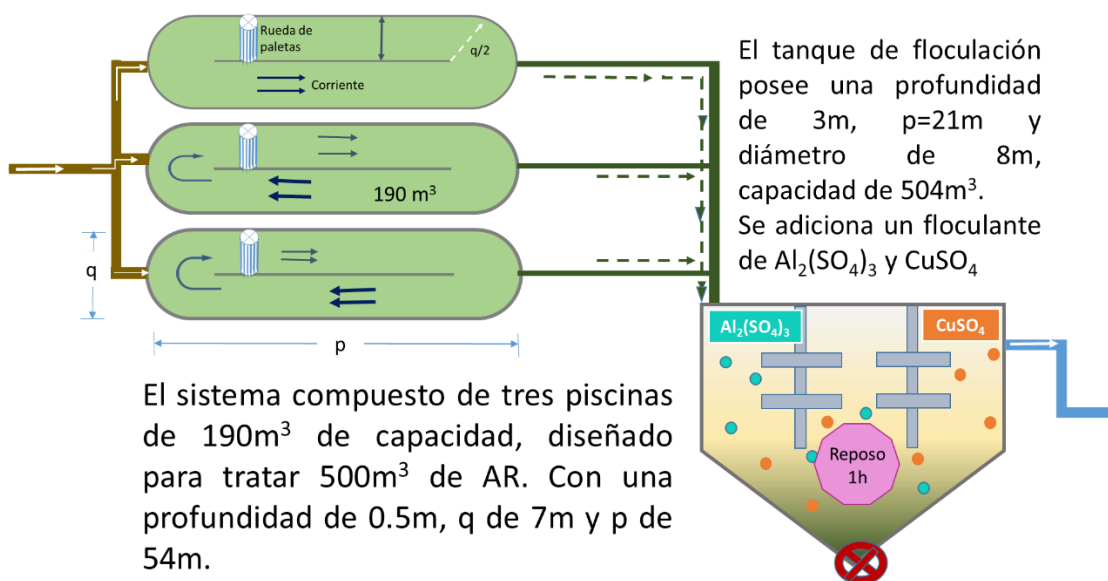


Figura 5: Diagrama del sistema de cultivo y cosecha.

3.5. RECOLECCION DE LA BIOMASA

Después del sistema de floculación, la biomasa algal recolectada debe ser tratada con rapidez, la deshidratación es un proceso utilizado para la ampliación de la viabilidad en función del producto final requerido, el método más utilizado para la deshidratación son: secado al sol, secado por aspersión, tambor de secado, lecho fluido de secado, liofilización, entre otros [29].

Después de la ejecución y efectividad del sistema propuesto se espera lo siguiente:

- Para una mayor remoción de nutrientes el tiempo de cultivo debe ser de 7 a 10 días, para obtener una reducción del 80% de nitrógeno y un 75% del fósforo, los nutrientes necesarios para la demanda energética de la microalga y de la producción de biomasa, purgando las aguas residuales de este tipo de elementos (Farooq et al., (2013) y Weber & Stadlbauer, (2017)).

- El volumen de aguas residuales tratadas por medio de este sistema sea mayor y requiera de menor tiempo de permanencia, optimizando y mejorando los procesos de depuración, reduciendo su consumo energético [25].
- La implementación de este diseño como sistema primario de depuración sea efectivo, en la remoción de nutrientes y producción de lípidos a partir de fotobiorreactores, donde su eficiencia de remoción al encontrarse en un sistema de retención hidráulica es mayor al 95% [26].
- Se realizará análisis de calidad de agua antes de entrar y después de salir del tratamiento para obtener evidencias de la eficacia del sistema propuesto, reduciendo no solo los niveles de N y P, sino la reducción de DBO, la inhibición de coliformes y la remoción de metales pesados [27].
- El uso de la ficorremediación como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales de la industria cervecera, para reducir los niveles de eutrofización en los sistemas, optimizando procesos energéticos y reduciendo costes en el proceso, además de promover un nuevo sistema de aprovechamiento al cultivo de microalgas para la producción de biocombustibles, alimentación animal, biofertilizantes u otros de valor añadido [28].

