

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA
LA OBTENCIÓN DE SUBPRODUCTOS UTILIZANDO MICROALGAS**



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ, D.C

2017

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA
PARA LA OBTENCIÓN DE SUBPRODUCTOS UTILIZANDO MICROALGAS**

KAROL LUCIA FUENTES ESCOBAR

JULIAN ALBERTO OLIVERA BONILLA

TRABAJO DE GRADO

DIRECTORA

ING. ADELA TATAIANA RODRIGUEZ CHAPARRO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ, D.C

2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la oportunidad de culminar con éxito mis proyectos y metas propuesta a lo largo de este arduo camino, al finalizar mi pregrado con éxito al lado de personas maravillosas, A mi familia en especial a mi madre Melida Escobar y mi abuela Meris Beltrán, por apoyarme en todo momento y ser mi motor de motivación. A mi compañero de grado Julián Olivera por emprender conmigo esta investigación, que nos dejó grandes conocimientos y satisfacciones durante el proceso de aprendizaje, también quiero resaltar la colaboración por parte de nuestro Tutor la Ing. Adela Rodríguez por darnos la oportunidad de trabajar con ella y compartirnos todos sus conocimientos, al lado del personal del laboratorio donde se realizó la investigación presente. Por ultimo Agradecer Santiago Matiz, por convertirse en mi motivo de superación personal, por estar conmigo en los momentos especiales y apoyarme incondicionalmente.

Karol Fuentes Escobar.

Me gustaría expresar mi agradecimiento a mi compañera Karol L. Fuentes Escobar por su orientación y aliento a través del desarrollo de aprendizaje de este proyecto. También, me gustaría agradecer a la ingeniera Tatiana Rodríguez y a todo al Grupo de Investigación de Saneamiento Ambiental por el apoyo en el camino. Sobre todo, les agradezco a mis padres por el apoyo que me brindaron durante mi proceso de formación, y a mis amigos y familiares, que me han apoyado durante todo mi pregrado.

Julian A. Olivera Bonilla

DEDICATORIA

Nuestro esfuerzo lo dedicamos a Dios porque sin el nada es posible. A nuestra familia, quienes han sido el apoyo incondicional para lograr cada uno de los proyectos propuestos en nuestra vida, en aspectos académicos y profesionales.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA	III
ÍNDICE DE TABLAS	V
TABLAS DE FIGURAS	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
3. ANTECEDENTES	3
4. JUSTIFICACIÓN.....	5
5. Capítulo 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
5.1. Consideraciones sobre las Microalgas	7
5.2. Tipos y características	7
5.3. Morfología de microalgas	8
5.4. Condiciones ambientales de cultivo.....	8
6. Capítulo 2: Fotobiorreactores	15
6.1. Sistema Abierto	16
6.2. Sistema Cerrado	16
6.2. Sistema cerrado de laboratorio.....	20
7. Capítulo 3: Productos derivados de las microalgas.....	21
7.1. Alimentación	23
7.2. Biocombustible.....	23
7.3. Bioasfalto.....	23
8. Capítulo 4: Tratamiento de aguas residuales con microalgas.....	26
8.1. Microalgas en el tratamiento de aguas residuales	27
8.2. Tipos de sistemas de tratamiento con microalgas.....	28
9. Capítulo 5: Extracción de aceite a partir de microalgas.....	29
10. METODOLOGÍA.....	31
11. DISCUSIÓN Y RESULTADOS.....	39
10.1. Curvas de crecimiento	39
10.2. Recuperación de biomasa.....	43

10.3. Extracción de aceite.....	44
12. CONCLUSIONES	47
13. RECOMENDACIONES.....	48
14. REFERENCIAS.....	49
ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Requerimientos principales de cultivo	12
Tabla 2. Medio Chu 10 (modificado por gerloff).....	13
Tabla 3. Medio miguel (allen-nelson, 1910)	13
Tabla 4. Medio erd-sahreiber enriquecido (foyn, 1934).....	13
Tabla 5. Medio de yashima (sisffaa, 1964)	14
Tabla 6. Medio yanase & imai (1968).....	14
Tabla 7. Tipos básicos de Fotobiorreactores.	18
Tabla 8. Diferentes aplicaciones de las microalgas.....	22
Tabla 9. Modificaciones Presentados en Bioasfalto.....	26
Tabla 10. Medio de cultivo Comercial	33
Tabla 11. Medio de cultivo norma Brasil.....	34
Tabla 12. Preparación medio Brasil	34
Tabla 13. Análisis de parámetros de condiciones ambientales	37
Tabla 14. Análisis de recuperación de biomasa	37
Tabla 15. Métodos de Extracción	38

TABLAS DE FIGURAS

Figura 1. Tipos Básicos de fotobiorreactores.	20
Figura 2. Fotobiorreactor Cerrado de Laboratorio.	21
Figura 3. Tendencia de publicaciones de Artículos.....	24
Figura 4. Países con Publicaciones en Bioasfaltos	25
Figura 5. Metodología experimental	31
Figura 6. Inoculación de la Cepa	32

Figura 7. Suministro de CO ₂	35
Figura 8.Cosecha del cultivo de Microalgas	36
Figura 9. Recuperación de biomasa.....	38
Figura 10.Curva de Crecimiento Medio de Cultivo Brasil.....	39
Figura 11. Curva de Crecimiento Medio de Cultivo Comercial	40
Figura 12.Curvas de Crecimiento de Botellas con medio Comercial.....	41
Figura 13. Curvas de Crecimiento de Botellas con medio Brasil.....	42
Figura 14. Floculación medio de cultivo Comercial	43
Figura 15. Floculación medio de cultivo Brasil	43

RESUMEN

El desarrollo de energías renovables, se ha convertido en centro de enfoque a nivel mundial. La necesidad que tiene el planeta por mitigar los impactos ambientales derivados de cierto producto con gran carga contaminante han sido la motivación para buscar alternativas sostenibles que puedan remplazar productos que afecte el medio ambiente, de manera más amigable. Es por ello, que para la siguiente investigación se propuso realizar un cultivo de microalgas con el fin de aumentar la población de lípidos y poder extraer aceite de el con el fin de brindarle aplicación en la ingeniera civil, por ejemplo, en la preparación de bioasfalto. Además, se evaluaron las condiciones de cultivo adecuadas para maximizar el cultivo de microalgas *Chlorella Vulgaris* bajo condiciones de operación y mantenimiento, también se determinaron los procesos de recuperación de biomasa por medio de floculación a altos pH. Por último, se desarrollaron diferentes procesos de extracción de aceite. Los resultados mostraron la eficiencia de la floculación a altos pH como recuperación de biomasa. Además, método de extracción que produjo mejor resultado fue el de bligh & dyer.

Palabras Claves: Bioasfalto, Extracción, Fotobiorreactor, Microalgas.

ABSTRACT

The development of renewable energies, has become a center of focus worldwide. The need of the planet to mitigate the environmental impacts derived from a certain product with a high polluting load has been the motivation to look for sustainable alternatives that can replace products that affect the environment, in a more friendly way. That is why, for the next investigation, it was proposed to carry out a microalgae culture in order to increase the lipid population and be able to extract oil from it in order to provide application in the civil engineer, for example, in the preparation of bioasses . In addition, the appropriate culture conditions were evaluated to maximize the cultivation of *Chlorella Vulgaris* microalgae under operating and maintenance conditions, the biomass recovery processes were also determined by means of flocculation at high pH. Finally, different oil extraction processes were developed. The results showed the efficiency of flocculation at high pH as biomass recovery. In addition, the extraction method that produced the best result was bligh & dyer.

Key Words: Bioasfalto, Extraction, Photobioreactor, Microalgae

1. INTRODUCCIÓN

Las microalgas son microorganismos que tienen grandes características con respecto a la producción de lípidos, estas prometen una gran producción de aceite por unidad de área debido a su alto contenido de lípidos, el cual supera a todas las fuentes de producción de aceites utilizadas en la actualidad. Adicionalmente, las microalgas son cultivadas en fotobiorreactores, los cuales solo necesitan un medio líquido de cultivo, algunos nutrientes y luz solar para estimular el crecimiento de la biomasa de microalgas. Las condiciones ambientales de crecimiento de las microalgas son los factores determinantes para su óptimo crecimiento. Es por ello que, el objetivo de la presente investigación radica en desarrollar una metodología para la obtención de bioaceite a partir de microalgas, elaborando procesos de floculación de biomasa y extracción de bioaceite, con el fin de definir el proceso más adecuado para dichos procesos.

El enfoque que se le ha dado a la investigación, fue la aplicación de este aceite a mezcla de asfalto, con el fin de utilizarlo como aglutinante asfáltico, pocas investigaciones sobre el tema se han registrado a nivel mundial. La creación de bioasfalto ha sido desarrolladas con otro tipo de aceites como el aceite de ricino y resina de dama, obteniendo resultados satisfactorios comparados con los asfaltos convencionales.

La investigación se desarrolló en 5 capítulos. Cada uno de los capítulos comprendió los temas a profundidad, El Capítulo 1 se refirió a las generalidades y descripción de las microalgas, desde su morfología hasta las condiciones ambientales de crecimiento, el Capítulo 2 fue basado en los fotobiorreactores y ventajas que cada uno ofrece con respecto al otro, el Capítulo 3, fue referido a los productos derivados de las microalgas, el Capítulo 4, a su vez se referenció a los sistemas de tratamiento de aguas residuales con microalgas, los tipos de tratamientos y las ventajas que cada uno de ellos ofrece, por último el Capítulo 5, fue direccionado a la extracción de aceite a partir de microalgas, explicando los métodos existentes para este tipo de procesos.

La investigación tuvo un orden de desarrollo para llegar al producto final que fue el aceite extraído, a continuación, se explicará la metodología utilizada para lograr tal fin.

2. OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar una metodología para la obtención de bioaceite a partir de microalgas, elaborando procesos de floculación de biomasa y extracción de bioaceite, con el fin de definir el proceso más adecuado para dichos procesos.

Objetivos Específicos

- Identificar las condiciones ambientales para el mantenimiento del cultivo de las microalgas y cuantificar su crecimiento con respecto al tiempo.
- Determinar la eficiencia de recuperación de biomasa de microalgas utilizando procesos de floculación, sedimentación y precipitación química.
- Definir el volumen de la producción de aceite a partir de microalgas utilizando procesos de extracción.

3. ANTECEDENTES

Los sistemas de tratamiento de agua, son parámetros fundamentales para la protección de la salud pública y el medio ambiente. Por tal razón, los tratamientos y procesos utilizados en tratar las aguas tienen como objetivo evitar enfermedades causadas por bacterias y virus en las personas, además de ello se fundamenta en proteger la fauna y la flora presente en el cuerpo receptor. El tratamiento de aguas es la eliminación de patógenos y otros contaminantes en los cuerpos fluviales, bajo parámetros de calidad del agua captada en la fuente, se deben realizar una serie de proceso de tratamiento, para ellos se debe realizan un sucesión de procesos físico-químicos y biológicos (Básico, Noviembre de 2000), Una planta de tratamiento está regida por unos procesos primarios que se basan en la floculación en el cual se aglomeran o colisionan las partículas formado estructuras más grandes denominados 'flocs' que propenden a sedimentarse (Watanabe, 2017), seguida de una técnica que es viable para la remoción de sedimentos o partículas del cuerpo hídrico facilitando la separación de estos con el principio de la gravedad (Ochowiak, 2016), complementado a través de un proceso de disolución por medio de reactivos químicos, que se realiza mediante de la evaporación, de reacciones químicas o de enfriamiento repentino, en el cual se obtiene un sólido que es precipitado (Básico, Noviembre de 2000). Por tal razón, Actualmente existe una tendencia en la búsqueda de alternativas de combustibles más limpios y que disminuyen las emisiones de dióxido de carbono, como la energía solar, fotovoltaico, térmico, hidroeléctrico, la geotérmica, la eólica y los biocombustibles. Un ejemplo son los bioasfaltos que consiste en múltiples cadenas alquídicas conformados por ácidos grasos, alcoholes y ácidos que configuran el compuesto bituminoso con propiedades viscoelásticas a partir de biomasa renovable y es técnicamente capaz de sustituir los derivados petreos como materiales principales para la elaboración de ligantes, por ende, es el complemento de los agergados que es el otro material principal de la estructura del bioasfalto y los asfaltos convencionales que les brinda la resistencia para soportar los ejes equivalentes estimados que pasaran sobre ellas (Sanabria, 2016). De tal manera, la producción de aceites vegetales es la principal materia, para incentivar el uso de cultivos de alto contenido oleaginoso como las microalgas marinas estos cultivos generan ventajas como la eficacia fotosintética la cual

logra convertir entre el 3 y el 8 % de la energía solar en biomasa, en comparación con el resto de plantas que solo proporcionan el 0,5%. Además, eleva la tasa de crecimiento, duplicando su biomasa en aproximadamente 24 horas (Meng *et al.*, 2009) y tienen periodos de crecimientos muy cortos. En algunos casos teóricos estiman que las microalgas tienen el potencial para producir mayor cantidad de biomasa y de aceite por hectárea que cualquier planta oleaginosa (Chisti, 2007; Mata *et al.*, 2010). El número de especie de algas es bastante extenso, se estima que una cantidad desconocía, y la mayoría están compuestas por microalgas y el resto en macroalgas. Siendo entonces, la microalgas caracterizadas por tener una mayor eficiencia en cuanto a la energía solar para realizar sus procesos fotosintéticos, por su sencilla estructura celular. (Ramos *et al.*, 2010). La clasificación microalgal, es definida según su color y estructura celular. Sin embargo, no se ha establecido un sistema de clasificación definido y ampliamente aceptado, debido a la taxonomía del espécimen. Una de las primeras investigaciones al respecto de la clasificación microalgal destaca la importancia filogenética de las membranas alrededor del cloroplasto del microorganismo, descubriendo que se pueden encontrar cuatro grupos distintos de microalgas, con un sistema de clasificación de Género; Especie. Propuesto por Lee (1989).

4. JUSTIFICACIÓN

Sabemos que existen muchas posibilidades de reducir el costo de la energía utilizada en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Por lo tanto, es natural considerar la importancia de la instrumentación de medidas de eficiencia energética en las plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que este proceso muchas veces representa del 25 al 50% del presupuesto operativo de una planta (Pistonesi et al., 2010), con el fin de la producción de aceite a partir de las microalgas, para los procesos de generación de energías alternativas

Sabemos que existen muchas posibilidades de reducir el costo de la energía utilizada en el proceso de tratamiento de aguas residuales. De igual modo, el proyecto se justifica en tomar los procesos convencionales de tratamientos de agua residual con el objetivo de llevarlos a la práctica y demostrar las facilidades de su implementación con un cultivo de microalgas, para el proceso de obtención de subproductos de ellas.

Para ello se inicia el proyecto la identificación de los procesos de tratamiento a utilizar, además la determinación del proceso óptimo en cada paso y solución del objetivo. De tal manera. las microalgas plantean una alternativa más sólida que cualquier otra clase de organismo para la producción y su conversión a bioasfalto, puesto que algunas son de carácter oleaginosas, siendo microorganismos fotosintéticos que solo requieren energía solar, H₂O, CO₂ y una variedad de sales para generar muy altas eficiencias de biomasa rica en lípidos<. Tanto es así que, son los organismos fotosintéticos de mayor rendimiento, absorben 21% mayor cantidad de CO₂ y liberan más O₂ que cualquier planta, su crecimiento es extremadamente rápido y consiguen retener grandes cantidades de diversos productos. La investigación se ha enfocado hacia un análisis tanto productivo como económico, de la etapa de obtención de lípidos de las microalgas. Argumentando la investigación a la extracción del aceite, debe ser abordada en profundidad para poder reducir los costos productivos de la etapa al máximo, ya que esta actividad puede atribuir en mayor medida la viabilidad económica del sistema en su conjunto. El mérito del desarrollo del proyecto radica, en el enfoque sostenible de la producción de aceite a partir de microalgas y se fundamentan dentro de la necesidad de encontrar alternativas de uso y aplicabilidad de este tipo de aceite, basado en la producción y su bajo costo, capaces de competir en el marco actual de las energías

renovables. Igualmente, La generación de estos aceites a partir de las microalgas presenta innumerables ventajas en muchos aspectos, como lo es el complementar el resto de las energías renovables abordando unos de los aspectos más difíciles a las demás tecnologías; un combustible de forma sustentable y accesible. Cabe resaltar, que cuando se desarrollan distintas posibilidades de obtener energía eléctrica a partir de microalgas como vector energético primario. A raíz que, El crecimiento económico trae aparejado un incremento en la demanda de energía, que también necesita del recurso hídrico para su producción, y el crecimiento demográfico conlleva una mayor demanda de los servicios energéticos. (Lentini, 2015)

Por otra parte, los tipos de procesos que constituyen el proyecto y hacen parte de una planta de tratamiento no representan problema, ya que en la mayoría se ha optado por métodos convencionales de tratamiento, en particular por el de floculación, sedimentación, precipitación química y trampa de aceite(con modificación), por tal razón, Respecto a lo económico, al tratarse de obras de ingeniería especializada y de fácil manipulación, estos tipos de procesos de tratamiento de agua aplicado en microalgas quedan al alcance de muchos municipios. Además, los beneficios que se obtendría de elaborar este tipo de sistema en aspectos económicos y alternativos son de gran ayuda ambiental, (Lahera Ramón, 2010). Resumiendo, podemos decir que el tratamiento de las aguas servidas para reúso, reincorporación a los cuerpos de agua superficiales y re infiltración a los mantos freáticos. Ambientalmente, las plantas de tratamiento que existen tienen un grave impacto ya que utilizan en su mayoría tecnologías contaminantes, altas en uso de energía, que producen desechos tóxicos como resultado de su operación, por tal razón, una alternativa sostenible de todos estos procesos realizados en una planta de tratamiento, es la utilización de los mismos para la recolección y procedimientos de generación de aceite a partir de microalgas, con fines de mitigar el impacto energético con la generación de biocombustibles alternativos. (Lahera Ramón, 2010).

