



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

“Biofiltración a base de microalgas termófilas y mesófilas para absorber dióxido de carbono del aire, Lima 2019”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Br. Lourdes Priscila Camacho Solis (ORCID: 0000-0003-2185-409L)

Br. Mirella Nanheska Malca Esquerre (ORCID: 0000-0002-1169-404X)

ASESOR:

Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro (ORCID: 0000-0003-1504-2089)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

Lima – Perú

2019

Dedicatoria

Esta tesis la dedicamos a Dios quien nos guía, nos da fuerzas y sabiduría para continuar en este camino profesional y no caer en cada intento.

A nuestros familiares quienes con el ejemplo nos mostraron el camino de los correctos valores morales y éticos, los cuales nos hacen ser las mujeres que somos ahora.

A nuestros padres, quienes, con su apoyo en los momentos difíciles, nos ayudaron a no caer, por el amor brindado y el apoyo económico para continuar con nuestra carrera profesional.

Agradecimiento

Yo Lourdes Priscila Camacho Solís, le doy gracias a mi Dios por ser parte de mi vida, te agradezco señor por brindarme fuerza y sabiduría. Gracias a mis padres Orlando Camacho y Marcy Solis por su confianza y apoyo, gracias también por ser mi ejemplo y mi mayor motivación, mi amor por ustedes es infinito, son lo más valioso que la vida me dio junto a mis hermanos a quienes les agradezco por su compañía y cariño en cada paso de mi vida, los amo y admiro a cada uno de ustedes. Les doy gracias también a mis abuelitos y por ultimo a mis padrinos Margarita y Vicente por ser el apoyo y amor a lo largo de mi vida.

Yo Mirella Nanheska Malca Esquerre, agradezco primero a Dios por sus bendiciones, por darme fuerza y sabiduría en el transcurso de mi carrera. Le doy gracias a mis padres Rosa Esquerre Cabezas y Jorge Malca Torres quienes están a mi lado en cada paso de mi vida, les agradezco por el amor incondicional que me motiva a seguir adelante, muchas gracias por cada sacrificio, esfuerzo y preocupación. Gracias a mis tíos Walter Torres y Nélide Ecos, por su apoyo constante e incondicional y todo su amor. Les agradezco por creer en mí y por ser mi modelo a seguir. Agradezco también a mis hermanos, familiares y amigos por acompañarme en este camino.

Juntas, agradecemos de todo corazón a nuestro asesor de tesis Elmer Benites Alfaro, por ser nuestro guía en el ámbito académico, por su apoyo, comprensión y por las enseñanzas brindadas. Al profesor del área de química en la Universidad Nacional de Cajamarca, por sus enseñanzas y su tiempo. A los profesores Jorge López Bulnes, Freddy Pillpa, Carlos Alfaro Rodríguez, por sus enseñanzas y apoyo con nuestros instrumentos de investigación.

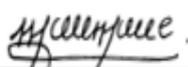
PÁGINA DEL JURADO

Declaratoria de Autenticidad

Yo, Mirella Nanheska Malca Esquerre con DNI N° 73262963. Y yo, Lourdes Priscila Camacho Solís con DNI N°48594242 a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, declaramos bajo juramento que toda la documentación que acompañamos es veraz y auténtica.

Así mismo, declaramos también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces. En tal sentido, asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento y omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 18 de diciembre del 2019.



Mirella Nanheska Malca Esquerre

DNI: 73262963



Lourdes Priscila Camacho Solís

DNI: 48594242

ÍNDICE

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Página del Jurado.....	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Índice.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II.MÉTODO.....	29
2.1. Tipo y diseño de investigación	29
2.3. Población, muestra y muestreo	32
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	32
2.5. Procedimiento	34
III. RESULTADOS	44
IV. DISCUSIÓN.....	57
V. CONCLUSIONES.....	58
VI. RECOMENDACIONES	59
VII. REFERENCIAS	60
VIII. ANEXOS.....	65
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	65
Anexo 2. Ficha de entrega de cepas de microalgas mesófilas.....	66
Anexo 3. Ficha de Condiciones de operación	67
Anexo 4. Ficha de registro de concentración de ingreso y absorción de CO ₂	68
Anexo 5. Ficha de porcentaje de Biomasa.....	69

RESUMEN

El dióxido de carbono es uno de los gases de efecto invernadero más importantes, cuya concentración está asociado con el cambio climático y el calentamiento global. Esto se debe a que el calentamiento global causa el cambio climático a nivel planetario, y se origina por la emisión y acumulación de los gases que producen el efecto invernadero en la atmósfera terrestre, es necesario verificar y controlar la evolución de dichas emisiones para contribuir al esfuerzo de su reducción global (MINAM, 2014).

Como alternativa de mitigación de dióxido de carbono, en la presente investigación se realizó un modelo de biofiltro a base de microalgas termófilas y microalgas mesófilas, con este sistema se planea captar CO₂. Las microalgas mesófilas fueron obtenidas del Instituto del Mar Peruano (IMARPE), mientras que las microalgas termófilas fueron obtenidas en el distrito de Cachicadán ubicado en la provincia de Santiago de Chuco, departamento de la Libertad, estas últimas se cultivaron en el laboratorio de la Universidad César Vallejo por un periodo de tres semanas.

Cada especie de microalgas se inoculó en biofiltros a condiciones establecidas de acuerdo con su hábitat de origen, posteriormente se realizó un monitoreo de dos semanas cada uno, administrando CO₂ y un nutriente llamado bayfolan durante todo el periodo. Como resultado se determinó que estas microalgas presentan una eficiencia de 60% con respecto a la captura de dióxido de carbono.

Palabras claves: captura atmosférica de CO₂, microalgas termófilas, microalgas mesófilas, gases de efecto invernadero.