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La diferencia entre el sistema propuesto y el usado actualmente, se basa en la reutilización de la biomasa resultante como materia prima para industrias de interés, ya sea desde la producción de biocombustibles, o de alimentos para animales, promoviendo y proyectando la innovación a energías más sostenibles y amigables con el medio.
2. La biomasa de microalgas que se produce a partir del tratamiento de estas aguas, tiene un potencial económico para la producción de biodiesel por su elevado contenido de lípidos, llegando a cambiar la matriz productiva a un nivel más verde, si se llega a aprovechar correctamente este sistema.
3. Los tanques, al ser caracterizados como biorreactores, aprovechan la energía lumínica del medio, por lo que el uso energético es notablemente menor y la inversión en el sistema de depuración es menor.
4. El uso de la microalgas del género *Chlorella* garantiza una resistencia a los factores ambientales (pH, irradiación solar y temperatura) que se desarrollan en un sistema abierto, sin olvidar su ambientación previa al agua residual como medio para partir el sistema de cultivo.

Recomendaciones

1. El tratamiento de aguas residuales de industrias cerveceras con microalgas, es más efectivo como tratamiento primario que como tratamiento secundario.
2. Probar el sistema de tratamiento con microalgas en tiempo y espacio bajo las diferentes estaciones.
3. Limitar y monitorear la posible contaminación del medio al ser un sistema abierto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] W. Farooq *et al.*, “Two-stage cultivation of two *Chlorella* sp. strains by simultaneous treatment of brewery wastewater and maximizing lipid productivity,” *Bioresour. Technol.*, vol. 132, pp. 230–238, 2013.
- [2] B. Weber and E. A. Stadlbauer, “Sustainable paths for managing solid and liquid waste from distilleries and breweries,” *J. Clean. Prod.*, vol. 149, pp. 38–48, 2017.
- [3] C. Ludeña, D. Wilk, and A. Deeb, “ECUADOR: Mitigación y Adaptación al Cambio Climático,” *Banco Interam. Desarro.*, p. 619, 2013.
- [4] C. D. Calixto *et al.*, “Biochemical compositions and fatty acid profiles in four species of microalgae cultivated on household sewage and agro-industrial residues,” *Bioresour. Technol.*, vol. 221, pp. 438–446, 2016.
- [5] T. Cai, S. Y. Park, and Y. Li, “Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 19, pp. 360–369, 2013.
- [6] M. Salazar González, “Aplicación e importancia de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales,” *ContactoS*, vol. 59, pp. 64–70, 2005.
- [7] E. O. Industrial, “LOS VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS CERVECERAS,” pp. 1–12, 2008.
- [8] Cerveceria Nacional, “Memoria_sostenibilidad_2013.pdf.” 2013.
- [9] G. Mujtaba and K. Lee, “Treatment of real wastewater using co-culture of immobilized *Chlorella vulgaris* and suspended activated sludge,” *Water Res.*, vol. 120, pp. 174–184, 2017.
- [10] N. Brasil, C. Administrativo, D. Econ, and F. Beltr, “Área temática:

Economía industrial, ciência, tecnologia e inovação AMBEV - ANÁLISE DA FUSÃO E OS EFEITOS SOBRE O MERCADO Keli Prezzotto,” pp. 1–24, 2010.