5. Capítulo 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

5.1. Consideraciones sobre las Microalgas

Las Microalgas son los organismos autótrofos que realizan la fotosíntesis oxigénica, siendo microorganismos que se pueden encontrar en hábitats independientes o en colonias. En general acuáticas. Se trata de un grupo polifilético o artificial, y no tiene por lo tanto ya uso en la clasificación científica moderna. Además, este tipo de microorganismo son capaces de colonizar prácticamente cualquier hábitat, en lo que usualmente están incluidos tanto organismos eucariotas y procariotas. Los principales grupos de microalgas se han clasificado y dividido, de acuerdo a las características morfológicas que presentan, como la base de pigmentación de cada una de ellas, la naturaleza química de los productos fotosintéticos de almacenamiento, adicionalmente, las características particulares de los cloroplastos, pared celular, número y estructuras de los flagelos. (Ramos Suárez, 2014)

La ventaja más notoria, es la tasa de crecimiento de este tipo de organismo fotosintético, definiendo su crecimiento como la cantidad de energía solar que se fija como energía química durante el crecimiento fotoautótrofo en relación a la energía recibida. Las radiaciones solares se encuentran entre 400 y 700nm de longitud de onda y esto a su vez corresponde 42.3% del total de la energía solar. (Brennan, L. & Owende, P, 2010).

5.2. Tipos y características

La composición de las microalgas (contenido en lípidos, carbohidratos y proteínas) es variable, y puede ser manipulada mediante diferentes condiciones durante el proceso de su cultivo. En general, las cianobacterias tienen un contenido de hasta 20% en lípidos, mientras que el contenido lipídico de las algas eucariotas oscila entre un 20 y 50% en peso seco. Aquellas microalgas pertenecientes a diferentes linajes tienden, con algunas excepciones, a diferenciarse en términos de composición celular, particularmente en las cantidades relativas de proteínas, lípidos y carbohidratos. (Braidá & *et al.*, 2015).

Los factores ambientales, particularmente la luz, temperatura, nutrientes y salinidad (en el caso de algas marinas), no solamente afectan a la fotosíntesis y a la productividad de biomasa,

sino que también influyen en el metabolismo celular y por lo tanto a la composición dinámica de la célula.

5.3. Morfología de microalgas

Las microalgas son el conjunto de microorganismos unicelulares, las cuales tiene las ventajas de asimilar la emisión de CO₂ del ambiente, para realizar su proceso fotosintético y siendo este superior a las del resto de plantas terrestres. Debido a que crecen en suspensión acuosa y tienen fácil acceso a los nutrientes principales para su reproducción, el rayo solar, y la variación de temperaturas, lo que favorece la producción de o₂ sumando la acumulación de lípidos de alta densidad como forma de energía y productor de aceite. (Alvear *et al.* , 2011) La biodiversidad de las microalgas se encuentra en rango en promedio de 3000 especies, donde las más cuantiosas eso las diatomeas, las algas verdes, verdes-azul, doradas y halófilas. Las algas verdes, se reproducen en aguadulce, con la característica particular que pueden reproducirse como células individuales o como colonias debido a su división celular presente, por otra parte, se encuentran las algas halófilas que estas tienen a vivir en y reproducirse en condiciones extremas de luz, temperatura y salinidad. (Alvear *et al.* , 2011) Las microalgas de enfoque, fueron las *Chlorella vulgaris*, las cuales hacen parte de las algas verdes unicelulares de agua dulce. Con características morfológicas como el tamaño, el cual se encuentra aproximadamente 2 -10µm de diámetro y extensamente encontradas en sistemas acuosos superficiales como lagos, lagunas y pantanos, responsables de la formación del 90% del planto en agua dulce. (Moronta R, Mora R, & Morales E, 2006)

5.4. Condiciones ambientales de cultivo

pH

las condiciones de cultivo, se refieren a la eficiencia de crecimiento que pueden tener las microalgas, en su periodo de cosecha, por tal razón, a medida que cultivo va aumentado su volumen de biomasa, se evidencia cambios de niveles de concentración en diferentes factores como la proporción de CO₂, nutrientes, respiración y alcalinidad que afectan directamente a los valores de pH. Los valores de pH varían dependiendo de la morfología del tipo de alga,

dado que cada especie de microalga tiene un rango delimitado de pH que brinda condiciones ideales para su buen crecimiento (García, 2012).

Por otra parte, es necesario de mantener los valores de pH requeridos por la especie de alga en las márgenes que aseguran su buen desarrollo, por lo que se pueden controlar con adiciones de bases o ácidos, o en su defecto la inyección de CO₂, sin embargo, la productividad del cultivo puede verse afectado si los valores de pH no están dentro de lo establecido, ocasionando dificultades en la remoción de nitrógeno y en su crecimiento (Renhe Qiu, 2017).

Iluminación

los organismos son totalmente dependientes de una fuente lumínica que les ayude a estimular a la generación y el aumento de su biomasa por medio de la efectuación de procesos fotosintéticos, ya que estos procesos de metabolización son los más importantes para la expansión de los cultivos de microalgas, por lo que utiliza la luz como nutriente principal de las microalgas para brindar la energía suficiente que les permita captar los nutrientes de su medio y transformarlo en materia orgánica. (Gary Anderson, 2003)

La luz es un factor limitado en las cosechas de microalgas, debido a la conglomeración de biomasa que se evidencia en el seno de los cultivos en cual dificulta la penetración total de la luz hacia el interior provocando un déficit en su crecimiento. No obstante, las conformaciones de estas zonas oscuras aseguran un equilibrio interno en el cultivo, ya que regulan la radiación excesiva emitidas que inducen daños estructurales internos de las microalgas, generando una disminución en su crecimiento (Alexis Hernández-Pérez, 2014)

Fotoperiodo

las funciones metabólicas en los organismos vegetales están estrechamente ligadas al tiempo de exposición de luz a las que son sometidas, como sucede en la naturaleza (12L:12O) para que se cumpla el propósito de la división celular (reproducción) (Suzana Wahidin, 2013).

Estas exposiciones de luz consisten en los ciclos de luminosidad y oscuridad, como pueden ser evidenciados en los sistemas de cultivos abiertos; no obstante, en los sistemas de cultivo

cerrados existe la posibilidad de omitir los ciclos de irradiación alternos por ciclos continuos de luz (24L:0O) por lo que permiten que haya un crecimiento acelerado (Villa A, 2014).

Temperatura

La producción de microalgas está directamente asociado con la temperatura por lo que es un factor fundamental para su velocidad efectiva de crecimiento y una producción óptima, sin embargo, dependiendo de la constitución genética de la sepa varia la temperatura ideal de incremento de la biomasa (entre los 20-30 °C) (ZHU, 2014). La temperatura también es un condicional directo de la ejecución de la fotosíntesis, que ayuda a eliminación de las moléculas de carbono haciendo posible este proceso clorofílico. En tal caso que la temperatura sobrepasa los valores específicos del buen desarrollo de la producción algal dependiendo de la cepa, se puede presentar una disminución en su reproducción.

En los sistemas de cultivos abiertos la temperatura se irradia a través de los rayos ultra violeta emitidos por el sol, lo cual hace que esta acción de control se torne difícil de controlar, aunque, en la literatura existen mecanismo que pueden contrarrestar el aumento indiscriminado de la temperatura. Ante los sistemas de cultivo en fotobiorreactores, la temperatura se controla de modo más fácil, a comparación de los cultivos cerrados, por medio de controladores de temperatura, los cuales regulan y mantiene la temperatura deseada, según el tipo de microalgas (Duarte, 2013).

Salinidad

Este parámetro tiene gran influencia en el cultivo y cosecha de las microalgas, tanto en su crecimiento como en la producción de lípidos grasos, en un estudio realizado por (Araujo, 2011). Expresa que las microalgas de acuerdo a la especie y morfología de cada una, reacciona de manera diferente ante los cambios de salinidad, viéndose afectado las funciones de rendimiento de producción, productividad de biomasa y de aceite por volumen cultivado. La mayor productividad se alcanzó con *Chlorella vulgaris*, cuya relación biomasa inicial:final alcanzó 1:10. (Martinez, 2011).

Agitación

El mantenimiento del cultivo de microalgas en condiciones favorables, es preciso contar con un mezclado eficiente producido por una agitación mecánica desahable, ya sea por inyección de aire o paletas, que evite la acumulación de biomasa para una mayor exposición de luz y a la ayuda de la difusión homogénea de nutrientes en el medio de cultivo para que se efectúe de manera correcta la fotosíntesis y el intercambio gaseoso; en caso que se produzca una agitación lenta se obtendría una sedimentación y por consecuente una muerte celular.

La importancia de la agitación en los cultivos algales, es que se distribuyen de una manera eficaz los nutrientes, que, a su vez, mantiene una distribución uniforme de la suspensión celular dentro de la cavidad que las contiene y de esta manera captar los nutrientes necesarios, de igual modo, previniendo las aglomeraciones térmicas y la fotoinhibición. La agitación resulta ser un mecanismo de bajos costos, que, además, en la literatura no se determinan valores específicos, pero se recomienda tener ciclos moderados, de lo contrario se presentara rompimiento celular.

Medios de cultivo

La alimentación de las microalgas, radican en la fuente de nutriente, y las concentraciones de cada uno, los nutrientes fundamentales para el crecimiento de las microalgas, son los sulfatos, cloruros, calcio, sodio, magnesio, potasio y otros nutrientes.

Como se ha mencionado anteriormente, las algas pueden ser autótrofas, heterótrofas, o mixotróficas, pero nos centraremos principalmente en las microalgas autótrofas. Los principales nutrientes minerales que éstas toman del medio y necesitan para su desarrollo. Un medio nutritivo que contuviese todas las sales puras y en las concentraciones exactas para el crecimiento óptimo del alga aseguraría productividades máximas, El control continuo del medio asegura que ninguno de los nutrientes esté por debajo de los mínimos necesarios, especialmente cuando se trata de cultivos continuos, donde a la vez que se retira biomasa se están eliminando elementos nutritivos. Además, algunos minerales precipitan con el tiempo. Este control es muy importante para N, C y P, nutrientes principales. (Olivares, 2010).

En la Tabla 1, expone los nutrientes y las condiciones ambientales de crecimiento que se deben considerar para un óptimo cultivo y cosecha, cabe resaltar, que para cada especie de microalgas habrá que estudiar los requerimientos particulares, para cada una de ellas.

Tabla 1. Requerimientos principales de cultivo

	REQUERIMIENTOS	COMPUESTOS QUIMICOS	VALORES
Físicos	Luz		2.000 – 4.000 lux
	Temperatura		15 – 22°C
	Salinidad		0.37‰
	pH		7 – 9
	Redox		
Nutritivos	C	CO ₂ CO ₃ ≈	g/100 ml
	O, H	O ₂ H ₂ O	g/100 ml
	N	N ₂ NH ₄ + NO ₃	g/100 ml
	P	PO ₄ ≈	g/100 ml
	S	SO ₄ ≈	g/100 ml
	Na, K, Ca, Mg	Sales	g/100 ml
	Fe, Zn, Mn, B, Br, Si	Sales	mg/100 ml
	Cu, Co, Cl, I, Sr, Rb, Al, et	Sales	µg/100 ml
	Vitaminas	B ₁₂ , tiamina, biotina	µg/100 ml

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB473S/AB473S02.htm>

Se han desarrollado diferentes medios para el cultivo de microalgas que van desde las fórmulas para enriquecer el agua de mar natural, hasta el uso de medios artificiales que permitan resultados constantes en contraste con los resultados tan variables que brinda el uso del agua de mar natural que entre otros factores depende del lugar donde se colecta ésta, y el tiempo de almacenamiento de la misma. (FAO, 2017).

Entre los medios, mas utilizados se encuentran el medio chu 10 (modificado por gerloff), (ver Tabla 2), medio miguel (allen-nelson, 1910), (ver Tabla 3), medio erd-sahreiber enriquecido, medio de yashima, (ver Tabla 4), medio yanase & imai (1968), (ver Tabla 5), Entre otros.

Tabla 2. Medio Chu 10 (modificado por gerloff)

(Recomendado para aislamiento de microalgas de hábitats oligotróficos y eutróficos)	
Ca(NO ₃) ₂	0.04%
K ₂ HPO ₄	0.01%
Na ₂ CO ₃	0.02%
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.025%
Na ₂ SiO ₃	0.025%
Citrato de Hierro Amoniacal	0.005%
NOTA: Puede usarse para medio solidificado	
Agar-Agar	1.0%

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB473S/AB473S02.htm>

Tabla 3. Medio miguel (allen-nelson, 1910)

MEDIO MIGUEL (ALLEN-NELSON, 1910)		
Solución A:	KNO ₃	20. 2 g
	H ₂ O	100 ml
Solución B:	Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	4 g
	CaCl ₂ ·6H ₂ O	4 g
	HCl conc.	2 ml
	FeCl ₃	2 ml
	H ₂ O	80 ml
Agregar 2 ml de la Solución A y 1 ml de la Solución B a un litro de agua de mar natural, y calentar a 70°C por 20 minutos.		

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB473S/AB473S02.htm>

Tabla 4. Medio erd-sahreiber enriquecido (foyn, 1934)

MEDIO ERD-SAHREIBER ENRIQUECIDO (FOYN, 1934a,b)	
NaNO ₃	10 mg
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	2 mg
Extracto de suelo	5 ml
Agua de mar	100 ml
MEDIO ERD-SCHREIBER	
*Agua de mar	1 litro
Extracto de suelo	50 ml
NaNO ₃	0.2 g
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	0.03 g

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB473S/AB473S02.htm>

Tabla 5. Medio de yashima (sisffaa, 1964)

Sulfato de Amonio (para la agricultura 21%)	100 g/t
Superfosfato de Calcio (para la agricultura 21%)	15 g/t
Urea (para la agricultura 21%)	15 g/t
Clewat 32	30–50 g/t
<u>Componentes de Clewat 32:</u>	
FeCl ₂ (como fuente de Fe)	0.385%
ZnCl ₂ (como fuente de Zn)	0.166%
MnCl ₂ (como fuente de Mn)	0.775%
CoCl ₂ (como fuente de Co)	0.017%
CuSO ₄ (como fuente de Cu)	0.007%
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ (como fuente de Mo)	0.632%
H ₃ BO ₃ (como fuente de B)	2.470%
EDTA	0.005%
MEDIO DE YASHIMA MODIFICADO (HIRATA, 1975)	
Medio de Yashima (en la misma concentración)	
Peptona	50 g/t
Peptidasa	0.005%
Diaminasa	0.005%
(recomendado para cultivos axénicos)	

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB473S/AB473S02.htm>

Tabla 6. Medio yanase & imai (1968)

NaCl	18 mg	Metal Mix*	30 ml
KC ¹	600 mg	Fe (as Cl ⁻)	100 µg
NaNO ₃	500 mg	Tris	1 g
MgSO ₄ · 7H ₂ O	5 g	Vit. B ₁₂	3µg
Ca (as Cl ⁻)	100 mg	Na ₂ SiO ₃	80 mg
K ₂ HPO ₄	30 mg	Vitamin Mix [†]	1 ml
		H ₂ O	1 l

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB473S/AB473S02.htm>

6. Capítulo 2: Fotobiorreactores

Los fotobiorreactores son sistemas de producción que tienen como fundamento el mantenimiento y cosecha de cultivos de microalgas, con diferentes sistemas de producción, los fotobiorreactores están constituidos por sistemas abiertos extensivos de acuerdo con la escala de producción, y los sistemas cerrados, cuyo fin es mantener cierta especie de microalgas aisladas con la mayor producción posible. (Ramos Suárez, 2014)

En contraste de los cultivos de las microalgas de manera convencional como las lagunas, los fotobiorreactores tienden ser un sistema novedoso de cultivo, el cual, implica una tecnología relativamente nueva para el mercado, con variedad en el sistema de construcción, de acuerdo con la necesidad y características que se le quiere brindar a la cosecha, existen fotobiorreactores de diferente tamaño y material. Además, el sistema de instalación, ya sea de manera horizontal o vertical, con el fin de obtener mayor exposición a la luz solar. (Osorio Campusano, 2008)

Los diseños óptimos de producción de microalgas, consiste en la instalación de tubos transparentes horizontales o verticales, para el aprovechamiento de luminosidad orientados de norte a sur. Además, como técnica de aprovechamiento es recomendable pintar la superficie debajo del fotobiorreactor de color blanco, para reflejar de mejor manera la luz que llega al espacio del fotobiorreactor, También se debe suministrar un sistema de agitación suficiente para que las microalgas no se depositen en las paredes del reactor y tengan una exposición uniforme a la luz solar.