ABSTRACT

Carbon dioxide is one of the most important greenhouse gases, the concentration of which is associated with climate change and global warming. This is because global warming causes climate change at the planetary level, and is caused by the emission and accumulation of gases that produce the greenhouse effect in the earth's atmosphere, it is necessary to verify and control the evolution of these emissions to contribute to the effort of its global reduction (MINAM, 2014).

As an alternative to mitigate carbon dioxide, in the present investigation a biofilter model based on thermophilic microalgae and mesophilic microalgae was carried out, with this system it is planned to capture CO₂. The mesophilic microalgae were obtained from the Peruvian Sea Institute (IMARPE), while the thermophilic microalgae were obtained in the district of Cachicadán located in the province of Santiago de Chuco, department of La Libertad, the latter were cultivated in the laboratory of the University César Vallejo for a period of three weeks.

Each species of microalgae was inoculated in biofilters at conditions established according to their habitat of origin, subsequently a monitoring of two weeks each was carried out, administering CO₂ and a nutrient called bayfolan throughout the period. As a result, it was determined that these microalgae have an efficiency of 60% with respect to the capture of carbon dioxide.

Keywords: atmospheric CO₂ capture, thermophilic microalgae, mesophilic microalgae, greenhouse gases.

I. INTRODUCCIÓN

El aire respirable por los seres vivos del planeta está constituido por la mezcla de diversos gases; nitrógeno (N_2) en un 78%, oxígeno (O_2) en un 20%, gases nobles en un 1%, dióxido de carbono (CO_2) en un 0.03% y agua (H_2O) en un 0.97%. De estos gases, el O_2 y el CO_2 son gases de vital importancia para la vida. En relación al CO_2 , el cual es generado naturalmente por el proceso respiratorio de los seres vivos, es utilizado por los árboles, algas, microalgas, entre otras, para dar comienzo al proceso de fotosíntesis (ciclo de Calvin). Sin embargo, debido a la actividad antropogénica, la concentración de CO_2 , otros gases contaminantes y partículas se ha incrementado vertiginosamente después de la revolución industrial, emitiéndose toneladas de estos gases a la atmósfera. Las emisiones de CO_2 provienen de dos tipos de fuentes: fijas (chimeneas de empresas petroleras o que hagan uso de combustibles fósiles) y móviles (generadas por vehículos de combustión interna). Esto trae como consecuencia la contaminación del aire, el desequilibrio de los ciclos naturales de los gases que componen el aire, el efecto climático y el calentamiento global.

El clima de nuestro planeta siempre ha tenido un dinamismo constante, sin embargo, actualmente preexiste casi la aceptación científica mundial, en relación al pensamiento de que nuestra manera de progreso económico y consumo de energía está cambiando la estabilidad climática. Uno de los primordiales motivos es el calentamiento global, provocado, entre otros factores, por el aumento del efecto invernadero, debido a un exceso de emisiones de dióxido de carbono (CO_2).

Junto con el vapor de agua y otros gases, el CO_2 es uno de los llamados gases de efecto invernadero (GEI). En conjuntos aportan al planeta una condición atmosférica aceptable para el desenvolvimiento de la vida, ya que de no existir la presencia del CO_2 y el vapor de agua, la temperatura promedio del planeta estaría alrededor de $33^\circ C$ más baja, cercana a menos $18^\circ C$, lo que haría que la vida no fuera posible como se conoce. Esta condición que origina el efecto invernadero no sólo ocurre en la tierra, sino en todos los planetas con atmósfera. (González, 2012, p. 40).

Es conveniente mencionar, que la presencia natural del CO_2 es producto de la actividad volcánica, además de las fuentes hidrotermales. Esta generación se equilibra constantemente por la presencia de fitoplancton (algas microscópicas), estas procesan el

CO₂ del mar a través de la fotosíntesis y generando O₂, de modo que los océanos pueden absorber más CO₂ presente en el aire. El fitoplancton al momento de morir, sus restos se sumergen en el fondo del mar, es allí donde va a parar el carbono (C) absorbido por estas especies. A pesar de lo mencionado, la mayor parte del CO₂ disuelto en el lecho marino es arrastrado a la superficie por las corrientes oceánicas ocurrida en la profundidad. El agua fría de los casquetes polares alcanza el lecho marino y el agua que contiene elevadas cantidades de C regresa a la atmósfera, lo que aumenta el contenido del mismo. (Fung, Doney, Lindsay y Jhon, como se citó en biogenicolombia, 2015, párr. 3). Sin embargo, Raupach, Marland, Ciais, Le Quéré, Canadell, Klepper y Field, citado en biogenicolombia (2015, párr. 4), creen que pese a las fluctuaciones de las emisiones de CO₂ a lo largo del tiempo, su amento en lo últimos dos siglos fue dramático, especialmente a medida que la revolución industrial ha traído consigo el empleo de combustibles fósiles o hidrocarburos como el carbón, el petróleo y el gas natural. En el último medio siglo, aumento a un 22% (seis veces mayor que los 150 años anteriores) y se debe al consumo de energía de los hidrocarburos.

El cambio climático (CC) es uno de los mayores retos a los que se enfrenta la humanidad y una importante advertencia para el progreso sostenible, con graves efectos en lo económico, social y ambiental. Por lo tanto, existe la necesidad minimizar las emisiones de GEI, siendo el principal gas CO₂, y alcanzando la eficiencia energética. Estas son esenciales para limitar el CC. (Rodríguez, 2018, p. 23).

Según la Organización Mundial de Meteorología en su boletín anual sobre impacto de los GEI publicado en octubre 2017, el nivel del CO₂ en el aire se encuentra en su magnitud más elevada registrada y estimadas hasta 800 000 años en la antigüedad, ya que ha alcanzado la cifra de 403,3 partes por millón (ppm) en 2016. Para reducir la proporción de CO₂, principal GEI, además de la catastrófica variación en el aumento de temperatura en 2015 se definió un pacto internacional conocido como el Acuerdo de París. Este pretende mantener el calentamiento de la tierra por lo menos dos grados centígrados por debajo de la media de la era preindustrial. La preocupación surge que un cambio de tan solo un grado en la temperatura puede desencadenar grandes afectaciones al medio ambiente, a la sociedad y por supuesto a la economía (Pinilla y De Corso 2018, p. 5).