- [11] M. Ambiente and E. Organización, “Características y tratamientos de las aguas residuales industriales por sectores: agrícolas y alimentarias II. Instalaciones bodegueras, bebidas alcohólicas y elaboración de azúcar de remolacha.,” pp. 1–41, 2008.
- [12] A. Hernández-Pérez and J. I. Labbé, “Microalgas, cultivo y beneficios,” *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, vol. 49, no. 2, pp. 157–173, 2014.
- [13] M. M. Angel Sánchez, “Contribucion al estudio de la demanda bioquímica de oxígeno.,” p. 4682, 1994.
- [14] S. A. Montaña, “Microalgas: Aplicaciones E Innovaciones En El Tratamiento De Aguas,” vol. 2, no. July, pp. 30–65, 2015.
- [15] M. Medina Jasso, A., Piña, P., Valdez, J. F. Soto, Arzola, M. González, Guerrero, and Ibarra, “La importancia de las microalgas,” *CONABIO. Biodiversitas*, vol. 103, pp. 1–5, 2012.
- [16] R. González, C. García-Balboa, M. Rouco, V. Lopez-Rodas, and E. Costas, “Adaptation of microalgae to lindane: A new approach for bioremediation,” *Aquat. Toxicol.*, vol. 109, pp. 25–32, 2012.
- [17] P. S. Lau, N. F. Y. Tam, and Y. S. Wong, “Wastewater nutrients removal by *Chlorella vulgaris*: optimization through acclimation,” *Environ. Technol.*, vol. 17, no. 2, pp. 183–189, 1996.
- [18] E. Olarte Gómez and M. J. Valencia Giraldo, “Evaluación del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de aguas residuales (Vinazas),” pp. 1–30, 2016.

- [19] M. Scarsella, G. Belotti, P. De Filippis, and M. Bravi, "Study on the optimal growing conditions of *Chlorella vulgaris* in bubble column photobioreactors," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 20, pp. 85–90, 2010.
- [20] S. Månsson, "Cultivation of *Chlorella vulgaris* in nutrient solution from greenhouse tomato production," p. 32, 2012.
- [21] D. R. Tobergte and S. Curtis, "Materiales poliméricos de mayor interés industrial," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [22] C. E. Boyd, "Pond water aeration systems Boyd," vol. 18, no. February, pp. 9–40, 1998.
- [23] Y. Chisti, "Raceways-based production of algal crude oil," *Green*, vol. 3, no. 3–4, pp. 195–216, 2013.
- [24] J. J. DÍAZ OVIEDO and L. Y. RAMÍREZ MIELES, "DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DEL AGUA DE LA LAVADORA APLICADO A LOS HOGARES DE BOGOTÁ D.C.," 2016.
- [25] J. Alcarria, "Evaluacion Tecnologica De Los Biorreactores Se Membrana," pp. 1–161, 2007.
- [26] S. Ge and P. Champagne, "Nutrient removal, microalgal biomass growth, harvesting and lipid yield in response to centrate wastewater loadings," *Water Res.*, vol. 88, pp. 604–612, 2016.
- [27] N. Abdel-Raouf, A. A. Al-Homaidan, and I. B. M. Ibraheem, "Microalgae and wastewater treatment," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 19, no. 3, pp. 257–275, 2012.
- [28] A. S. Bolado *et al.*, "Tratamiento y valorización de aguas residuales mediante microalgas," 2016.
- [29] Palomino M, A., Estrada F, C., & Lopez G, J. (2010). Microalgas: Potencial

Para La Produccion De Biodiesel. *IV Congresso Brasileiro de Mamona E I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas* , João Pessoa , P B – 20 10 *Página | 157 CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA , 4 & SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS*, 149–157. Retrieved from <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/855024/1/BID07.pdf>

- [30] Candela Orduz, R. D. (2016). Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica. Retrieved from <http://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=%2Fbitstream%2F10596%2F12170%2F1%2F91541023.pdf>
- [31] Rivas Lucero, B. A., Pérez Hernández, A., & Morillón, V. N. (n.d.). Sistema De Tratamiento Biológico Aplicable Al Uso De Aguas Residuales En Riego Agrícola, (639).
- [32] Malgas. (2013). Aplicaciones de las microalgas: estado de la técnica. *AST Ingeniería S.L.*

S. Ramírez, «Ambev dio informe final de compromiso para fusión con Cervecería Nacional,» *El Comercio*, 8 julio 2016.

ANEXOS

ANEXO 1. Presupuesto del sistema de tratamiento de aguas residuales

Presupuesto dado para un sistema de tratamiento.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
aireadores de paletas	3	719,11	2157,33
Bomba autoaspirantes	3	172,9	518,7
Tuberías pvc	5	64,39	321,95
tanque	1	2500	2500
agitadores de paletas	2	150	300
		TOTAL	5797,98