El cultivo comercial de microalgas van desde 100 L hasta 109 L, en el caso de los cultivos a gran escala predominan los estanques largos exteriores, estanques circulares con aleta de rotación, estanques raceway o simplemente bolsas grandes. (Serrano Bermúdez, 2012). Las clasificaciones de los fotobiorreactores son representadas de la siguiente manera. Los aspectos claves en un sistema de cultivo, ya sea abierto o cerrado, tiene en cuenta ciertos parámetros fundamentales, que proporcionan un óptimo crecimiento de cultivo, la distribución de la luminosidad, la cual determina la tasa específica de crecimiento, Sin embargo, para los sistemas de cultivo, las células más cercanas a la superficie iluminada

impiden la penetración de la luz hacia el seno del medio de cultivo y producen un efecto de sombreado sobre las células más alejadas de la superficie. En algunos cultivos se ha estimado que la luz penetra solo de 1 a 2 cm más allá de la superficie, de manera que la zona fótica representa solo una pequeña fracción (10 – 30 %) del volumen total del cultivo. (Benavente *et al.*, 2012).

6.1. Sistema Abierto

Los sistemas abiertos son considerados, como la alternativa menos costosa en lo que refiere aspectos de construcción y operación. Sin embargo, los tanques utilizan más energía para homogenizar los nutrientes. Generalmente estos tanques son más susceptibles a las condiciones ambientales, lo que no permite el control de la temperatura del agua, evaporación e iluminación. Este tipo de sistema produce una gran cantidad de microalgas, pero ocupa grandes áreas y por lo tanto es más susceptible a contaminación de otras microalgas o bacterias. (Jaramillo Obando , 2011). Por ello muchas producciones comerciales se reducen a especies que crecen en condiciones ambientales extremas, tales como pH y temperatura. (Hernández & Labbé, 2014). Otra desventaja que genera, este tipo de sistema es referente a la disminución de crecimiento celular, a razón de que la atmosfera contiene 0,03-0,06% de CO₂, y siendo el CO₂ una fuente de nutriente y acelerante de crecimiento, este se ve limitado al poco suministro de este. (Cajamar., 2012)

6.2. Sistema Cerrado

Los sistemas cerrados cuentan con mejores ventajas, a diferencia de sistemas abiertos, pero cabe resaltar que, en ellos, solo es posible cultivar un solo tipo de microalgas. Estos sistemas, tienen la posibilidad de realizar controles a las condiciones ambientales del cultivo, además, estos sistemas son aislados del ambiente exterior lo que conlleva a una reducción de contaminantes proporcionados por el ambiente, un mayor control a las fases del cultivo y, por lo tanto, generar mayor rentabilidad. Si principal inconveniente radica en los costos de construcción y mantenimiento.

Los sistemas cerrados se le suma a comparación de los sistemas abiertos, es que el cultivo presenta una mayor productividad, gracias a la fijación y control de CO₂ como nutriente principal. Permiten mantener condiciones idóneas para el crecimiento de una microalgas concreta, a la vez que dificultan la invasión por organismos contaminantes, posibilitando así el mantenimiento de cultivos monoalgales. (Hernández & Labbé, 2014)

Cabe resaltar, que los sistemas cerrados, se mantienen los niveles de densidad celular, produciendo a la vez mayor productividad, los costos iniciales de estos sistemas son elevados, pero a una escala industrial estos costos son justificados por la obtención de productos obtenidos a partir de las microalgas. La mayor ventaja que ofrecen este tipo de fotobiorreactores, es que son sistemas flexibles y pueden ser optimizados de acuerdo con las características biológicas y fisiológicas de las algas cultivadas. Dependiendo de su forma o diseño este tipo de reactores ofrecen mejor control sobre las condiciones del cultivo y los parámetros de crecimiento (pH, temperatura, mezclado, CO₂ y O₂), prevenir la evaporación, reduce las pérdidas de CO₂, permite obtener una alta densidad de microalgas, y una mayor productividad volumétrica. (Cajamar., 2012).

Comúnmente se utilizan fotobiorreactores diseñados como reactores tubulares de lecho empacado (PBR de su sigla en inglés) en los cuales el cambio directo de gases contaminantes entre el cultivo y la atmosfera es limitado o no es permitido y también una gran proporción de luz no invade directamente sobre la superficie ya que tiene que atravesar las paredes transparentes del reactor. (Jaramillo Obando , 2011). Como se indica en la Tabla7.

Tabla 7. Tipos básicos de Fotobiorreactores.

SISTEMAS CERRADOS				
Tipo	Ventaja	Desventajas	Aplicaciones	Referencia
Placa Planas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diseño simple con captación de luz eficiente ✓ Alta productividad 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Requiere de un complejo sistema de montaje ✓ Control de la temperatura 	Su aplicación es para espacios reducidos	(D. Rubio Fernández, 2016)
Tubular Vertical	<ul style="list-style-type: none"> ✓ alta relación superficie / volumen ✓ bajas fuerzas de corte ✓ bajo costo ✓ ausencia de crecimiento de la pared ✓ alta eficiencia de uso de CO₂ ✓ capacidad de utilizar la luz solar 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ aparición de gradientes térmicos no deseados ✓ dificultades en el manejo de la temperatura 	Escala de laboratorio más grande para experimentos en interiores	https://link.springer.com/article/10.1007/BF01025286 (Benemann, 1988)
Tubular Horizontal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ debido a la orientación que se deben disponer, maximiza la captura de luz solar 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ concentración de partículas en las paredes de ocupaciones de grandes áreas. 		horizontal (C. CONTRERAS FLORES, 2003)
Tubular Helicoidal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Producción de volúmenes elevados en áreas de terreno pequeñas ✓ Gracias a su forma cónica capta la luz en una amplia área de recepción 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Materiales y confección del montaje son complejos y costosos 	Cultivos de tipo industrial	Helicoidal (L. Romero & B. Arredondo-Vega, 2017)
Columnas de Burbujas (airlift)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Su capacidad es más grande a comparación de los demás sistemas cerrados ✓ El burbujeo es ascendente, generando mayor recirculación 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No apto para cultivos cuyas partículas sean muy densas ✓ Poca penetración de luz 	Tratamiento de agua residuales	N/A

Continuando con la tabla 7. Tipos básicos de Fotobiorreactores.

SISTEMAS ABIERTOS

Raceways	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Existe bastante información acerca de ellos en la literatura ✓ Evita la sedimentación debido al sistema de circulación (paletas) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No aplica implementación para niveles por debajo de los 15cm 	Aplicación para el cultivo continuo de grandes escalas	Fotobiorreactor carrusel
Balsas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ fáciles de construir ✓ fáciles de operar 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Usos extensivos de áreas terrestres ✓ Mal repartición de luz ✓ Perdidas volumétricas por la evaporación 		estanques (J. PIEDRAHITA HERNÁNDEZ, 2012)
Tanques Circulares	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se produce poca sedimentación en su interior ✓ Grandes capacidades de almacenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Elevados costos de su construcción ✓ Elevados consumos de energía 		(OLIVARES, 2010)
Piscinas inclinadas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Generación de altas tasas de concentración de biomasa 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sedimentación en zonas con bajas velocidades ✓ Déficit en la pérdida de contenido por evaporación ✓ Alta demanda energética para su bombeo 	Cultivos para la alta producción	tesis nacional (Bermúdez, 2012)

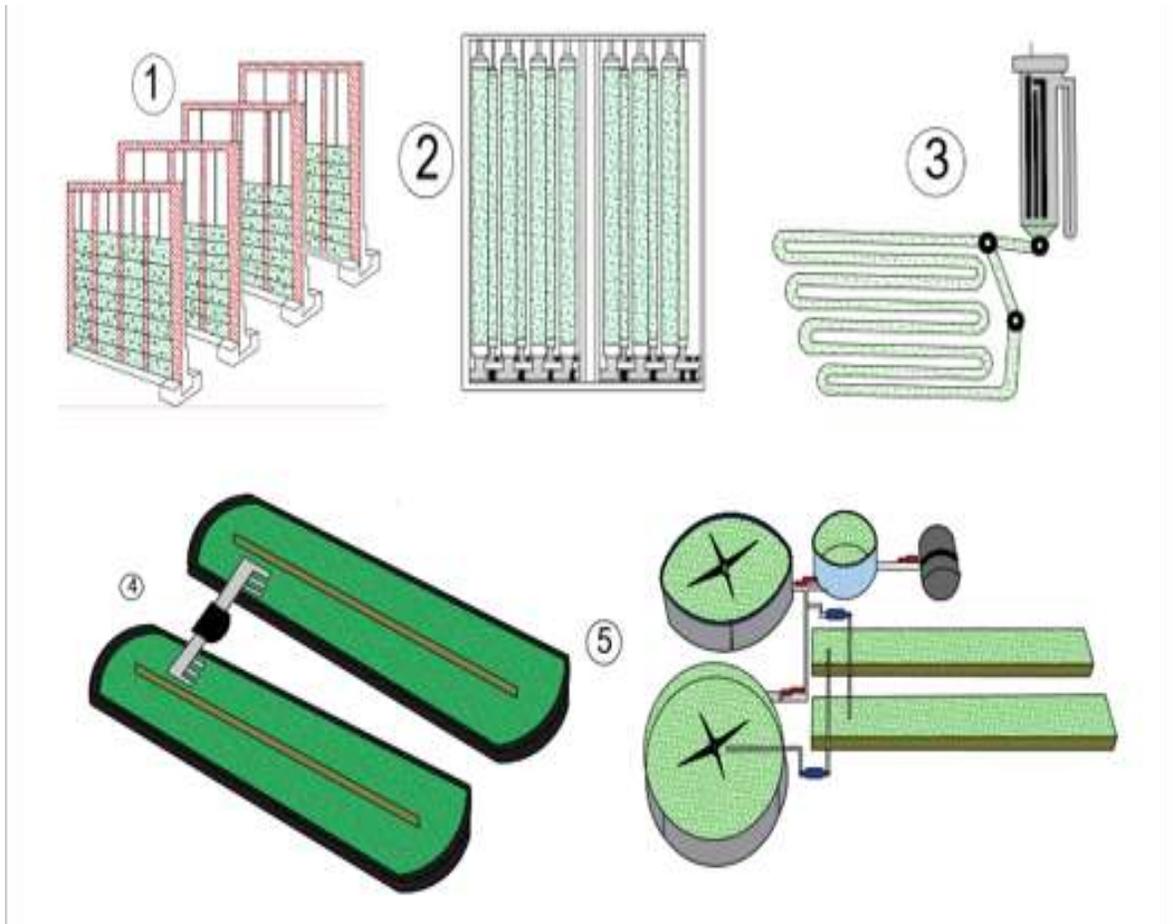


Figura 1. Tipos Básicos de fotobiorreactores.

1) Tipo Placa Plana, vista diagonal. Sistema cerrado. 2) Tipo tubular Vertical, Vista de frente. Sistema cerrado. 3) Tipo Tubular Horizontal, Visto Superior. Sistema Cerrado. 4) Tipo Raceway, Vista superior. Sistema Abierto. 5) Tipo Tanques Circulares, Vista superior. Sistema Abierto.

6.1.2.

6.3. Sistema cerrado de laboratorio

Los fotobiorreactores a escala de laboratorio, tienden a contener cultivo a pequeña escala y con objetivos experimentales. Los recipientes y los diseños cambian de acuerdo a las características del lugar y espacio donde se situará. Estos fotobiorreactores, tienen a tener mucho más control en las condiciones ambientales, como son la luminosidad, la temperatura, pH, medio de cultivo, entre otras.

En función de la necesidad de cada tipo de cultivo se puede elegir diferentes tipos de materiales con distintas características de espectro lumínico, y recipientes escalares, como se observa (Ver Figura 2)



Figura 2. Fotobiorreactor Cerrado de Laboratorio.
Fuente: (Propia, 2017)

7. Capítulo 3: Productos derivados de las microalgas

Las microalgas actualmente, son una fuente de producción de derivados productos sostenibles, las propiedades y características que ofrece este tipo de microorganismo, tiene alta relevancia para la manipulación, cultivo y cosecha de las misma. Además, las microalgas mejoran la sostenibilidad medioambiental y económica de ciertos procesos por su capacidad para mitigar las emisiones de CO₂ (ya que son los mayores fijadores de CO₂ del planeta) y para el tratamiento de aguas residuales, captando los nutrientes necesarios para su crecimiento y eliminándolos así del agua. Por todo ello, las perspectivas para el uso industrial de las microalgas son optimistas, pero todavía se han de superar diversos retos para conseguir una utilización rentable de la biomasa de microalgas. (Santos, Gonzalez, & Martin , 2012)

Las microalgas se han considerado buenos organismos modelo para el estudio de complejos procesos biológicos como la morfogénesis y diferenciación, el reconocimiento celular, los

ritmos biológicos, la evolución de procesos y rutas metabólicas y la fisiología y bioquímica de la fotosíntesis. Por otro lado, en las microalgas se combinan propiedades metabólicas típicamente vegetales con características propias de células microbianas tales como la capacidad de crecimiento rápido en cultivo líquido, simplicidad de requerimientos nutritivos, plasticidad metabólica, tolerancia a condiciones extremas, capacidad de sintetizar y secretar algunos metabolitos y potencialidad de manipulación genética, que les confiere interés biotecnológico. (Cubrero, 2011). (Ver Tabla 8)

Tabla 8. Diferentes aplicaciones de las microalgas

Fuentes de alimentos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Proteínas. ✓ amino ácidos. ✓ carbohidratos simples y complejos. ✓ ácidos grasos. ✓ Vitaminas. ✓ minerales.
Fertilizantes	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fertilizantes. ✓ acondicionador del suelo y fuente de alimentación de ganado.
Energía	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Biodiesel. ✓ Bioetanol. ✓ Hidrogeno. ✓ Metano. ✓ energía calor. ✓ energía eléctrica
Control de contaminación.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tratamiento de aguas residuales. ✓ reducción de tóxicos químicos. ✓ reducción del porcentaje de dióxido de carbono.