En este mismo sentido, a nivel mundial, existe un consenso en la comunidad científica de la dificultad que existe en cuantificar la concentración de CO₂ en la atmósfera, por lo cual, Canadell y Carlson (2017) explican que los valores de ingresos y gastos son necesarios

conocerlos para poder controlarlos. Asimismo, para el C con CO₂ en el aire, con un cálculo más preciso, se determinan los datos de entrada (origen) y salida (sumideros). El cálculo completo de C establece que la emisión de CO₂ al aire por las actividades humanas, está nivelada por la emisión de CO₂ en sumideros de carbono en tierra o en el mar. El recuento de C se puede escribir de una manera relativamente sencilla: Fuentes = cantidad en la atmósfera (emisiones originadas por la quema de combustibles fósiles + emisiones originadas de cambios en el uso de la tierra) más cantidades en sumideros (mayor cantidad en la atmósfera + cantidad que entra en el océano (química y biológica) + cantidad que entra en la vegetación terrestre y el suelo). Cuanto menos C llega a la tierra o al océano, más permanece en la atmósfera. (Ver tabla 1).

Tabla 1. Recuento anualizado del C para el 2015. (GtC año⁻¹).

Emanación de combustibles fósiles (incluye fabricación de cemento)	Variación en la actividad agrícola y ganadera, principalmente deforestación	Aumento en la concentración atmosférica (6,2 GtC = 2,9 ppm)	Absorción por el océano	Absorción por la tierra
9,9 ± 0,5	1,3 ± 0,5	6,2 ± 0,2	3,0 ± 0,5	2,0 ± 0,9

Fuente: Le Quéré et al. (2016) como se citó en Candell y Carlson (2017, p.3)

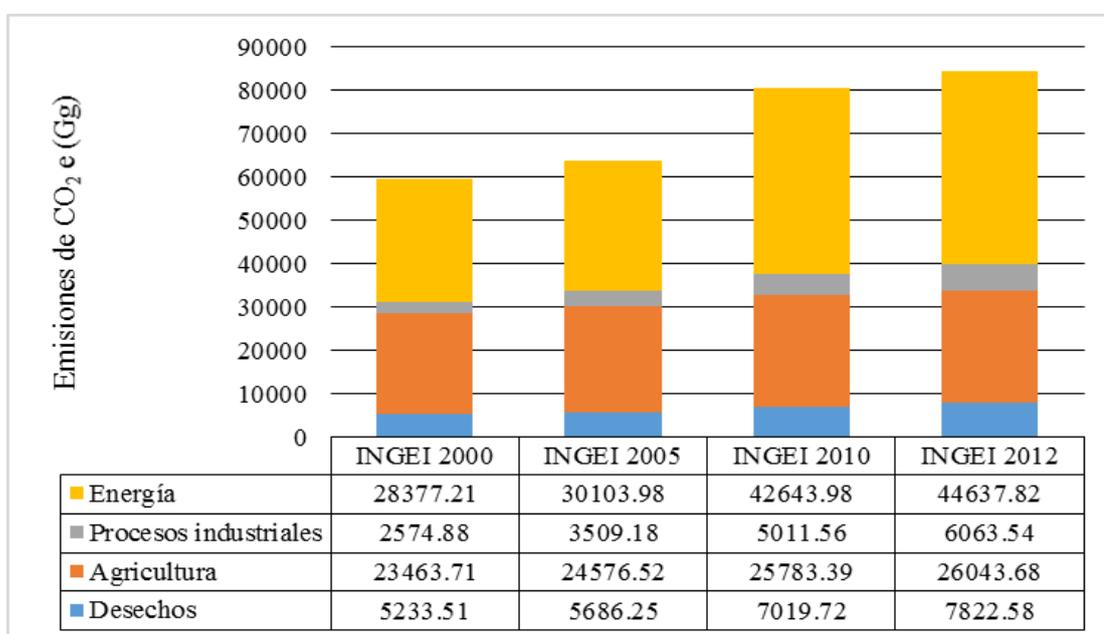
La estimación de las emanaciones de CO₂ concernientes con el consumo energético de China han aumentado en un 150% desde el año 2000, de alrededor de 3.300 megatoneladas de dióxido de carbono (MtCO₂) en el año 2000 a 8.500 MtCO₂ en el año 2013-2014, pasando de alrededor del 15% del total mundial en el año 2000 a más del 25% para el 2015 (Enerdata, 2015, p. 4).

En Latinoamérica ocurre el mismo fenómeno, las emanaciones de CO₂ concernientes con el consumo energético en Chile se incrementó en un 178% para el periodo 1990-2013, lo que está muy por encima del promedio mundial (56%) para las naciones de América pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (104%) y para todas las economías de la OCDE (9,4%) (IEA, 2017 como se citó en Cansino, Sánchez-Braza y Rodríguez-Arévalo 2018). De acuerdo con los mismos autores,

estas emisiones se derivan únicamente de la combustión de combustibles, por lo que están asociadas a acciones antropogénicas. A menos que las emanaciones de CO₂ concernientes con el consumo energético de Chile compartan sólo el 0,2% del total mundial, su porcentaje aumentó en un 78,5% para el período mencionado.