Fuente: (Darmaki & et al, 2012)

7.2. Alimentación

En el sector alimenticio, las microalgas tienen la característica de ser ricas en pigmentos lo cual, conlleva a la utilización de estos como colorantes alimenticios naturales y precursores de vitaminas. En acuicultura tienen aplicación para mejorar la supervivencia y maduración del sistema inmune y la pigmentación de la carne y piel de pescados (Cubrero, 2011). En el consumo humano de microalgas se limita a pocas especies debido al estricto control sobre seguridad alimentaria, factores comerciales, demanda del mercado y preparación específica. Los 3 géneros más destacados son *Chlorella*, *Spirulina* y *Dunaliella*, que se comercializan como suplementos alimentarios, También algunas especies se comercializan por su valor medicinal, como *Chlorella* que protege contra la insuficiencia renal y promoción del crecimiento de *Lactobacillus* intestinales. (Hernández & Labbé, 2014)

7.3. Biocombustible

Las nuevas alternativas que se están proporcionando al mercado con respecto a enfoques bioenergéticos, fue propuesta a principios de los años 50, pero desarrollada con mucha más importancia en los últimos años. Por ello, las investigaciones actuales con respecto a las microalgas tienen a estar enfocadas a las diferentes alternativas para la producción de biocombustibles, producción de biohidrógeno y biodiésel, a raíz de la necesidad que tiene el planeta de ofrecer fuentes sostenibles de aprovechamiento. (Ramos Suárez, 2014). La producción de biocombustibles derivados de las microalgas, radica en el potencial de biomasa producida, siendo esta la materia prima de producción y consiste en su rápido crecimiento y alta productividad de lípidos por extensión de área de cultivo. Además, Se estima que, para cubrir la demanda global de combustibles, debería destinarse a cultivos de microalgas unos 6 millones de hectáreas, lo que supone, menos del 0,4% de la superficie cultivable (Gressel, 2008)

7.4. Bioasfalto

Las nuevas investigaciones actualmente se están referenciando a las alternativas sostenibles que ofrece el entorno. Es por ello, que se están desarrollando proyectos de investigación con

nuevos enfoques respecto a los bioasfaltos. La mayor parte de las contribuciones de corredores viales se realizan en pavimentos flexibles elaborados con petróleo crudo, por tal razón el desarrollo de los bioasfaltos, es porque son derivados de plantas y árboles. El uso y la aplicabilidad que se brinda el Bioasfaltos es el uso como aglutinante alternativo al asfalto convencional. las microalgas han sido conocidas por su uso en aplicaciones como el desarrollo de colorantes cosméticos y de suplementos alimenticios. En años más recientes, surgió la idea de refinarlas, por ejemplo, para la producción de biocombustibles. Hoy en día, como se ha dicho, son reconocidas como una prometedora alternativa al petróleo. (Technologies, 2014)

Investigadores de diversos laboratorios franceses del Centro Nacional de Investigación Científica (CNRS), en colaboración con la empresa AlgoSource Technologies, han demostrado que pueden servir también para fabricar asfalto más ecológico o bio-asfalto. Aunque la composición química del bio-asfalto es completamente diferente al derivado del petróleo, ambos tienen similitudes, como su color negro y sus propiedades.

El análisis de tendencia que ofrece la base virtual de información **SCOPUS**, recopila información acerca de investigaciones científicas con respecto al tema. Exponiendo en una línea de tiempo las investigaciones realizadas hasta el momento.

El tema de Bioasfaltos, es un área de innovación. Las investigaciones comenzaron en el año 2010 y la tendencia de publicaciones corresponde a la siguiente Figura 3.



Figura 3. Tendencia de publicaciones de Artículos
Fuente: <https://www-scopus-com.ezproxy.umng.edu.co>

En la Figura 4. Se evidencia los países con publicaciones respecto al tema de Bioasfalto.

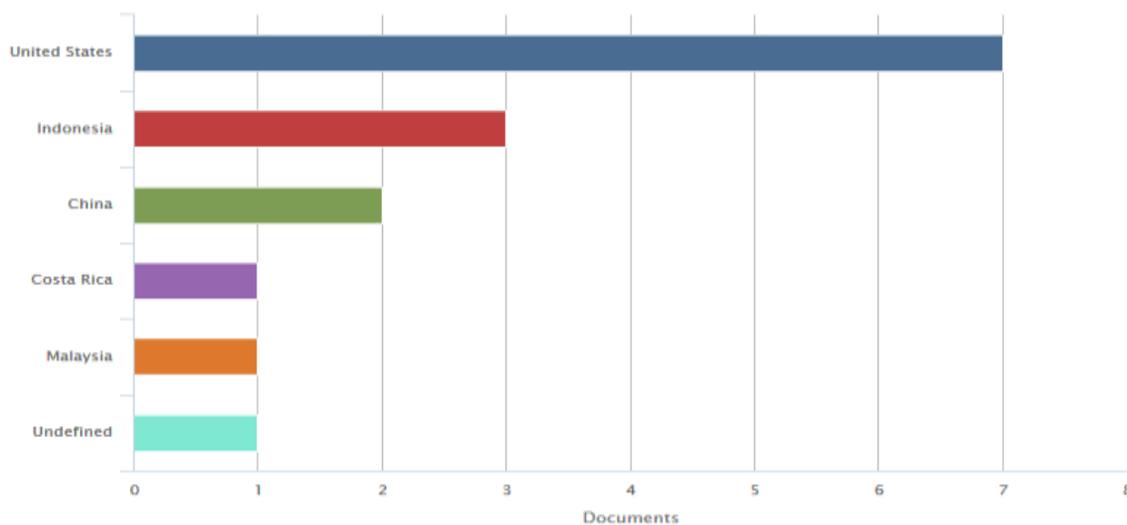


Figura 4. Países con Publicaciones en Bioasfaltos
Fuente: <https://www-scopus-com.ezproxy.umng.edu.co>

Concluyendo que países de América Latina, no tienen participación referente al tema, Además, cabe que Colombia no cuenta con investigaciones sobre fabricación de bio-asfaltos.

Existen diferentes alternativas para la construcción de un bioasfaltos, a partir de aceites extraídos de plantas, como es el caso de la investigación realizada por (Djumari & *et al*, 2017).. La cual utilizaron como material alternativo de asfalto convencional la resina (damar), el resultado de la investigación muestra que el asfalto con resina es diferente con el asfalto convencional 60/70 en términos de calidad del asfalto, ya que el asfalto modificado con resina tiene un mayor valor de penetración y gravedad específica que el asfalto convencional.

Además, en base a la investigación de los autores (Zeng M & *et al.*, 2016), resaltan que la adición del bioasfalto en el asfalto común de petróleo puede dar lugar a efectos variables sobre las diferentes propiedades del aglutinante de asfalto. Además, la penetración aumenta considerablemente con el aumento del contenido de bioasfalto a una temperatura dada, lo que indica un efecto suavizante del bioasfalto. Por consiguiente, La penetración estándar aumenta en aproximadamente 2% con bioasfalto en promedio. También, expone que el punto de reblandecimiento disminuye ligeramente al aumentar el contenido de bioasfalto. Sin embargo, la ductilidad a 15 ° C disminuye significativamente al aumentar el contenido de

bioasfalto de más de 100 cm a aproximadamente. Las modificaciones presentadas anteriormente, se desarrollaron con bioasfalto, compuesto de aceite de ricino (Ver Tabla 9).

Tabla 9. Modificaciones Presentados en Bioasfalto

	TIPO DE AGLUTINANTE	MODIFICACIONES
BIOASFALTO	Resina de Damar	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en la penetracion • Mejor calidad del asfalto • Aumento en la gravedad especifica
	Aceite de resino	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en la penetracion • Disminucion en el punto de reablandamiento • Disminucion en la ductibilidad • Disminucion en la solubilidad • Aumento en la resistencia de envejecimiento • Disminucion de resistencia a ruptura equivalente

8. Capítulo 4: Tratamiento de aguas residuales con microalgas

La importancia de la función del agua en la sociedad, se ve reflejada en los diversos usos que le podemos dar ya sea para actividades de uso domésticos, comercial, agrícolas, industriales, minería, etc. afirmando que este recurso hídrico es indispensable para el funcionamiento de la sociedad, pero especialmente para el desarrollo y funcionamiento de la vida de todo ser vivo. Por esta razón es importante la conservación del agua, que a través de la implementación de sistemas de purificación se cumple con el alcance de obtener un agua limpia, debido a los contaminantes descargados sobre los sistemas de recolección de aguas (alcantarillado) y en los afluentes hídricos. Por ello se recurre a los diferentes tipos de tratamiento de agua, que ayudaran a descontaminar y mantener el nivel adecuado de los diversos parámetros del agua con respecto al consumo humano y sus otros usos. (Bermúdez, 2012)

8.1. Microalgas en el tratamiento de aguas residuales

En el proceso de tratamiento de aguas, como se evidencia en la investigación de (A. Hernández Pérez, 2014) que el uso de las microalgas en estos tratamientos son efectivos para contraer el problema de la presencia de contaminantes, nutrientes, metales pesados, etc. fortaleciendo a los agentes aeróbicos encargadas de la biotransformación por medio de la oxidación bacteriana gracias a las acciones fotosintéticas, en lo que se resume como métodos de remediación biológica, los cuales cuenta con la implementación del uso de las microalgas y cianobacterias, tales como los métodos de biorremediación, ficorremediación y rizerremediación, obteniendo como resultado el mejoramiento de la calidad del cuerpo hídrico, promoviendo el logro de la generación de la biomasa a partir de la transformación de medios salinos, permitiendo que haya una variación positiva ante la demanda biológica de oxígeno (DBO), el aumento de los niveles de pH, para que de esta manera puedan reducir la presencia de agentes patógenos y demás factores contaminantes, posibilitando al mismo tiempo la aprensión de CO₂ (González, 2006)

Cabe resaltar que es importante la identificación de la especie algal, ya que dependiendo de su estructura morfológica puede dar una idea previa sobre su funcionamiento y efectividad sobre la disminución de los diferentes factores que interceden en la consecución de un agua limpia y descontaminada. No solamente es indispensable identificar el tipo de microalga para conocer su viabilidad de eliminación de contaminantes en el cuerpo de agua, sino que también sirve para comprender su buen comportamiento de crecimiento que está estrechamente ligados con los factores abióticos (pH, temperatura, luminosidad, etc.), es decir, reconocer las condiciones ambientales apropiadas para su óptimo crecimiento con el fin del beneficio de la generación y recolección de la biomasa aún muy bajo costo energético, que en este caso será aprovechada para la adquisición de aceites a partir de la extracción de lípidos.

8.2. Tipos de sistemas de tratamiento con microalgas

Como se especifica en el trabajo investigativo de (González, 2006), existen una amplia variedad de sistemas de tratamientos, que su uso depende del afluente que se desee intervenir para garantizar su mejoramiento de calidad y adicionalmente la producción y acumulación de la biomasa.

- **Pileta no aerada:** este es un ejemplo de sistemas simples que no requieren de mecanismos de oxidación, analizando la posibilidad de rendimientos deficientes de la formación de biomasa. (Santos & *et al.* , 2012)
- **Pileta aerada:** A diferencia del sistema previamente mencionado, la pileta aerada cuenta un método que le garantiza el sustento permanente del suministro de oxígeno evitando el aumento de la demanda biológica de oxígeno, asegurando la aglomeración de partículas de microalgas. (Jaramillo Obando , 2011)
- **Lagunas de oxidación:** En términos de comparación con la pileta aerada, las lagunas de oxidación cuentan con un mecanismo de más a parte de la aeración y es el de la agitación, permitiendo que todo el cuerpo hídrico reciba de manera igualitaria todos los nutrientes necesarios que prometan la producción de microalgas y así fortaleciendo el procedimiento de tratamiento de mejoramiento de calidad. (Jaramillo Obando , 2011)
- **Lagunas de alta tasa de oxidación:** Como su nombre lo indica, son sistemas de lagunas que cuentan con una mayor capacidad de suministro de aireación que permite que haya una eficiencia mejor que a la laguna estándar, aumentando los procesos de oxidación al igual que el proceso de eliminación de partículas contaminantes, logrando de esta manera una producción más elevada de biomasa, con la excepción que se aplica preferiblemente en los sistemas que tienen un proceso más de complementación. (Cajamar., 2012)

- **Lagunas de oxidación de algas:** en cuanto términos de comparación, la única diferencia que delimitan este tipo de sistema de tratamiento con las demás lagunas de oxidación, es que su utilización está destinada para fines alimenticios. (A. Hernández Pérez, 2014)

Unos de los aspectos que tiene en común estos tipos de sistemas de tratamiento de agua, es que en todos se utilizan grandes áreas de asignación de almacenamiento para el propósito de inoculación de la cepa, en consecuencia, convirtiéndola en una de sus principales desventajas, del mismo modo, la dificultad de recolectar la biomasa que esta esparcida en toda el área de cultivo. (González, 2006).

9. Capítulo 5: Extracción de aceite a partir de microalgas

La extracción de aceite a partir de microalgas y a nivel de laboratorio, se ha realizado por medio de diferentes tipos de solventes y métodos de extracción, la eficiencia de los métodos y el solvente depende el tipo de microalgas y las condiciones de cultivo en la que ella se encuentren, la extracción por medio de solventes químicos de lípidos, consiste en la utilización de reactivos que tienen como fin la extracción selectiva de compuestos de interés de la muestra

- **Microondas:** las microondas producidas afectan la polaridad de los lípidos, provocando que haya entre las moléculas efectos de fricción, dando por hecho la generación de calor interna debilitando las paredes celulares y su estructura molecular con el apoyo de solventes naturales, de esta manera, optimizando tiempos y procesos sobre la reducción y obtención de la biomasa. (Gómez Cruz N., 2016)
- **Choque Osmótico:** Esta técnica consta de un llenado rápido y esporádico de agua hacia el interior de la célula por medio de osmosis, generando un alza en las presiones internas de las paredes celulares provocando el fraccionamiento. En la literera recomienda implementar este mecanismo si previamente las células estén debilitadas por otro proceso para obtener un mejor resultado (González Delgado A., 2016)

- **Autoclave:** el principio de su funcionamiento consta de las altas presiones y las altas temperaturas generadas de por el vapor que se genera en una capsula hermética metálica que puede resistir estas grandes condiciones que desinfecta y esteriliza los objetos, provocando un principio de autoclave. En la extracción de aceites de las microalgas, puede también ser aprovechada mediante la degradación de lípidos a partir de la destrucción celular obteniendo muestras húmedas y sin un mayor riesgo de la posibilidad de la presencia de contaminantes que puedan alterar la muestra a experimentar. (González A., 2009)
- **Soxhlet:** el método de Soxhlet utiliza un equipo que consta de un balón esmerilado que contiene un solvente que es llevado hasta su punto de ebullición, ya que los lípidos de las microalgas son sumamente solubles en solventes no polares como el hexano, por lo que concierne un cambio de estado líquido a gaseoso, el cual atravesara una cámara cuyo mecanismo de condensación que refrigerará al sistema permitiendo que se deposite el solvente en la muestra de la biomasa y gracias a un brazo de recirculación (sifón) ayuda a recuperar el solvente utilizado para la extracción y llevándolo nuevamente al balón esmerilado para comenzar de nuevo el ciclo hasta que se haya observado la decoloración del solvente utilizado. Dando a entender que por medio de lavados consecutivos se pueden extraer aceites a partir de la muestra sólida que se desea trabajar, pero con la desventaja que es un proceso extendido y costoso. (Monteza S & Samane J., 2016)
- **Bligh & Dyer:** Este método le atribuye su funcionamiento al metanol-cloroformo con una relación 2:1 que consiste en la generación de homogenización de la biomasa en términos de tiempo muy acelerados que constituya una fase miscible con el agua, en especial para las muestras que contengan cantidades significativas de humedad, separando así el medio en dos fases a través de un proceso de filtración y centrifugación que asegurara la separación de las fases de metano y cloroformo, finalmente con un proceso adicional de aumento en la temperatura, se espera que se evapore el cloroformo para adquirir solamente el aceite. No obstante, este método es uno de las técnicas más nocivas para la integridad del medio ambiente (Cando, 2015).

- **Fluidos Supercríticos:** Para estas técnicas que tienen como prioridad de la necesidad de evitar la utilización de grandes cantidades de solventes tóxicos, existen dos tipos de mecanismo de extracción que son la extracción con agua subcrítica y extracción con fluidos supercríticos (SFE y SWE por sus siglas en inglés respectivamente), ya que en ambos se utiliza el CO₂ como su principal solvente de fluido supercrítico por lo que es un solvente poco tóxico con la facilidad de separarlo y su bajo costo en el mercado, aun si trae consigo la desventaja de ser un agente con poca polaridad (Paredo Lua H., 2009)

10. METODOLOGÍA

En la Figura 5, se representa la metodología experimental de ejecución se llevó a cabo, por medio de etapas comprendidas a lo largo del cultivo y de acuerdo a los fines que se desarrollarían en cada una de ella.

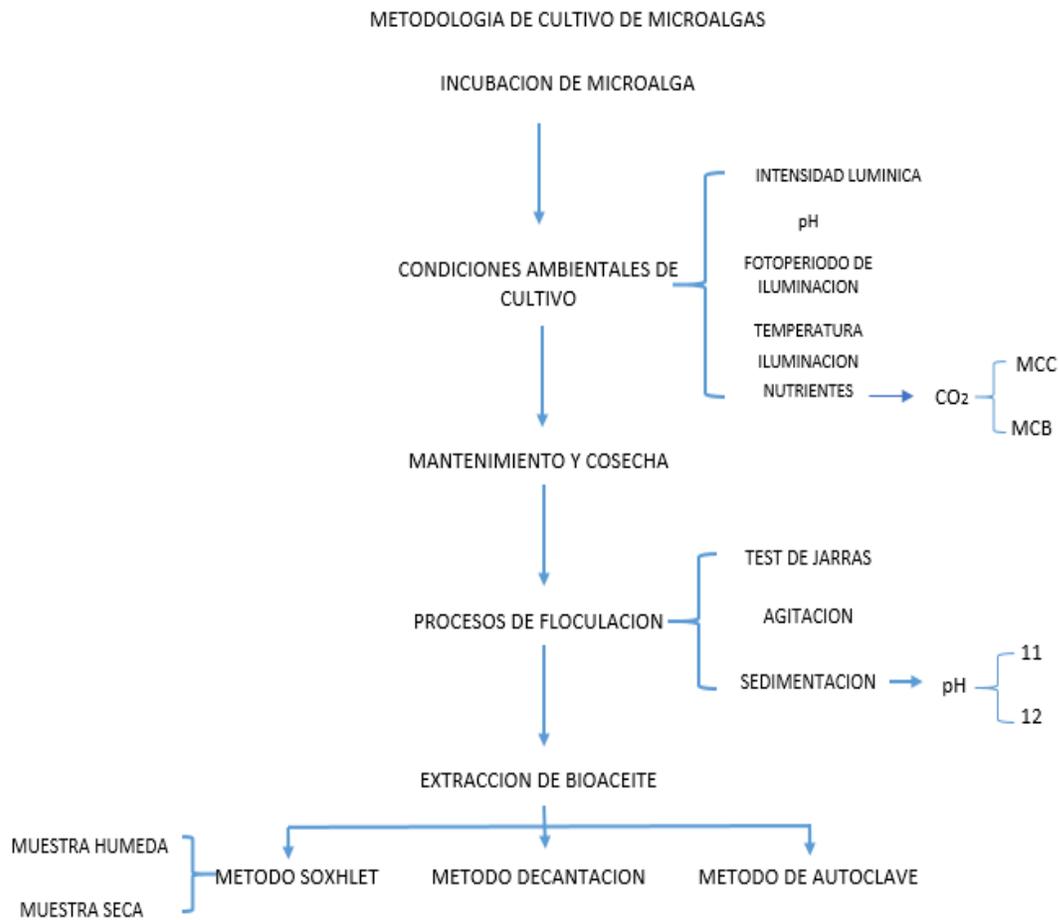


Figura 5. Metodología experimental

Fuente: Propia, 2017

La etapa 1, comprendió el proceso de inoculación de la cepa, seguida de la etapa 2, donde se seleccionaron los medios de cultivo a emplear, posteriormente se continuo con la etapa 3, donde se desarrolla el proceso de suministro de CO₂, la etapa 4 relaciona los procesos de cosecha y los análisis de condiciones ambientales necesarias para el mantenimiento del cultivo de las microalgas. La etapa 5, a su vez expone los procesos de Recuperación de biomasa desarrollados durante el proceso, al finalizar se encuentra la etapa 6, donde se realizaron los procesos de extracción de aceite.

Etapa 1: Inoculación de la cepa

La inoculación de la cepa de las microalgas se realizó dejando una muestra de agua captada de la laguna El Estanco, en San Andrés de Sotavento – Córdoba, la cual se separó de la materia organica proveniente de la laguna y se almaceno en tubos de ensayo, posteriormente fueron llevados al fotoreactor diseñado para el cultivo de las microalgas, a una temperatura de 25 °C y una intensidad lumínica 2500 lux, en un periodo de 3 días. (ver Figura 6)

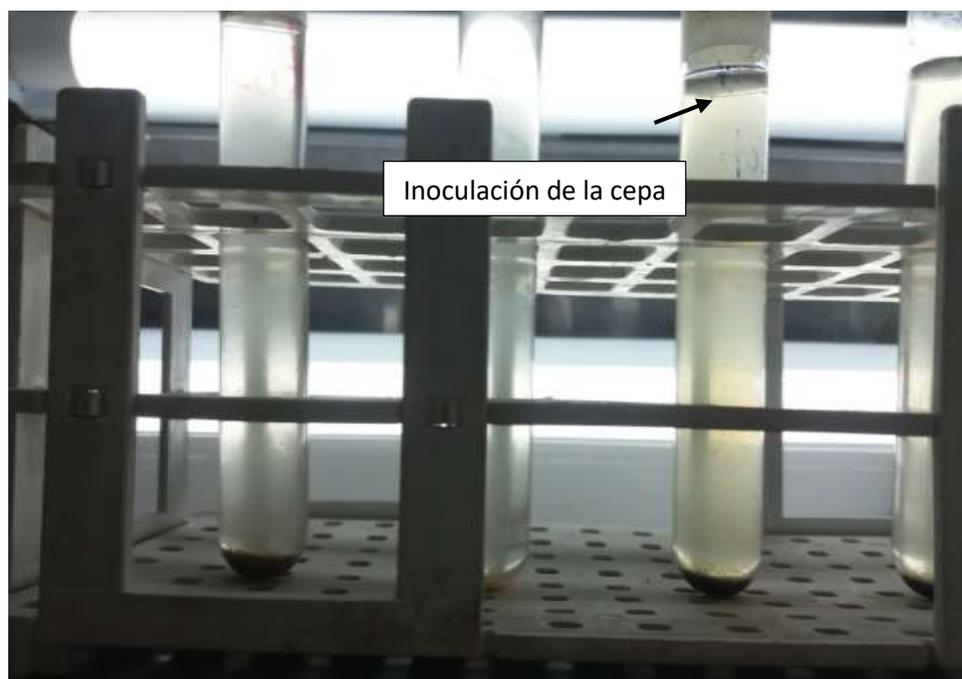


Figura 6. Inoculación de la Cepa
Fuente: Propia, 2017.

Etapa 2: Medios de cultivos

El proceso de cultivo se llevó a cabo una vez inoculada la cepa de la microalga. La cual se sacó de los tubos de ensayo y se pasó a un Erlenmeyer de 250 ml (ver Figura 6) y se le colocó un medio de cultivo, que fue realizado con un abono comercial de marca *fert plant*. El cual se preparó colocando en un 1000 ml de agua de la llave 5ml de medio. Los compuestos del medio se observan en la Tabla 10.

Tabla 10. Medio de cultivo Comercial

COMPUESTO	CONCENTRACION
nitrógeno total (n)	6.0 g/l
nitrógeno ureico (n)	6.0 g/l
fosforo (P ₂ O ₂)	4.0 g/l
potasio soluble en agua	3.0 g/l
boro (b)	1.0 g/l
cobre (cu)	1.5 g/l
hierro (fe)	1.3 g/l
manganeso (mn)	0.7 g/l
zinc (zn)	2.4 g/l

Posteriormente, las condiciones ambientales del cultivo fueron controladas, para optimizar el crecimiento de las microalgas.

La etapa siguiente, transcurrido en un periodo de una semana, el cultivo fue dividido en un nuevo Erlenmeyer, en el cual se colocó 125 ml del cultivo existente y se le agregó un nuevo medio de cultivo, el cual su preparación está referenciada en la norma ABNT NBR 12648:2005, y está compuesta por las siguientes soluciones que se observan en la Tabla 11.

Tabla 11. Medio de cultivo norma Brasil

Solucion	Reactivos	Cantidad (mg)	Dilución
1	Ca(NO ₃) ₂ *4H ₂ O	4000	Completar hasta 100 ml con agua procesada
2	KNO ₃	10000	Completar hasta 100 ml con agua procesada
3	MgSO ₄ *7H ₂ O	3000	Completar hasta 100 ml con agua procesada
4	K ₂ HPO ₄	4000	Completar hasta 100 ml con agua procesada
5	CuSO ₄ *5H ₂ O	30	Completar hasta 1000 ml con agua procesada
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ *4H ₂ O	60	
	ZnSO ₄ *7H ₂ O	60	
	CoCL ₂ *6H ₂ O	60	
	Mn(NO ₃) ₂ *4H ₂ O	60	
	C ₆ H ₈ O ₂ *H ₂ O	60	
6	H ₃ BO ₃	60	Completar hasta 1000 ml con agua procesada
	C ₆ H ₅ FeO ₇ *5H ₂ O	1625	
	FeCL ₃ *6H ₂ O	625	
7	FeSO ₄ *7H ₂ O	625	Completar hasta 1000 ml con agua procesada
	NaHCO ₃	15000	

El método de preparación del medio de cultivo referenciado por la norma brasilera ABNT NBR 12648:2005, se realizaba por medio de diluciones, en 1000 ml de agua destilada se agregaba un volumen específico de solución, como se ve en la Tabla 12.

Tabla 12. Preparación medio Brasil

Solución	1	2	3	4	5	6	7
Volumen ml	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0

Etapa 3: Suministro de CO₂

El sistema de reactores de CO₂, fueron realizados de manera convencional, con montajes caseros. Uno de los reactores correspondió a la dilución en un volumen de 5 litros de agua, con soluciones de levadura y azúcar en cantidades iguales, además fue sumergido un imán y colocado el reactor sobre un agitador magnéticos para proporcionar una constante aireación dentro del reactor, simultáneamente fue emplazada otra manguera en la tapa del reactor y sumergida en un Erlenmeyer con agua, para así observar la producción de CO₂.

El segundo reactor conto con el mismo montaje, descrito anteriormente, a diferencia que las soluciones utilizadas para este fueron ácido cítrico y bicarbonato de sodio, diluidas en un volumen de agua de la llave de 5 litros aproximadamente. (Ver Figura 7)



Figura 7. Suministro de CO₂
Fuente: Propia, 2017

Etapa 4: Cosecha de microalgas

Como se mencionó anteriormente, el crecimiento de las microalgas se estaban desarrollando en dos medios de cultivo diferentes, las cantidades de medio para cada uno iban aumentando de manera proporcional, en la semana tres en un frasco de 1000 ml se colocó 250 ml de cultivo y se añadió 250 ml de medio de cultivo, dando como resultado 500 ml de microalgas, posteriormente para la semana cuatro, la cantidad añadida fue de 250 ml de medio de cultivo

y generando así un nuevo volumen de microalgas de 750 ml, la cosecha del cultivo se ve reflejada en la figura 8.

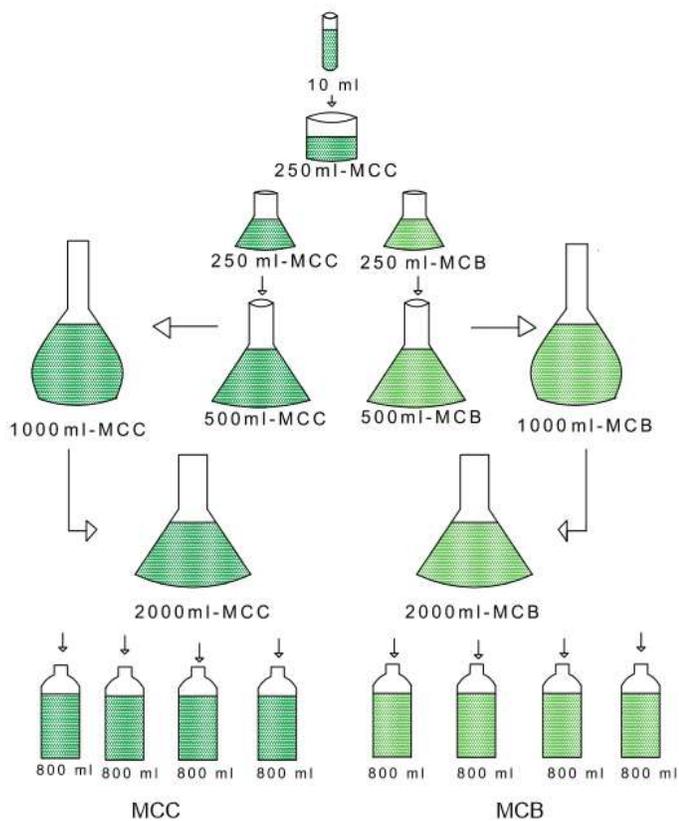


Figura 8. Cosecha del cultivo de Microalgas

Fuente: Propia, 2017

El control de las condiciones ambientales de las microalgas se monitoreo semanalmente, bajo mediciones a los parámetros que influyen en el crecimiento del cultivo, el rango óptimo de pH en que se desarrolló el crecimiento dependía del medio de cultivo en que se encontraba la microalga, dado que el medio de cultivo por su composición registraba pH diferentes. Además, la salinidad que se presentaban en los medios de cultivo fueron variables de acuerdo con el tiempo de cosecha, ambos medios mostraron salinidades diferentes durante su crecimiento. Por otra parte, las condiciones de temperatura, e intensidad luminosa y fotoperiodos de iluminación, fueron iguales para los cultivos. (Ver Tabla 13)

Tabla 13. Análisis de parámetros de condiciones ambientales

Análisis	Parámetro	Volumen	Frecuencia	Equipo	Muestra
	pH	30 ml	3 veces por semana	Ponteciometro	
	Temperatura	30 ml	3 veces por semana	Ponteciometro	
	Luminosidad	-	Semanalmente	Luxometro	
	Peso Seco	30 ml	3 veces por semana	Horno Balanza Magnetica	

Etapa 5: Recuperación de biomasa

Los procesos de recuperación de biomasa, se llevaron a cabo por medio del test de jarras y sedimentación gracias a los conos de imhoff (Ver Figura 9), se evaluaron los procesos con el parámetro de variación de pH. Como lo indica la Tabla 14.

Tabla 14. Análisis de recuperación de biomasa

Método de floculación	Test de jarras	Conos de imhoff
Tiempo	30 min	60 min
pH	12	11 -12
R.P.M	250	---
Volumen Usado	800 ml	4 litros
Solución Estabilizadora de pH	Hidróxido de Sodio (1M)	Hidróxido de Sodio (1M)



Figura 9. Recuperación de biomasa
Fuente: Propia, 2017

Etapa 6: Extracción de Aceite

El proceso de extracción se llevó a cabo por medio de tres diferentes tratamientos, el primero con el método soxhlet, posteriormente se evaluó nuevamente el método soxhlet mas destrucción celular de las microalgas, finalmente se realizó el método de Bligh & Dyer, se determinó la eficiencia de los métodos y escogió el que mejores resultados brindaba. (Ver Tabla 15)

Tabla 15. Métodos de Extracción

Método de Extracción	Bligh & Dyer	Soxhlet	Soxhlet mas destrucción celular.
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> • Cloroformo más metanol • hexano 	<ul style="list-style-type: none"> • Hexano • Hexano más metanol 	<ul style="list-style-type: none"> • Hexano • Hexano más metanol
Tiempo	40 min	4 horas	4 horas
Volumen de reactivos	100 ml	500 ml	500 ml
Equipos	Agitador, Centrifugadora	Equipo soxhlet	Equipo soxhlet

11. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron a lo largo de la investigación corresponden a el crecimiento presente durante la cosecha de las microalgas, seguido de la selección del método más óptimo para realizar la recuperación de la biomasa y finalmente el proceso de extracción de aceite que presento mayor eficiencia con respecto a los volúmenes de aceite obtenidos.

El cultivo y proceso de cosecha se realizó de manera gradual por medio de diluciones semanalmente, como se mencionó anteriormente. Las diluciones de microalgas y medio de cultivo se hicieron por medio de botellas plásticas transparente de volumen 1 litro, al final del proceso se registró una cantidad de 32 botellas de microalgas, dividida en medio de cultivo Brasil (MCB), y medio de cultivo comercial (MCC)

Se determinó como parámetro comparación el tipo de medio, para determinar que medio fue el apropiado para ejercer mayor crecimiento en las microalgas.

10.1. Curvas de crecimiento

Las curvas de crecimiento se evaluaron, con el peso seco de la biomasa y el registro de la densidad óptica medida a 550 nm de longitud. Tal como se observa en la Figura10.