En el Perú, las emanaciones de CO₂ en 1960 fue de 0,8 t y se han incrementado en 2 t per cápita para el año 2014 (Grupo Banco Mundial, 2019). El Perú está comprometido a comprimir sus emanaciones de GEI en 30%, iniciando el camino hacia las acciones de mitigación arrancando como inicio el Acuerdo de Copenhague, cumpliendo con una serie de acciones voluntarias no vinculantes para reducir las emisiones de GEI (Bodansky, 2010 como se citó en Vázquez-Rowe et al. 2019). En los actuales momentos en el país se efectúan Inventarios Nacionales de GEI tomando como años base periodo de cinco años desde el 2000 hasta el año 2012 (ver Ilustración 1), Con esto se ha logrado la identificación de los grupos con elevadas emanaciones con el propósito de fomentar impulsos nacionales en la gestión de emisiones, se observa, un total de generación de 84567.62 Gg CO₂ e (Ministerio del ambiente 2014, parr.1).

Ilustración 1. Inventarios nacionales de GEI sin utilización de suelo, modificaciones por la utilización del suelo y silvicultura (USCUSS).



Fuente: Ministerio del ambiente (2014)

Las acciones de mitigación especificadas en el Acuerdo de Copenhague al cual Perú se adhirió, que debía ser implementado en 2021, fueron: i) deforestación cero; ii) disminución de las emanaciones de GEI relacionados con la eliminación y el tratamiento de residuos; y, iii) centrándose en un tercio de total de energía en la matriz energética procedente de fuentes renovables, aunque se amplió posteriormente al 40% (CMNUCC, 2010; Gobierno del Perú, 2015 como se citó en Vázquez Rowe et al. 2019, p 2).

Sin embargo, hasta la fecha, estas acciones parecen haber fracasado. Por ejemplo, la cantidad de energía baja en carbono en la matriz energética ha disminuido ligeramente a lo largo del siglo XXI a pesar de la entrada de energía eólica y solar en la red, el sistema de gestión de residuos sigue sin poder controlar emanaciones de GEI en la mayoría de los vertederos, y la superficie deforestada ha continuado a un ritmo relativamente constante de más de 150.000 ha/año en el periodo 2013-2016,1 aún lejos del objetivo de cero fijado para 2021 (Vázquez Rowe et al., 2015; MINEM, 2017 como se citó en (Vázquez-Rowe et al. 2019, p 2).

Todo lo anterior trae como consecuencias, el fenómeno del efecto invernadero, ya que el calor emitido por la radiación solar atrapado dentro de la atmósfera, el CO₂ aumenta la retención del calor en la misma ocasionando incremento en el calentamiento global. Otro efecto que origina las emisiones de CO₂, ocurre en el medio marino influyendo en el deshielo del permafrost y los grandes casquetes glaciares, incrementando la erosión y salinidad en las costas, asimismo la muerte de los corales, ocasionado por la absorción de CO₂ en el agua la cual forma ácido carbónico (H₂ CO₃), perjudicando estos ecosistemas (Sánchez 2019, párr. 6).

Por todas estas razones, es de vital importancia la búsqueda de alternativas de bajo costo para la absorción de dióxido de carbono del aire, para lo cual se propone el diseño de un sistema de biofiltración a base de microalgas, que permita mejorar la calidad del aire. La biofiltración constituye una alternativa amigable con el medio ambiente, debido a que estos sistemas están constituidos por microorganismos unicelulares que poseen como característica la capacidad de absorber CO₂ del aire y convertirlo en O₂ mediante el proceso de fotosíntesis (proceso conocido como biofijación) permitiendo así su eliminación, por lo cual es una alternativa sustentable para solucionar el problema de contaminación atmosférica causada por CO₂.

Pedraza y Prada (2018) realizaron un estudio denominado: “Evaluación de la biofijación de CO₂ y producción de biomasa a partir de las microalgas bajo condiciones de

fotobiorreactor escala laboratorio”, el cual tuvo como objetivo, evaluar la retención de CO₂ y obtención de cantidad de cepa mediante el uso de las microalgas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus dimorphus*, donde se comprobó cuál microalga exhibió una máxima biofijación en un ambiente de manipulación establecidos a través de una revisión de literatura adecuada y aplicando un fotobiorreactor de panel plano a nivel de laboratorio. Luego se realizó cuatro pruebas para evaluar cada microalga bajo diversos rangos de concentraciones de CO₂ (0-3%) y (6-9%) por un lapso de 8 días para cada una. Entre los hallazgos encontrados se observó que el desarrollo de las microalgas es inversamente proporcional al aumento de CO₂, es decir aumenta a concentraciones bajas de CO₂ (0-3%) obteniéndose crecimientos de $2,61 \times 10^6$ cel/mL para *Chlorella vulgaris* y $3,97 \times 10^6$ cel/mL para *Scenedesmus dimorphus*. Seguidamente se obtuvo que la microalga *Scenedesmus dimorphus* proporcionó una mayor biomasa seca a diferencia de la microalga *Chlorella vulgaris* independientemente de la concentración a la cual sea sometida. Para finalizar los resultados conseguidos revelan que la especie *Scenedesmus dimorphus* tuvo un mayor nivel de retención cuando fue sometida a concentraciones de (6-9%) CO₂, obteniendo una retención de 2,25 g/L*d de CO₂, caso contrario en la microalga *Chlorella vulgaris* la cual presentó un mayor nivel de biofijación a concentraciones de (0-3%) CO₂, obteniendo una biofijación de 1,65g/L*d.