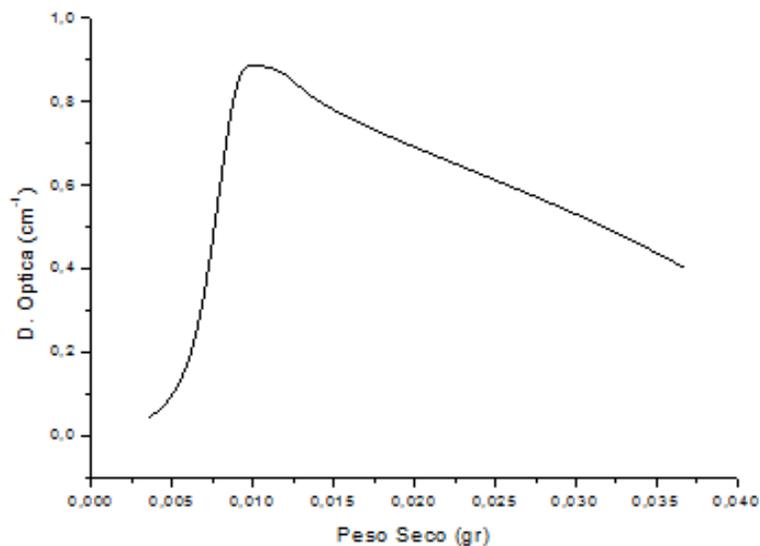


Figura 10. Curva de Crecimiento Medio de Cultivo Brasil

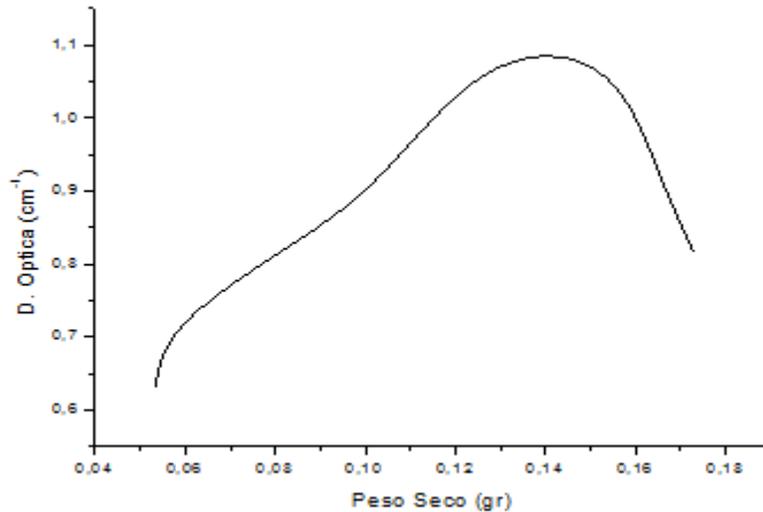


Figura 11. Curva de Crecimiento Medio de Cultivo Comercial

Observando la Figura 10 y la Figura 9, se puede apreciar los comportamientos de crecimiento que se representan en cada una de ellas, al iniciar el cultivo las curvas de crecimiento tienen un comportamiento lineal en fase de aceleración. La Figura 10, representa gráficamente el crecimiento de las microalgas, con un valor máximo de concentración de biomasa en $(0.8920 \text{ cm}^{-1} \pm 0.34)$ con medio de cultivo Brasil, Continuando en un periodo de este estacionario, registrando valores similares de densidad óptica en dos puntos de medición en el cultivo, y concluye en una fase de muerte, donde desciende la curva de crecimiento y los registros de densidad óptica disminuyen su intensidad. En contraste en la Figura 11, se observa un comportamiento diferente, el cultivo inicia en fase de aceleración, hasta la medición 3, una vez alcanzado el valor máximo de densidad óptica (1.095 ± 0.15) , el cultivo empieza la fase estacionaria, donde no se aprecia cambios significativos, y finaliza con la fase de muerte, con disminución en la concentración celular de manera tenue a diferencia del comportamiento que presenta el cultivo con el medio de cultivo comercial. Comparando los resultados obtenidos de las gráficas de crecimiento de las microalgas y el comportamiento de las fases en las que se desarrolló en el cultivo, presenta similitudes con la investigación realizada por el autor Alvear & *et al*, 2011 presenta que su curva de crecimiento presentó un comportamiento dividido por fases. la máxima tasa de crecimiento y por ende la máxima concentración de celular $(1,15 \times 10^6 \text{ cel/ml})$ se alcanzó con la relación [N]/pH de [0,1]/[8,5],

dando una tasa de crecimiento igual a 0,093 divisiones por día. La primera fase denominada latencia o lag comprendió desde el día 0 donde la microalgas se acopló a las condiciones del medio establecidas, La segunda fase o fase exponencial en todos los bioensayos inicia entre los días 2 a 5 y es donde mejor se aprecia la cinética del proceso; A partir del día 6 se dio inicio a la fase estacionaria, periodo en el que cesa el crecimiento por la ausencia de los nutrientes, se promueve la muerte de las células y se empieza a evidenciar el comienzo de la fase de muerte o de declive que se prolongó hasta el día 11.

De lo anterior, se puede concluir que la intensidad de días del cultivo y el medio de cultivo que se esté empleando en la cosecha del cultivo de las microalgas, son factores determinantes para su crecimiento, además que todos los cultivos independientes de las fuentes de nutriente presentan el mismo comportamiento dividido en fases de crecimiento y muerte.

El proceso de crecimiento individual fue por botellas debidamente enumeradas.

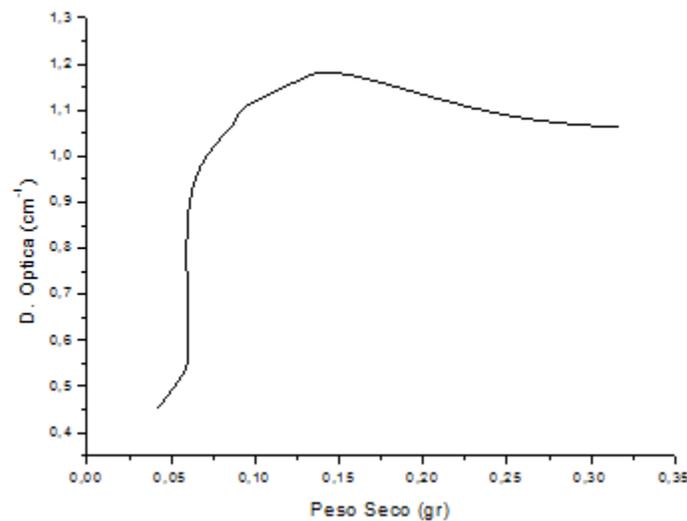


Figura 12. Curvas de Crecimiento de Botellas con medio Comercial

La Figura 12. Hace referencia a las botellas que contenían el cultivo de medio de cultivo comercial. La cosecha en este tipo de recipiente se realizó de manera gradual y por medio de diluciones semanales. Como se puede observar, el comportamiento que presentan las botellas

con respecto a la concentración de la biomasa se realiza por medio de fases, la fase inicial corresponde a la aceleración del cultivo, de manera constante y con respecto al tiempo de cada botella la concentración de la biomasa era creciente, alcanzando concentraciones máximas de $(1.558 \text{ cm}^{-1} \pm 0.099)$ en registros de densidad óptica, luego se desarrolló la fase decreciente para las ultimas botellas que se le desarrollo las diluciones correspondiente.

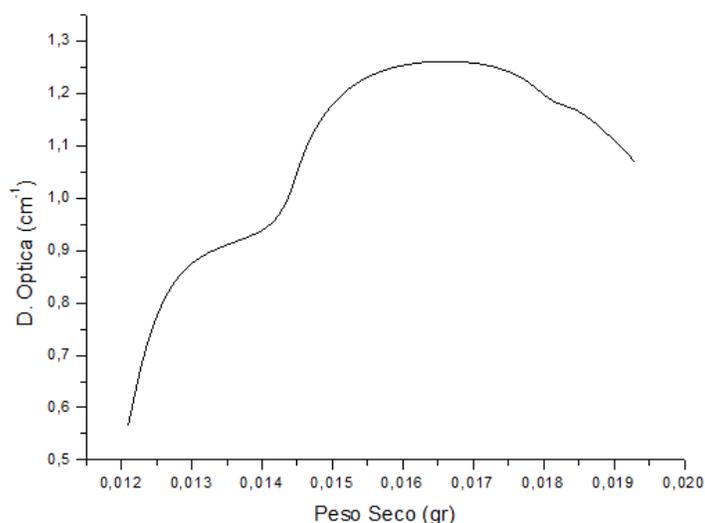


Figura 13. Curvas de Crecimiento de Botellas con medio Brasil

Como se puede apreciar en la figura 12. El crecimiento que se desarrolló en las botellas que contenían el medio de cultivo Brasil, tomo el siguiente comportamiento, las primeras botellas se representa un crecimiento lineal hasta alcanzar un valor máximo de concentración de $(1.237 \text{ cm}^{-1} \pm 0.219)$, seguido de una fase estacionaria, donde las variaciones de concentración generaban pocos cambios y finalizando con la fase de decrecimiento de concentración de biomasa.

Los comportamientos de crecimiento tienen similitudes entre ellos, gráficamente representan un comportamiento parecido con respecto a las fases mencionadas anteriormente, pero cabe resaltar que los valores con mayor concentración se situaron en los cultivos generados con el medio de cultivo comercial, con respecto a mediciones de densidad óptica y peso seco.

10.2. Recuperación de biomasa

El proceso de recuperación de la biomasa se desarrolló por medio de floculación a altos Ph, con conos de imhoff, para ello se evaluó el pH óptimo de floculación, donde se presentaban la mayor eficiencia de sedimentación, para cada tipo de medio de cultivo.

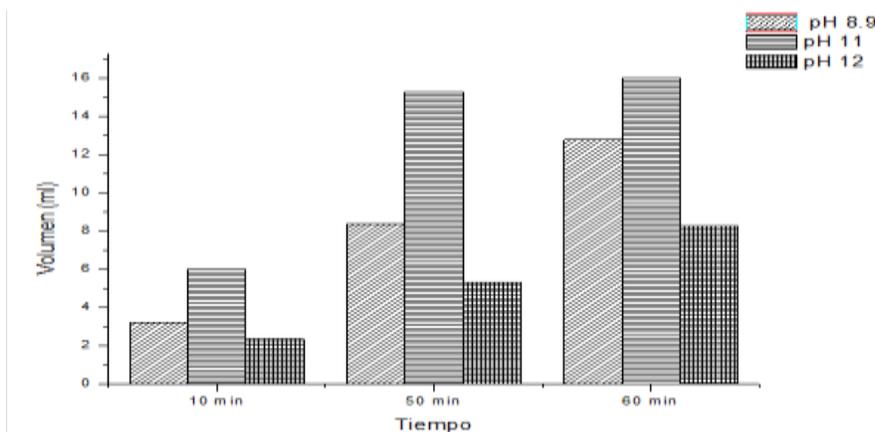


Figura 14. Floculación medio de cultivo Comercial

Apreciando la Figura 14, los resultados más óptimos encontrados con respecto al proceso de floculación con cono de imhoff, para cultivos realizados con el medio de cultivo comercial, corresponde a altos pH de rango de 11. Donde la eficiencia de recuperación fue mejor a diferencia de los otros pH evaluados.

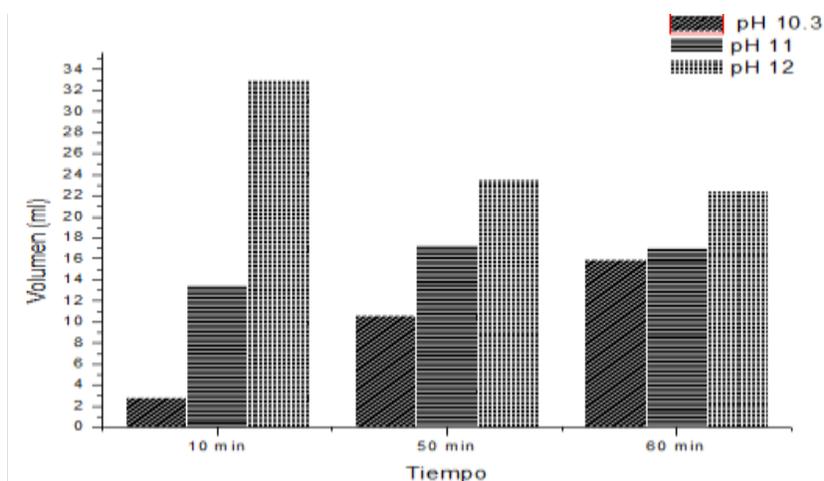


Figura 15. Floculación medio de cultivo Brasil

En la Figura 15, se puede apreciar el comportamiento de acumulación de biomasa para cultivos con el medio de cultivo Brasil, presento mejor comportamiento cuando el pH fue llevado a 12. Además, se presentó una similitud en las floculaciones una vez alcanzado el tiempo de 60 min para los pH evaluados en 11 y 8.9.

La investigación realizada por Rojo & et al., 2016, Expone que el tiempo de exposición al agente floculante afecta la eficiencia de floculación. El tiempo requerido para una alta eficiencia de floculación pH 12 y ajustado NaOH 0,5N fue tres veces menor que el tiempo reportado por Surendhiran & Vijay (2013) para alcanzar la máxima floculación (93,80%) uso FeCl₃ como floculante. En resumen, los resultados de los dos experimentos de floculación permiten demostrar que el NaOH usado como floculante único, puede ser un agente de floculación eficaz de la biomasa, independiente del medio de cultivo en el que las microalgas crezcan.

10.3. Extracción de aceite

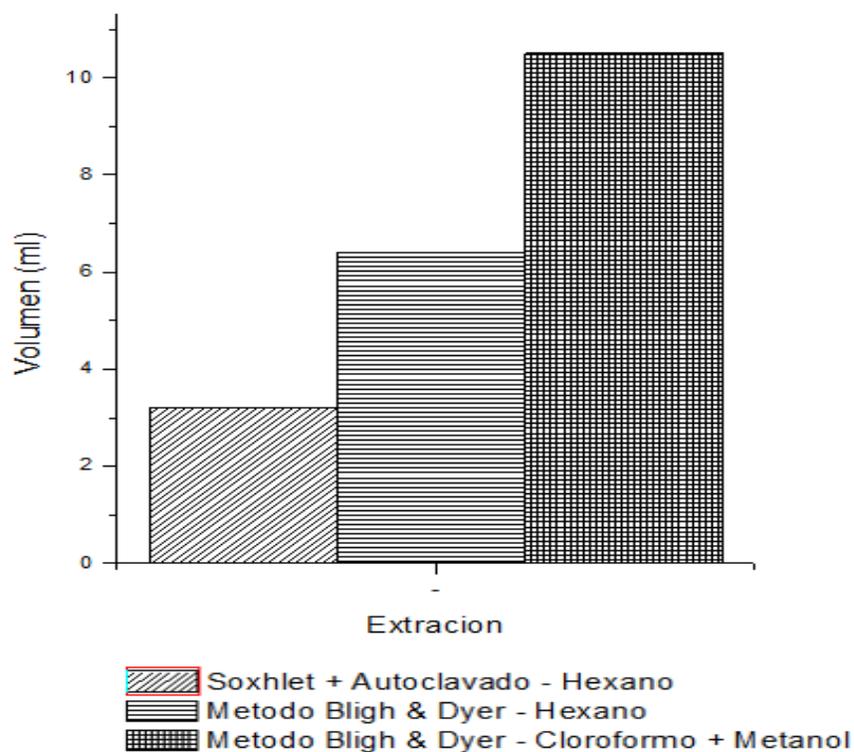


Figura 16. Extracción de aceite

En la Figura 16, se exponen los volúmenes de extracciones evaluados por diferentes métodos y solventes, el método con mayor eficiencia fue el de Bligh & Dyer, con el solvente de Cloroformo + Metanol. Las extracciones realizadas por medio de Soxhlet no fueron suficientes o proporcionales a los volúmenes de reactivos utilizados, por el método de soxhlet se desarrolló la extracción con Hexano y los resultados obtenidos fueron nulos, a diferencia de la extracción realizada una vez que se sometió la muestra de biomasa a la destrucción celular por medio de autoclavado y posteriormente llevada a el soxhlet. Los autores Hernandez & Miranda, 2011. exponen que la eficiencia del solvente cloroformo como reactivo de extracción es uno de los mejores arrojando eficiencia en los resultados de extracción y comparándolos con otros tipos de soluciones, pero que a su vez no es recomendado por ser un solvente con grandes niveles con impacto ambiental, además, el nivel de toxicidad que pueda generar. Con respecto al método de extracción, investigadores como Travieso & Benitez, 1998. Expresan que el método de Bligh & Dyer es el que mayor eficiencia de extracto lipídico genera, aproximadamente dos veces la cantidad que el método de soxhlet, El método de Bligh & Dyer no es necesario realizar una destrucción celular.

Los métodos de extracción fueron realizados con una masa de (2gr) de biomasa, y llevadas al proceso con diferentes cantidades de solventes, de acuerdo, al método realizado. Para el método con mayor eficiencia la relación de producción fue de 2gr de biomasa seca produjo 10.5 ml de aceite de microalgas, 5 veces su peso, lo cual concuerda con la literatura, que expone que las microalgas son el microorganismo con mayor producción de lípidos (Aceite) con respecto a otro tipo de plantas vegetales productoras de aceite.

Las condiciones ambientales en las que los cultivos se encontraban, fueron debidamente monitoreadas a lo largo del cultivo, la temperatura en el fotobiorreactor se mantuvo en un rango de 20 °C - 25°C, lo cual concuerda con la investigación realizada por Torres Parra, 2012. Que expone que Es importante acotar que las temperaturas del cepario (cámara fría sin sistema de agitación) y la cámara de crecimiento (cámara cálida con sistema de agitación continua), 24 y 27°C, Para la generación del aumento de productividad de la biomasa en el cultivo. Otro parámetro fundamental fue el registro de los pH, los rangos de pH variaron a

raíz del medio de cultivo utilizado, además el tiempo del cultivo influía en las variaciones presentes, para el medio de cultivo comercial (MCC) los rangos de pH registrados para la cosecha de las microalgas se mantuvieron en valores de (7.8 – 10), y para la cosecha con medio de cultivo Brasil los pH se mantuvieron en valores de (9.8 – 10.9), estas variaciones fueron debido a la concentración de nutrientes que tenía cada medio de cultivo. Además, otro factor que jugó gran importancia en los registros de parámetros ambientales fueron los días en que se concentró el cultivo, el desarrollo de cultivo tuvo un tiempo de 48 días, donde la mayor concentración de biomasa se registró entre 30 -34 días de cosecha. Investigaciones realizadas expresan que los días de cultivo tienen influencia en el crecimiento, además, de desarrollarse por fases, como lo indica la investigación de Torres Parra, 2012. Exponiendo que en los primeros días se inicia la fase crecimiento rápido, alcanzando el plateau aproximadamente a los 28 días, cuando poblaciones en otros medios lo habían logrado de 20 a 25 días. Cabe Resaltar que la concentración de biomasa está directamente ligada a la concentración de nutrientes que se encuentran en el medio de cultivo en el que se está realizando la cosecha de estos microorganismos.

12. CONCLUSIONES

- Las condiciones ambientales que se definieron a lo largo del cultivo, fueron factor de importancia con respecto al crecimiento, el control semanal permitió monitorear el crecimiento de las microalgas y las influencias que cada uno de los parámetros ejercía sobre ellas. El análisis de concentración de biomasa por medio de la curva de crecimiento en los cultivos evaluados, presento el mismo comportamiento con respecto a las fases de crecimiento, las cuales concordaban con la literatura consultada. Además, se determinó que el medio de cultivo comercial presento mayor eficiencia en concentraciones de biomasa con respecto al cultivo que se realizó con el medio de cultivo Brasil.
- Las eficiencias en los procesos de recuperación fueron satisfactorias, el método que mejor resultado proporciono fue el de floculación a altos pH en rangos de (11-12) en conos de imhoff. Los valores de pH dependieron del medio de cultivo y la eficiencia del método de acuerdo al tipo de cultivo.
- El método de extracción Soxhlet demostró ser un método de fácil aplicación, pero no genero resultados significativos. Además, Los volúmenes a utilizar con este tipo de método de extracción son de gran cantidad, con respecto a los volúmenes de aceite esperado, cabe resalta que la falta de eficiencia del método soxhlet se pudo deber a la mala manipulación del equipo al momento de realizar el procedimiento. Por otra parte Los resultados obtenidos al finalizar el proceso de extracción gracias al método de Bligh & Dyer fueron satisfactorios. El volumen de aceite extraído por medio del solvente HEXANO correspondió a 6,8 ml, con respecto a los valores obtenidos con CLOROFORMO + METANOL fue de 10,5 ml.

13. RECOMENDACIONES

- La investigación presente es una nueva alternativa de sostenibilidad con respecto a producción de materiales alternativos en construcción, en este caso Bioasfalto. Es por ello, que se recomienda ampliar el alcance de la investigación con respecto a clasificación y caracterización que se genera a partir de las microalgas.
- Se recomienda realizar un estudio económico, con respecto al proceso de extracción de aceite, y determinar la viabilidad económica, relacionando gastos con productos y la aplicabilidad de este.
- Se recomienda ampliar el alcance de futuras investigaciones referente al tema, caracterizar debidamente el aceite extraído y determinar la eficiencia que pueda tener en aplicaciones en ingeniería civil.

14. REFERENCIAS

- A. Hernández Pérez, J. L. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Biología marina y oceanografía*, 157-173.
- Alexis Hernández-Pérez, J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Biología marina y oceanografía*, 157-173.
- Alvear Alayón, M., Castillo Saldarriaga, C., & Henao Argumedo, D. (2011). *Evaluación del pH y concentraciones de nitrógeno en el cultivo de las microalgas Dunaliella salina y Chlorella nativa como fuente de aceite vegetal para la producción de biodiesel*. Cartagena de Indias: Universidad de Cartagena.
- Araujo, G. (2011). Bioprospecting for oil producing microalgal strains: evaluation of oil and biomass production for ten microalgal strains. *Bioresource technology*, 5248-5250.
- Básico, D. D. (noviembre de 2000). Título C. *Glamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico ras - 2000*. Bogotá D.C., Colombia.
- Benemann, K. M. (1988). Vertical tubular reactor for microalgae cultivation. *Biotechnology letters*, 703-708.
- Bermúdez, I. S. (2012). Estudio de cuatro cepas nativas de microalgas para evaluar su potencial uso en la producción de biodiesel (tesis de maestría). *Universidad Nacional de Colombia*, 173.
- Braida, V., Campot, M., Nervi, E., & Tartaglia, C. (2015). Aplicaciones del cultivo de microalgas en arquitectura sustentable. *Universidad ORT Uruguay*.
- Brennan, L., & Owende, P. (2010). A review of technologies for production, processing and extractions of biofuels and co-products. *Biofuels from microalgae*, 557-577.
- C. Contreras Florez, J. P. (2003). Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas. *Interciencia*, 450-456.
- Cajamar. (2012). *Cultivos de microalgas a gran escala: sistemas de producción*. Adnagro.
- Cando, M. S. (2015). Perfil lipídico de microalgas antárticas recolectadas en febrero 2013 en el archipiélago Schetland del Sur. *Universidad Central del Ecuador*, 153.
- Cubrero, R. G. (2011). *Producción de biomasa de microalgas rica en carbohidratos acoplada a la eliminación fotosintética de CO₂*. Sevilla: SOST CO₂.
- D. Rubio Fernández, G. A. (2016). Evaluación de las incidencias de salinidad y pH sobre la biomasa, productividad y acumulación de lípidos en cultivos de *Chlorella vulgaris* en un fotobiorreactor de placa plana. *Itackne*, 44-56.

- Djumari, yami, nasution, & m.f setyawan. (2017). Design and properties of renewable bioasphalt for flexible pavement. *Procedia engineering*, 1413-1420.
- Duarte, s. I. (2013). Estudio da produção de microalgas a partir de águas residuais (tesis de maestria). *Instituto politécnico de tomar*, 109.
- García, I. M. (2012). Eliminación de co2 con microalgas autóctonas (tesis doctoral). *Universidad de león* , 213.
- Gary anderson, a. K. (2003). Study of light as a parameter in the growth of algae in a photo-bio reactor (pbr). *American society of agricultural engineers*.
- Gómez cruz n., s. M. (2016). Extracción asistida con microondas de aceite esencial de acuyo (piper auritum) y evaluación de su efecto antifúngico contra penicillium expansum. *Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos* , 173-178.
- González a., k. V. (2009). Development of methods of extraction of oil in the production line of biodiesel from microalgae. *Universidad industrial de santande*, 53-60.
- González delgado a., p. R. (2016). Experimental adjustment and economic evaluation of hbe microalgae oil extraction for biofuels and bioproducts. *Prospect*, 45-52.
- González, m. S. (2006). Aplicación e importancia de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales. *Universidad atónoma metropolitana*, 64-70.
- Gressel, j. (2008). Transgenics are imperative for biofuel crops. *Plant science* , 246-263.
- Hernandez garcia, j. A., & miranda cardenas, j. H. (2011). *Comparacion de metodos de extraccion de aceite de microalgas a escala de laboratorio para la produccion de biodiesel*. Bucaramanga: universidad industrial de santander.
- Hernández, a., & labbé, j. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de biología marina y oceanografía*, 157-173.
- J. Piedrahita hernández, s. U. (2012). Diseño del sistema de alimentación y control de temperatura en un fotobiorreactor para la producción de biomasa y ácidos grasos a partir del cultivo de la microalga chlorella vulgaris. *Universidad autónoma de occidente (tesis pregrado)*, 138.
- Jaramillo obando , j. (2011). Evaluacion tecno-economica de la produccion de biocombustibles a partir de microalgas . Manizales: universidad nacional de colombia .
- L. Romero, m. G., & b. Arredondo-vega, r. C. (2017). Producción de pigmentos procedentes de arthrospira maxima cultivada en fotobiorreactores. *Revista colombiana de biotecnología*, 108 - 114.

- Lentini, g. F. (2015). Políticas tarifarias y regulatorias en el marco de los objetivos de desarrollo del milenio y el derecho humano al agua y al saneamiento. *Naciones unidas*.
- Martinez, a. R. (2011). *Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente*. Valencia: universidad politecnica de valencia.
- Monteza s, & samane j. (2016). Extracción, caracterización y determinación del tiempo de vida útil, del aceite de semilla de zapote (*matisia cordata*, bonpl). *Universidad señor de sipán*, 82.
- Moronta r, mora r, & morales e. (2006). Respuesta de microalgas *chlorella aorokiniana* al ph, salinidad y temperatura en condiciones axénicas y no axénicas. *Scielo*, 1-19.
- Ochowiak, m. (2016). The modified swirl sedimentation tanks for water purification. *Journal of environmental management*, 22-28.
- Olivares, r. E. (2010). Produccion de aceite para usos industriales a partir de la microalga “*scenedesmus obliquus*” (tesis pregrado). *Universidad de el salvador*, 118.
- Olivares, r. E. (2010). *Produccion de aceite para usos industriañes a partir de la microalgas "scenedesmus obliquus"*. San salvador: universidad de el salvador.
- Osorio campusano, p. J. (2008). *Estudio técnico económico para la producción de biodiesel a partir de algas*. Santiago de chile: universidad de chile.
- Paredo lua h., p. G. (2009). Aceites esenciales: métodos de extraccion . *Universidad de las americas puebla*, 24-32.
- Ramos suárez, j. (2014). *Produccion de biogás a partir de biomasa de la microalga scenedesmus sp. Procedente de diferentes procesos*. Madrid: universidad politecnica der madrid.
- Renhe qiu, s. G. (2017). Effects of ph on cell growth, lipid production and co2 addition of microalgae *chlorella sorokiniana*. 28.
- Rojo cebreros, a., morales plascencia, m., ibarra castro, l., martínez brown, u., & medina jasso, m. (2016). Floculación de *nannochloropsis* sp. Inducida por hidróxido de sodio: eficiencia de floculación, efecto sobre la viabilidad microalgal y su uso como alimento para rotíferos. *Research article* , 662-670.
- Sanabria, l. (2016). Usos del aceite de palma y sus derivados oleoquímicos en la industria de los pavimentos. *Palmas*, 37, 163-172.
- Santos, a., gonzalez, y., & martin , c. (2012). *Uso y aplicaciones potenciales de las microalgas*. Madrid: universidad pontificia de madrid.

- Serrano bermúdez, l. (2012). *Estudio de cuatro cepas nativas de microalgas para evaluar su potencial uso en la producción de biodiesel*. Bogotá: universidad nacional de colombia .
- Suzana wahidin, a. I. (2013). The influence of light intensity and photoperiod on the growth and lipid content of microalgae *nannochloropsis* sp. *Bioresource technology*, 129, 7-11.
- Technologies, a. (20 de 04 de 2014). *Tendencias 21*. Obtenido de http://www.tendencias21.net/bioasfalto-a-partir-de-microalgas-para-carreteras-mas-verdes_a40248.html
- Torres parra, r. (2012). *Aspectos ecológicos de microalgas con potenciales biotecnológicos*. Caracas: universidad central de venezuela.
- Travieso, l., & benitez echegoyen, f. (1998). *Cultivo de arthrosoira sp: del laboratorio de planta piloto: tecnología y aprovechamiento del cultivo de microalgas*. Cuba: centro de investigacion pesquera.
- Villa a, h. D. (2014). Efecto del fotoperiodo sobre el crecimiento de la diatomea *chaetoceros calcitrans* (clon c-cal) en cultivos estáticos. *Intropica*, 9, 111-117.
- Watanabe, y. (2017). Flocculation and me. *Water research*, 88-103.
- Zeng m , pan h , zhao y , & tian w. (2016). Evaluation of asphalt binder containing castor oil-based bioasphalt using conventional tests. *Construction and building materials*, 537-543.
- Zhu, l. (2014). Sustainable biodiesel production from microalgae cultivated with piggery wastewater. *University of vaasa*, 122.

ANEXOS

Medio de Cultivo Brasil		
Medio	Peso Seco (gr)	D. Optica (cm^{-1})
M-MCC	0,0035	0,0429
M-MCC	0,0067	0,1460
M-MCC	0,0087	0,8920
M-MCC	0,0101	0,8920
MCC	0,0123	0,8720
MCC	0,0139	0,7790
MCC	0,0298	0,5450
MCC	0,0368	0,4020
<i>Estadística descriptiva</i>		
Media	0,01523	0,5713625
Error típico	0,00415391	0,12164773
Mediana	0,0112	0,662
Moda	#N/A	0,892
Desviación estándar	0,01174903	0,34407174

Medio de Cultivo Comercial		
Medio	Peso Seco (gr)	D. Optica (cm^{-1})
M-MCC	0,0534	0,632
M-MCC	0,0560	0,7190
M-MCC	0,0876	0,8400
M-MCC	0,1038	0,9140
MCC	0,1270	1,0950
MCC	0,1554	1,0890
MCC	0,1656	0,9130
MCC	0,1730	0,8150
<i>Estadística descriptiva</i>		
Media	0,115225	0,86466667
Error típico	0,01682466	0,05224276
Mediana	0,1154	0,84
Moda	#N/A	#N/A
Desviación estándar	0,04758733	0,15672827

Botellas MCB		
BOTELLA- MCB	Peso seco (gr)	D. Optica (cm^{-1})
2	0,01210	0,567
4	0,01265	0,909
6	0,01432	0,917
8	0,01450	1,092
9	0,01538	1,265
12	0,01665	1,128
13	0,01755	1,267
17	0,01770	1,273
19	0,01810	1,174
23	0,01850	1,179
24	0,01930	1,069
<i>ESTADISTICA DESCRIPTIVA</i>		
Media	0,016068182	1,090496364
Error típico	0,000733009	0,066278347
Mediana	0,01665	1,174
Moda	#N/A	#N/A
Desviación estándar	0,002431114	0,219820408

Botellas MCC		
BOTELLA- MCC	Peso seco (gr)	D. Optica (cm^{-1})
1	0,0422	1,533
3	0,057325	1,44525
5	0,06188	1,5584
7	0,05734	0,8445
10	0,0648	0,9846
11	0,0865	1,064
22	0,0883	1,078
24	0,0921	1,105
25	0,1001	1,12
27	0,128	1,168
29	0,145	1,2
31	0,242	1,0807
33	0,317	1,0619
<i>ESTADISTICA DESCRIPTIVA</i>		
Media	0,130913	1,070672
Error típico	0,026740064	0,031382758
Mediana	0,0951	1,07935
Moda	#N/A	#N/A
Desviación estándar	0,084559508	0,099240994

Recuperación de Biomasa

pH 8.9			
TIEMPO	MCC		
	Muestra	Duplicado	Resultado
10 min	3	3,4	3,2
50 min	9,2	7,5	8,35
60 min	15	10,5	12,75

pH 11			
TIEMPO	MCC		
	Muestra	Duplicado	Resultado
10 min	8	4	6
50 min	22	8,5	15,25
60 min	24	8	16

pH 12			
TIEMPO	MCC		
	Muestra	Duplicado	Resultado
10 min	2,5	2,2	2,35
50 min	4,4	6,2	5,3
60 min	10	6,5	8,25

pH 10.3			
TIEMPO	MCB		
	Muestra	Duplicado	Resultado
10 min	3,5	2,2	2,85
50 min	11,5	9,7	10,6
60 min	16,5	15,3	15,9

pH 11			
TIEMPO	MCB		
	Muestra	Duplicado	Resultado
10 min	10	17	13,5
50 min	17,5	17	17,25
60 min	17	17	17

pH 12			
TIEMPO	MCB		
	Muestra	Duplicado	Resultado
10 min	36	30	33
50 min	24	23	23,5
60 min	23	22	22,5