Barajas y Sierra (2017) realizaron una investigación denominada “Evaluación de procesos necesarios para captación y/o almacenamiento de CO₂ como una medida de reducción al impacto ambiental”, el cual tuvo la finalidad de evaluar la conducta de la cepa en la remoción de CO₂. La metodología aplicada para esta investigación se basó en la variación de cantidades de sustento como el fósforo y/o el nitrógeno en concisiones preestablecidas empleando *Chorella vulgaris* UTEX 1803 aplicado en nueve ensayos, se aplicó un diseño experimental central no factorial 2³ mediante el software Statistics versión 7, que permitió determinar la cantidad óptima para una eficaz remoción de CO₂. Como resultado se obtuvo que la máxima producción de biomasa fue en el segundo ensayo, siendo igual a 2,54g/L; asimismo la captación máxima obtenida fue del ensayo número siete, el cual se determinó estequiométricamente relacionando el valor de la materia orgánica obtenida después de 30 a través de la calcinación, el flujo de CO₂ inyectado y el rendimiento del proceso de fotosíntesis, el cual arrojó un valor igual a 0.2 gCO₂/L*d-1, por lo cual para capturar 1 ton/día de carbono se requirieron 5000m³ de medio de cultivo; por otro lado, el nutriente que tuvo una influencia significativa en la producción de biomasa fue el nitrato de potasio

(KNO₃) sobre el fosfato ácido de potasio (K₂HPO₄) y el fosfato diácido de potasio (KH₂PO₄); en la optimización de los nutrientes para la producción mayor cantidad de biomasa, se obtuvo que los valores 35 ml de KNO₃/L (de medio de cultivo) y 20 ml de K₂HPO₄ y KH₂PO₄, esta combinación da la mayor producción de biomasa de estos ensayos, si se desea aumentar la producción se debe incrementar la concentración de KNO₃; en cuanto a la factibilidad económica, el precio de venta de la biomasa para un cultivo de 5000 m³ de cultivo sería igual a 4 088 739.00 € con una tasa de retorno de 1.5 años.

Velasco (2016) efectuó un estudio denominado: “Evaluación de la captura de CO₂ mediante biofiltros con la utilización de microalgas”, teniendo como objetivo general, elaborar un sistema para captar el CO₂ a nivel de laboratorio por medio de un biofiltrante con el uso de cianobacterias, además de valorar el impacto de la obtención de masa de esta especie. La metodología empleada consistió en evaluar el desarrollo de seis diversas especies de la “colección de microalgas para investigación del Ecuador”, eligiéndose 2 que presentaron mayor crecimiento: CMIE-H2-001 y CMIE-H4-002; con los mismos se diseñó reactores fotobiológicos en el laboratorio, evaluando a 5%, 10% y 15% de concentración de CO₂ en condiciones ambientales para fijar la cantidad recomendable que produzca la mayor masa de especie, las condiciones de crecimiento empleada fue agua de la reserva natural de Cumbayá, empleándose como tiempo de retención para cada ensayo de 10 días. Entre los hallazgos encontrados se tienen que la concentración óptima de CO₂ fue de 10% para el desarrollo de la masa de la cepa y la disminución de contaminantes en el medio, se generó una cuantía de microalgas entre 30,5-33,4% en comparación con las otras concentraciones de CO₂; la remoción de contaminante expresada en DBO₅ fue de 59,5%, expresada en DQO fue de 56,7%, mientras que la remoción de sales inorgánicas fue de 52,37% de nitrato, 67,2% de sulfato y 52% de orto-fosfatos.

Morales (2017) efectuó un estudio titulado “Estudio del potencial de fotobiorreactores tubulares para la captura de CO₂ de gases de combustión y conversión de biogás a biometano”, el cual tuvo como propósito ilustrar la minimización de CO₂ existente en biogás y en gases de combustión para lograr la depuración de estos a través de procesos de cianobacterias de reducidos costos y sostenible ambientalmente. Para lo cual se empleó un sistema combinado de algas y bacterias para la minimización de CO₂ y H₂S del producto, a medida que una agrupación de algas fue utilizada para tratar los gases de combustión. Como resultado se observó que el sistema alcanzó una eficacia de eliminación superior al

99%, reflejando un valor mayor a reactores abiertos, también se logró confirmar que es viable el uso de centrado como nutriente.

Sandoval y Rubio (2018) elaboraron una investigación denominada “Uso potencial de microalgas para mitigar los efectos de las emisiones de dióxido de carbono”, el cual tuvo como objetivo resaltar el uso potencial de las microalgas para minimizar las emanaciones de CO₂. La técnica aplicada fue la revisión de proceso de fijación de CO₂ por medio de microalgas, presentando varios resultados a nivel laboratorio, planta piloto y escala industrial. Se analizaron algunas variables que impactan en el proceso y se compararon los resultados de diversas cepas de microalgas, con los obtenidos por otras de orden mayor y por otras técnicas. Como resultado se obtuvo que de las diversas cepas empleadas, la que mejor tuvo resultados ha sido *Scenedesmus obliquus*, que soportó hasta un 10% de CO₂ y alcanzó remover 0.55 g L⁻¹ d⁻¹, cuando se comparó esta técnica de remoción con otras (carbón activado de hueso de aceituna, nano partículas meso porosas de óxido de magnesio, entre otras) se observó que en la investigación hecha por Fulke Krishnamurthi, Giripunje, Saravana y Chakrabarti que emplearon microalgas, el mayor nivel de remoción fue 1.8 g/g por un día de proceso, siendo superior que a 5.6 mmol /g = 0,246 g/g adsorbente obtenido por otro grupo de investigadores que utilizaron carbón activado de hueso de aceitunas y al grupo que empleó las nano partículas meso porosas de óxido de magnesio, el cual obtuvieron un valor de 1.34 mmol / g = 0.059 g/g adsorbente. Esto lleva a considerar que, al controlar correctamente variables como concentración inicial del gas, la iluminación y la temperatura, el uso de las microalgas es altamente efectivo al capturar y remover el CO₂.