Cosecha por botellas

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAD	DÍAS DE CULTIVO
1	14-sep	10,1	25,2	3,9	14
	16-sep	10,12	26,02	3,39	
	26-sep	10,00	24,3	10	
	28-sep	9,94	24,7	9,2	
ESTADÍSTICAS					
Media		10,04	25,055	6,6225	MCC
Error típico		0,04242641	0,37061885	1,72993437	
Mediana		10,05	24,95	6,55	
Moda		#N/A	#N/A	#N/A	
Desviación estándar		0,08485281	0,7412377	3,45986874	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAD	DÍAS DE CULTIVO
2	14-sep	11,24	25,4	0,22	14
	16-sep	10,96	25,4	0,17	
	26-sep	10,39	25,1	0,40	
	28-sep	10,84	24,8	0,50	
ESTADÍSTICAS					
Media		10,8575	25,175	0,3225	
Error típico		0,17693572	0,14361407	0,07706869	
Mediana		10,9	25,25	0,31	
Moda		#N/A	25,4	#N/A	
Desviación estándar		0,35387145	0,28722813	0,15413738	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAD	DÍAS DE CULTIVO
3	14-sep	10,48	25,2	5,26	34
	16-sep	10,48	25,4	4,78	
	26-sep	10,07	24,0	14,70	
	28-sep	9,94	25,0	10,8	
	6-oct	9,91	26,5	14,2	
	11-oct	9,74	23,8	12,3	
	18-oct	9,62	20,1	9,8	
ESTADÍSTICAS					
Media		10,0342857	24,2785714	10,2628571	
Error típico		0,12735135	0,78299312	1,50342738	
Mediana		9,94	25	10,8	
Moda		10,48	#N/A	#N/A	
Desviación estándar		0,33694001	2,07160508	3,97769495	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAD	DÍAS DE CULTIVO
4	14-sep	11,28	25	0,22	34
	16-sep	10,47	25,4	0,14	
	26-sep	9,77	23,7	0,5	
	28-sep	9,81	24,9	0,5	
	6-oct	9,21	26,0	0,7	
	11-oct	9,16	24,2	0,5	
	18-oct	8,85	20.1	0,4	
ESTADÍSTICAS					
Media		9,79285714	24,18	0,42285714	
Error típico		0,31997555	0,74317209	0,07177061	
Mediana		9,77	24,9	0,5	
Moda		#N/A	#N/A	0,5	
Desviación estándar		0,84657574	1,96624854	0,18988718	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAD	DÍAS DE CULTIVO
5	14-sep	10,1	27,4	3,96	40
	16-sep	10,41	25	3,61	
	26-sep	10,03	25,8	11,3	
	28-sep	9,91	25,5	11,0	
	6-oct	10,09	26,3	12,2	
	11-oct	10,09	24,8	6,7	
	18-oct	9,88	25.1	9,8	
	24-oct	9,53	26,1	8,8	
ESTADÍSTICAS					
Media		10,005	25,7875	8,42125	
Error típico		0,08847921	0,29242673	1,17468907	
Mediana		10,06	25,65	9,3	
Moda		10,09	#N/A	#N/A	
Desviación estándar		0,25025701	0,8271077	3,32252244	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAD	DÍAS DE CULTIVO
6	14-sep	11,39	27	0,24	40
	16-sep	11,34	24,9	0,21	
	26-sep	10,86	23,0	0,5	
	28-sep	11,22	24,5	0,5	
	6-oct	10,03	25,5	0,5	
	11-oct	9,63	24,6	0,5	
	18-oct	8,84	24.1	0,4	
	24-oct	8,88	25,6	0,4	
ESTADÍSTICAS					
Media		10,27375	24,9875	0,40625	
Error típico		0,38017824	0,40242013	0,04254987	
Mediana		10,445	24,85	0,45	
Moda		#N/A	#N/A	0,5	
Desviación estándar		1,07530643	1,13821602	0,12034919	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAD	DÍAS DE CULTIVO
7	14-sep	9,8	26,8	3,59	48
	16-sep	10,31	24,3	3,07	
	26-sep	9,93	26,1	10,8	
	28-sep	9,72	24,7	7,4	
	6-oct	9,90	25,7	12,6	
	11-oct	9,94	22	10,2	
	18-oct	10,01	25,1	9,6	
	24-oct	9,9	25,8	8	
	1-nov	9,96	27,6	0,5	
ESTADÍSTICAS					
Media		9,97333333	25,3444444	7,30666667	
Error típico		0,06751543	0,53828718	1,35624379	
Mediana		9,93	25,7	8	
Moda		9,9	#N/A	#N/A	
Desviación estándar		0,20254629	1,61486154	4,06873137	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAD	DÍAS DE CULTIVO
8	14-sep	11,21	26,6	0,2	48
	16-sep	11,33	24,4	0,18	
	26-sep	10,83	24,5	0,5	
	28-sep	11,05	24,4	0,5	
	6-oct	9,86	25,4	0,5	
	11-oct	9,51	23,9	0,5	
	18-oct	9,22	25,1	0,4	
	24-oct	8,84	26,4	0,4	
	1-nov	10,01	25,7	0,4	
ESTADÍSTICAS					
Media		10,2066667	25,1777778	0,39777778	
Error típico		0,30853147	0,31525024	0,04222222	
Mediana		10,01	25,3	0,4	
Moda		#N/A	24,4	0,5	
Desviación estándar		0,9255944	0,94575073	0,12666667	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAD	DÍAS DE CULTIVO
9	28-sep	11,31	21,4	0,6	34
	6-oct	11,25	25,8	0,6	
	11-oct	10,52	22,3	0,4	
	18-oct	9,1	24,1	0,3	
	24-oct	9,39	25,8	0,3	
	1-nov	10,21	25,8	0,5	
ESTADÍSTICAS					
Media		10,3466667	24,25	0,45	
Error típico		0,34660897	0,79906195	0,05627314	
Mediana		10,365	25,1	0,45	
Moda		#N/A	25,8	0,6	
Desviación estándar		0,84901512	1,95729405	0,13784049	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAD	DIAS DE CULTIVO
10	28-sep	9,85	23,0	5,1	34
	6-oct	10,29	25,8	8,6	
	11-oct	9,89	22,6	8,2	
	18-oct	9,95	26	6,5	
	24-oct	9,69	25,1	6,6	
	1-nov	9,7	25,8	7,9	
ESTADÍSTICAS					
Media		9,895	24,7166667	7,15	
Error típico		0,08965675	0,62097593	0,53836171	
Mediana		9,87	25,45	7,25	
Moda		#N/A	25,8	#N/A	
Desviación estándar		0,2196133	1,52107418	1,31871149	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAD	DIAS DE CULTIVO
11	18-oct	10,1	23,1	5	29
	24-oct	9,87	25,8	4,7	
	1-nov	9,57	26,4	5,7	
	16-nov	9,77	25,1	5,9	
ESTADÍSTICAS					
Media		9,9275	25,2	5,325	
Error típico		0,20076417	0,62583278	0,28394542	
Mediana		9,82	25,45	5,35	
Moda		#N/A	#N/A	#N/A	
Desviación estándar		0,40152833	1,25166556	0,56789083	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
12	18-oct	11,34	23,1	0,7	29
	24-oct	10,64	26,2	0,4	
	1-nov	9,47	25,9	0,4	
	16-nov	10,24	25,6	0,5	
ESTADISTICAS					
Media		10,4225	25,3	0,5	
Error típico		0,39047781	0,61237244	0,07071068	
Mediana		10,44	25,75	0,45	
Moda		#N/A	#N/A	0,4	
Desviación estándar		0,78095561	1,22474487	0,14142136	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
14	1-nov	11,03	25,7	0,5	15
	16-nov	9,73	25,6	0,4	
ESTADISTICAS					
Media		10,38	25,65	0,45	
Error típico		0,65	0,05	0,05	
Mediana		10,38	25,65	0,45	
Moda		#N/A	#N/A	#N/A	
Desviación estándar		0,91923882	0,07071068	0,07071068	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
15	1-nov	10,19	26,1	7,6	15
	16-nov	9,88	26,1	7,5	
ESTADISTICAS					
Media		10,035	26,1	7,55	
Error típico		0,155	0	0,05	
Mediana		10,035	26,1	7,55	
Moda		#N/A	26,1	#N/A	
Desviación estándar		0,2192031	0	0,07071068	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
16	16-nov	9,91	24,8	6,1	13
	29-nov	9,84	27,8	6,2	
ESTADISTICAS					
Media		9,875	26,3	6,15	
Error típico		0,035	1,5	0,05	
Mediana		9,875	26,3	6,15	
Moda		#N/A	#N/A	#N/A	
Desviación estándar		0,04949747	2,12132034	0,07071068	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
17	16-nov	10,8	25,2	0,5	13
	29-nov	10,85	27,3	0,5	
ESTADISTICAS					
Media		10,825	26,25	0,5	
Error típico		0,025	1,05	0	
Mediana		10,825	26,25	0,5	
Moda		#N/A	#N/A	0,5	
Desviación estándar		0,03535534	1,48492424	0	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
18	16-nov	10,05	25,3	6,7	13
	29-nov	9,87	26,4	6,7	
ESTADISTICAS					
Media		9,96	25,85	6,7	
Error típico		0,09	0,55	0	
Mediana		9,96	25,85	6,7	
Moda		#N/A	#N/A	6,7	
Desviación estándar		0,12727922	0,77781746	0	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
19	16-nov	10,68	25,4	0,5	13
	29-nov	10,68	26	0,5	
ESTADISTICAS					
Media		10,68		0	
Error típico		0		0,5	
Mediana		10,68		0,5	
Moda		10,68		0	
Desviación estándar		0		0	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
21	29-nov	11,15	23,7	0,5	14
	9-dic	11,03	27,5	0,5	
	13-dic	9,05	27,6	0,3	
ESTADISTICAS					
Media		10,41	26,2666667	0,43333333	
Error típico		0,68088178	1,28365797	0,06666667	
Mediana		11,03	27,5	0,5	
Moda		#N/A	#N/A	0,5	
Desviación estándar		1,17932184	2,22336082	0,11547005	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
23	29-nov	9,49	22,8	0,3	14
	9-dic	10,42	23,8	0,4	
	13-dic	9,08	24,6	0,3	
ESTADISTICAS					
Media		9,66333333	23,7333333	0,33333333	
Error típico		0,39641449	0,52068331	0,03333333	
Mediana		9,49	23,8	0,3	
Moda		#N/A	#N/A	0,3	
Desviación estándar		0,68661003	0,90184995	0,05773503	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
24	29-nov	10,36	22,8	0,3	14
	9-dic	10,42	23,8	0,4	
	13-dic	9,08	24,6	0,3	
ESTADISTICAS					
Media		9,95333333	23,7333333	0,33333333	
Error típico		0,43701004	0,52068331	0,03333333	
Mediana		10,36	23,8	0,3	
Moda		#N/A	#N/A	0,3	
Desviación estándar		0,7569236	0,90184995	0,05773503	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
25	29-nov	10,45	22,7	0,3	14
	9-dic	11,17	26,2	0,6	
	13-dic	11,05	27,3	0,5	
ESTADISTICAS					
Media		10,89	25,4	0,46666667	
Error típico		0,22271057	1,38684294	0,08819171	
Mediana		11,05	26,2	0,5	
Moda		#N/A	#N/A	#N/A	
Desviación estándar		0,38574603	2,40208243	0,15275252	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
26	29-nov	10,87	24,5	0,4	14
	9-dic	10,05	25,2	0,6	
	13-dic	11,05	27,3	0,5	
ESTADISTICAS					
Media		10,6566667	25,6666667	0,5	
Error típico		0,3077517	0,8412953	0,05773503	
Mediana		10,87	25,2	0,5	
Moda		#N/A	#N/A	#N/A	
Desviación estándar		0,53304159	1,4571662	0,1	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
27	29-nov	9,67	22,3	4	20
	19-dic	10,48	22,8	3,4	
ESTADISTICAS					
Media		10,075	22,55	3,7	
Error típico		0,405	0,25	0,3	
Mediana		10,075	22,55	3,7	
Moda		#N/A	#N/A	#N/A	
Desviación estándar		0,57275649	0,35355339	0,42426407	

BOTELLA	FECHAS	PH	TEMP	SALINIDAS	DIAS DE CULTIVO
28	29-nov	9,67	22,3	4	20
	19-dic	10,48	22,8	3,4	
ESTADISTICAS					
Media		10,075	22,55	3,7	
Error típico		0,405	0,25	0,3	
Mediana		10,075	22,55	3,7	
Moda		#N/A	#N/A	#N/A	
Desviación estándar		0,57275649	0,35355339	0,42426407	

PRODUCTOS

[M_CIF] Decisión editorial sobre el original



Recibidos x



Geo Elsa Adriana Cárdenas Quiroga <cinv.ingenieria@unimilitar.edu.co>
para mí, Julian, Adela, Diana, Andrea ▾

karol lucia Fuentes Escobar:

Después de una detenida revisión de su original, "EVALUACION DE CONDICIONES AMBIENTALES CON FINES DE EXTRACION DE ACEITE A PARTIR DE MICROALGAS Chlorella vulgaris" ha sido considerada positivamente en **Concurso de Investigación Formativa** si se realizan las siguientes revisiones.

Gracias por considerar su participación en este evento.

Una vez realizadas las revisiones pueden presentar el trabajo el día lunes 23 de octubre de 8 -12 en el aula especial III B





Submission ID: 51

Author 1:

First Name: Karol

Last Name: Fuentes

Organization: Universidad Militar Nueva Granada

Country: Colombia

Email: U1101868@unimilitar.edu.co

Author 2:

First Name: Julian

Last Name: Olivera

Organization: Universidad Militar Nueva Granada

Country: Colombia

Email: U1101800@unimilitar.edu.co

Author 3:

First Name: Adela

Last Name: Rodriguez

Organization: Universidad Militar Nueva Granada



On behalf of the Engineering, Science and Technology Conference, I am pleased to inform you that your submission, titled

"Extracción de aceite a partir de microalgas obtenidas de la laguna El Estanco, en San Andrés de sotavento - Colombia" has been accepted.

We have included the reviewers' feedback at the end of this message. Please make sure to upload your paper with the reviewer's corrections before August 12th, through our platform <http://congreso.utp.ac.pa/paper-submit/openconf.php>

Congratulations,
Program Committee, ESTEC-2017
info.congreso@utp.ac.pa

Engineering, Science and Technology Conference (ESTEC) - 2017

*****Este mensaje (y sus adjuntos), en adelante "mensaje", ha sido enviado exclusivamente a su(s) destinatario(s) y es confidencial. Si usted recibe este mensaje por error, por favor bórrelo y comunique inmediatamente al remitente. Toda utilización o publicación, total o parcial, queda prohibida salvo autorización expresa. La UTP no podrá ser considerada responsable si el mensaje ha sido modificado y/o utilizado sin autorización. This message (and any attachments), are confidential intended solely for the people whose addresses appear. If you have received this message by error, please delete it and immediately notify the sender. Any use, dissemination or disclosure, either whole or partial, without formal approval is prohibited. The UTP will not therefore be liable for the message if modified and/or used without approval.*****



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ

CONFIERE EL PRESENTE CERTIFICADO A:

KAROL LUCIA FUENTES ESCOBAR

En calidad de Expositor

EXTRACCIÓN DE ACEITE A PARTIR DE MICROALGAS OBTENIDAS DE LA LAGUNA EL ESTANCO, EN SAN ANDRÉS DE SOTAVENTO - COLOMBIA

Dado en la ciudad de Panamá del 11 al 13 de octubre de 2017.

Certificado No. 162253
Identificación personal: 1026585251
Curso 40 horas
Código de verificación: 70EFD2E-
257F6F7C2C90FC6B37C93EC7636D0BE6
www.esimposio.com/verificacion

Dra. Deyka Garcia
Directora de Investigación
Congreso UTP Panamá 2017

Dra. Casilda Saavedra de Madrid
Vicerrectora de Investigación, Postgrado y Extensión
Congreso UTP Panamá 2017



Paper Submission

Estimado autor,

Por medio del presente les queremos dar un update sobre el estatus de la publicación del Proceeding de la conferencia. El grupo Knowledge E (KriE) acaba de terminar con el proceso de revisión de plagio, utilizando la herramienta iThenticate. La etapa en la que están en estos momentos es la conversión del material (PDF/XML), por lo que estiman que todavía demoran de unas tres a cuatro semanas en publicar el Proceeding en su página web, <https://www.kriepublishing.com/>.

Les recordamos que se había anunciado que el Proceeding se haría al finalizar el Congreso justo para asegurar que se publicasen solo los artículos que fueron presentados durante la conferencia.

Tan pronto nos indiquen que está publicando en la página de KriE se los haremos saber.

Saludos,
Comité Técnico
ESTEC 2017

Dear author,

We would like to take this opportunity to give you an update regarding the Proceeding of ESTEC 2017. The publishing group Knowledge E (KriE) just have finalized the Editorial Check for ESTEC Conference Proceedings and all the manuscripts have been passed the iThenticate check against plagiarism. The step in which they are currently working is materials conversion (PDF/XML) and they estimate it still will take 3 to 4 weeks to publish the Proceeding in their webpage, <https://www.kriepublishing.com/>.

We remind you that we announced that the Proceeding would be published after the conference to ensure that only the papers presented are published.

As soon as we have notification from KriE we will let you know about it.

Warmest regards,
Technical Committee
ESTEC 2017