Fernández (2010) elaboró una investigación sobre la “Evaluación de los costes de construcción y operación de un biofiltro”, para la captación de gases contaminantes presentes en la atmósfera. Esta investigación tuvo como finalidad generar el uso de microorganismos para depurar los gases industriales o urbanos y ahorrarse de esta manera otros sistemas de tratamiento que requieren mucho aporte de energía y sustancias que tratan los contaminantes. La metodología utilizada consistió en el uso de un biofiltro el cual primeramente se pre trató el gas humidificándolo para mejorar la formación de la biopelícula. De esta manera los contaminantes podrían ser absorbidos en la biopelícula para que los microorganismos puedan degradarlos, y, a la vez, optimiza las condiciones de humedad que necesitan las cepas. Seguidamente se impulsa en sentido ascensional el gas

humidificado hacia el biofiltro. Parte de la biopelícula formada cae por la zona inferior del biofiltro y constituye el drenaje, finalmente sale por la parte superior el gas depurado.

González, Acién, Fernández y Molina (2011) realizaron una investigación denominada “Uso de microalgas como alternativa a las tecnologías disponibles de mitigación de emisiones antropogénicas de CO₂”. La cual tiene como objetivo reducir las emisiones de CO₂ y darle un valor económico con la producción de biodiesel, bioetanol o biogás, para ello se utiliza la fijación fotosintética de CO₂ con microalgas. La metodología empleada explica que los gases de combustión primero pasan por una etapa de captura, donde el CO₂ es absorbido en una fase acuosa con bicarbonato, utilizando un contactor de columna de burbujeo, permitiendo incrementar la concentración de carbono inorgánico, dicho efluente es administrado en un fotobiorreactor, en donde los microorganismos fotosintéticos transforman el carbono inorgánico en materia orgánica. Se concluye con una etapa de separación, de la cual se obtiene por un lado la materia orgánica y, por otro, un sobrenadante que será recirculado a la etapa de captura de CO₂. La materia orgánica generada podrá ser procesada para su conversión en biocombustibles, tales como el bioetanol, el biodiesel.

Da Costa, Santos, Campos, Porto da Silva y Juliano realizaron una investigación científica titulada “Tecnología enzimática para la captura de CO₂: cultivo de microalgas para anhidrasa carbónica”, teniendo como principal objetivo la utilización de anhidrasa carbónica la cual ha sido ampliamente estudiados ya que esta enzima está ampliamente distribuida en la naturaleza y microalgas. Para la presente investigación se utilizó marina *Dunaliella tertiolecta* y su aplicación en la captura enzimática de CO₂. La metodología utilizada fue el uso de un biorreactor donde se cultivó microalgas a 25 ° C y durante 12 h. Como resultado se obtuvo un extracto enzimático con una actividad del orden de 67 U / mg de biomasa y disminuyó considerablemente el porcentaje de CO₂.

Martínez (2012), en la tesis para optar al grado de Doctor en la Universidad de León de España, tuvo como finalidad en su investigación denominada “Eliminación de CO₂ con microalgas autóctonas” la utilización de la cianobacteria unicelular, identificada como *Synechocystis* sp la cual fue cultivada en un fotobiorreactor para captar CO₂ de los gases contaminantes presentes en el ambiente y su posterior formación de biomasa. La metodología utilizada fue el uso fotobiorreactor realizando de este modo la biofijación de CO₂ procedente de estos gases de escape, inyectándolos directamente en un cultivo de microalgas. Se llegó a la conclusión que la fijación de CO₂ aumenta con la velocidad

superficial del gas hasta un valor de 0,0066 m/s, correspondiente a un flujo de 3 l/min. A mayores velocidades del gas y turbulencias, la fijación de CO₂ no mejora sensiblemente. En cuanto al modo de cultivo, la fijación de CO₂ es mejor en cultivos discontinuos. En cambio, en los cultivos llevados a cabo en el presente estudio, en cualquier modo que implique el intercambio de medio de cultivo, la fijación de CO₂ es menor y las células se agregan formando bioflóculos, capaces de precipitar la mayor parte de la biomasa.

Severo, Depra, Leila, Zepka y Jacob-Lopes (2019), elaboraron una investigación científica denominada “Carbon dioxide capture and use by microalgae in photobioreactors” donde se presentaba como objetivo principal disminuir la cantidad de CO₂ con ayuda de microalgas, las cuales en su proceso de fotosíntesis capturan CO₂. Para dicho objetivo se planteó el uso de fotobiorreactores para realizar el cultivo de las microalgas. En la investigación se detallaron dos tipos de fotobiorreactores, el de sistema abierto y el de sistema cerrado, de esta forma se determinó el que conviene económicamente y el de mayor eficiencia. Resultó ser más eficiente los fotobiorreactores de sistemas cerrados, dentro de los cuales los más usados son; fotobiorreactores tubulares, placas planas, columnas de burbujas, puente aéreo, bolsas grandes, biopelículas y fotobiorreactores híbridos.

Honda, Jarungwit, Chiemchaisri y Yamamoto (2012), elaboraron una investigación científica, titulada “Carbon dioxide capture and nutrients removal utilizing treated sewage by concentrated microalgae cultivation in a membrane photobioreactor” en el cual se pretende desarrollar un proceso de cultivo de microalgas altamente eficiente para la captura de dióxido de carbono utilizando nutrientes de las aguas residuales tratadas. Para ello se utilizó 03 especies de microalgas, *Chlorella vulgaris*, *Braunii Botryococcus* y *Spirulina platensis*. El proceso consistió en cultivar estas especies de forma continua con aguas residuales tratadas. Se exploraron el tiempo óptimo de retención hidráulica (HRT) y el tiempo de retención de sólidos (SRT) para lograr el CO₂ máximo tasa de captura, tasa de eliminación de nutrientes y productividad de biomasa de microalgas. El resultado generado por tasa de captura de dióxido de carbono y la productividad volumétrica de microalgas fueron altas cuando el reactor funcionó en condiciones de 1 día (HRT) y 18 días (SRT).

Pires, Alvim, Martins y Simões (2012), en el artículo de investigación titulado “Carbon dioxide capture from flue gases using microalgae: Engineering aspects and biorefinery concept” en el cual explica que la captura biológica de CO₂ utilizando microalgas es una tecnología prometedora, ya que es sostenible con el medio ambiente, económicamente accesible, genera biomasa y solamente utiliza energía solar mejor que las plantas terrestres.

Se evaluaron dos tipos de biorreactores; el de sistema abierto y el cerrado, de los cuales el que tendría mayor eficiencia es el de sistema cerrado. También se determinó los productos económicamente valorados obtenidos por la biomasa como; alimentos para humanos, alimentos para animales principalmente para acuicultura, cosméticos, medicamentos, fertilizantes, biomoléculas para aplicaciones específicas y biocombustibles.

Choia, Patela, Honga, Chang y Sima en el artículo de investigación titulado “Microalgae Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS): An emerging sustainable bioprocess for reduced CO₂ emission and biofuel production”, ellos sostienen que las microalgas mitigan el carbono y producen bioenergía. El desarrollo en el cultivo de microalgas y la conversión de bioenergía permiten la reducción efectiva de CO₂ y el desarrollo sostenible de energía simultáneamente, y esta revisión actualizará el progreso en el cultivo de microalgas, conversión de biomasa a tecnología de biocombustibles que se puede utilizar con la tecnología BECCS.

Lin, Lai, Sung, Tan, Chang, Cheng y Ng elaboraron una investigación denominada “Enhancing carbon capture and lipid accumulation by genetic carbonic anhydrase in microalgae” en el cual explica que las microalgas cumplen un rol importante en la captura de CO₂ mediante la captura y almacenamiento de carbono. Se tomaron muestras de *Chlorella sorokiniana* (CS) y *Chlorella vulgaris* (CV). La anhidrasa carbónica (CA) es una enzima antigua que existe en la mayoría de los organismos y cataliza la inter conversión de CO₂ y bicarbonato (HCO₃⁻). Por lo tanto, la sobreexpresión de CA en microalgas podría ser una forma potencial de capturar el exceso de CO₂ de manera efectiva. En este estudio, un gen MICA exógeno (es decir, 678 pb) que se ha informado con la mayor actividad catalítica se sobre expresó con éxito en *Chlorella sorokiniana* (CS) y *Chlorella vulgaris* (CV), respectivamente. Las algas modificadas genéticamente que albergan CA exógena se cultivaron en un fotorreactor de dos capas (TPR) especialmente diseñado para su validación. Las algas transgénicas con MICA habían mejorado la producción de biomasa, el contenido de proteínas y la acumulación de lípidos. Finalmente, los transformantes obtuvieron una mayor cantidad de lípidos de hasta 1.1 g / L, que fue 2.2 veces mayor que la de tipos salvajes, así como acelerar la captura de carbono y la fijación.

Nordlander, Olsson, Thorin y Nehrenheim (2017), en el artículo de investigación titulado “Simulation of energy balance and carbon dioxide emission for microalgae introduction in wastewater treatment plants” donde se describe un estudio de caso en el que el proceso de lodo activado se reemplaza con un proceso de lodo activado por microalgas. Los efectos

sobre el consumo de calor y electricidad y las emisiones de dióxido de carbono se evaluaron en un modelo del sistema, basado en los balances de masa y energía del tratamiento biológico y los pasos del proceso de manejo de lodos. Los datos para su uso en el modelo se obtuvieron de tres plantas de tratamiento de aguas residuales en Suecia. La evaluación demostró que la introducción de microalgas podría reducir el consumo de electricidad y calor, así como las emisiones de CO₂, pero requeriría grandes áreas de tierra. El estudio concluye que un aumento de 12 veces en el área de la superficie de la cuenca daría lugar a reducciones del 26 al 35% en el consumo de electricidad, del 7 al 32% en el consumo de calor y del 22 al 54% en las emisiones de dióxido de carbono. Este proceso puede ser adecuado para plantas de tratamiento de aguas residuales en países nórdicos, donde hay una mayor carga orgánica en verano que en otras épocas del año. Durante el período de verano (mayo a agosto) el consumo de electricidad se redujo en un 50-68%, el consumo de calor se redujo en un 13-63% y las emisiones de dióxido de carbono se redujeron en un 43-103%.

Verma y Srivastava (2018), en el artículo titulado “Carbon dioxide sequestration and its enhanced utilization by photoautotroph microalgae” tuvo como objetivo explicar métodos para capturar CO₂ determinando la eficacia del uso de microalgas. Amalgama los posibles tipos de microalgas, su cultivo, condiciones para la acumulación de lípidos y biomasa a expensas del CO₂ capturado del aire cuando se cultiva en sistemas cerrados. En la convención, los sistemas cerrados son fotobiorreactores. Diseño de fotobiorreactor características tales como agitación, aireación e iluminación, deberían ser ideales para el crecimiento de microalgas utilizando sustrato de CO₂ de forma económica. Las características de diseño adecuadas del biorreactor se destacan para cultivo de microalgas de densidad celular en fotobiorreactor. Algunas configuraciones exitosas son también revisadas críticamente y resaltado para un alto secuestro de CO₂ que produce biomasa mejorada y lípidos. El fotobiorreactor de tanque agitado, cuando crece la cepa potencial de microalgas, se concluye como la mejor configuración para lograr la mayor tasa de captura de CO₂ y, por lo tanto, una alta densidad celular biomasa con biosíntesis de lípidos.

Sepulveda, Gómez, Bahraouic y Acién (2019), en este artículo de investigación titulado “Comparative evaluation of microalgae strains for CO₂ capture purposes” tuvo como objetivo comparar once cepas de microalgas y cianobacterias utilizadas para el desarrollo de un proceso de captura de CO₂, en primer lugar, estudiamos la tolerancia de las cepas seleccionadas a la calidad del agua disponible en el sitio de producción. Los resultados

confirmaron que no había toxinas presentes en el agua utilizada; Además, se confirmó que los fertilizantes podrían utilizarse como fuente de nutrientes en lugar de productos químicos puros. En segundo lugar, las cepas fueron evaluadas en términos de tasa de crecimiento, productividad de biomasa y eficiencia fotosintética concluyendo que *Scenedesmus almeriensis*, *Neochloris oleoabundans* y la floración del río Sena fueron los más productivos, por encima de $1,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Día}^{-1}$. En tercer lugar, se determinó la composición bioquímica de la biomasa con los resultados. mostrando que la mayoría de las cepas acumulan principalmente carbohidratos en la fase estacionaria, más del 60% en peso; las excepciones fueron *Neochloris oleoabundans* y *Chlorella vulgaris*, que acumulan lípidos, superiores al 20% en peso. En este caso, el rendimiento de las cepas de microalgas fue mejor que el de las cianobacterias, tanto en términos de biomasa productividad y la composición bioquímica; en consecuencia, se recomienda el uso de este tipo de microorganismos. Al considerar un valor fijo para los principales componentes de biomasa, se concluyó que las cepas más prometedoras fueron *Scenedesmus almeriensis*, *Neochloris oleoabundans* y florecen del río Sena, produciendo un valor de la biomasa superior a $0,6 \text{ €} \cdot \text{kg}^{-1}$ y un valor económico superior a $0,7 \text{ €} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{día}^{-1}$. Estas cifras confirman que, para obtener procesos rentables de captura de CO_2 y desarrollar sistemas de producción más eficientes que reduzcan costos de producción actuales, se requiere el acoplamiento con esquemas de tratamiento de aguas residuales.

Durán, Rubiera, Pevida (2018), en el artículo científico titulado “Microalga: Potential precursors of CO_2 adsorbents”, tuvo como objetivo identificar a las microalgas como organismos de crecimiento más rápidas y eficiencias fotosintéticas más altas que otras plantas terrestres, la biomasa de microalgas podría considerarse como una fuente de carbono alternativa verde y de bajo costo. Este artículo explora el uso potencial de diversas especies de microalgas como precursores de carbón activado. *Chlorella* y *Spirulina* fueron evaluadas como microalgas liofilizadas y en forma de pasta fresca, mientras que *Acutodesmus Obliquus* y *Coelastrella* sp. fueron estudiados solo como pasta. Los carbonos activados se produjeron utilizando las especies seleccionadas de microalgas, así como mezclas de aserrín de pino y microalgas. Se compararon dos rutas de preparación diferentes: con y sin carbonización hidrotérmica pretratamiento antes de la activación física con CO_2 en un solo paso. Todas las muestras se conformaron en gránulos antes a la activación de CO_2 . La capacidad de adsorción de CO_2 de los carbonos derivados de microalgas se evaluó en condiciones representativas de un gas de combustión (10.5% vol.

CO₂ a presión atmosférica y 50 ° C). Diferencias significativas en términos de adsorción de CO₂ capacidad, rendimiento de carbono y densidad de pellets se obtuvieron entre las especies estudiadas. Estos resultados preliminares mostraron que los carbonos activados producidos a partir de microalgas mezcladas con aserrín de pino y directamente activadas con el CO₂, encontrándose entre los adsorbentes más prometedores para capturar CO₂ del gas de combustión.

Rucoba (2018) elaboró un trabajo denominado “Eficiencia en la captura de carbono atmosférico a partir de cuatro géneros de algas fotosintéticas en el distrito de Moyobamba-2015”, el cual tuvo como propósito el estudio de las algas como absorbente de carbono, por medio de la implementación de fotobiorreactores abiertos para simular la interacción de los gases atmosféricos. La metodología aplicada se llevó a cabo mediante la inoculación de cada especie de alga, luego se pesó cinco gramos de biomasa y fue empacada en un fotobiorreactor para su reproducción. Las algas seleccionadas fueron nativas para prevenir fallos en el estudio. Como resultado se obtuvo que pH de los cuatro grupos biomasa fue alcalino con una tendencia gradual hasta la tercera semana alcanzando a un valor máximo en la cepa *Scenedesmus spp* de 9,33 que a la semana siguiente se neutralizó por acción de la propia biomasa. La concentración más elevada de carbono se obtuvo con la cepa *Scenedesmus spp* igual a 7,07% y con *Closterium spp* con un valor de 5,85%. En la biomasa seca obtenida la cepa *Cosmarium spp* se logró un valor máximo de 28.488 gramos seguido del género *Spirogyra spp* con 17,322 gramos, la cantidad mayor de carbono absorbido fue por la cepa *Scenedesmus spp* con 0,001604 Kg seguido de *Cosmarium spp* con 0,001603Kg. De las cuatro cepas evaluadas solo dos, *Scenedesmus spp* y *Cosmrium spp* siendo las más eficientes en la captación de carbono.

Jerí (2018) ejecutó una investigación denominado “Efecto de la concentración de dióxido de carbono y agitación del cultivo sobre la fijación de carbono por la microalga *Phaeodactylum tricornutum*, 2018.” Teniendo como propósito, valorar la influencia del CO₂ a diversas variaciones de concentración y perturbación de las condiciones de siembra sobre la absorción de C por la especie *Phaeodactylum tricornutum*. Los métodos empleados para la microalga *Phaeodactylum tricornutum* fue el suministro de CO₂ a distintas cantidades 8%, 25% y 50% volumen/volumen, con perturbación continua de 6 horas por día en un lapso de siete días. El volumen del medio de cultivo fue de 475 ml en un contenedor cerrado al aire. Se analizó el gráfico de evolución de la microalga, a distintas concentraciones de CO₂ y los efectos de la agitación sobre la fijación del carbono.

Los resultados obtenidos para la cepa *Phaeodactylum tricornutum* fue un incremento de su masa a los diversos valores de CO₂ y perturbación sometida, pero, se pudo evidenciar una disminución a igual cantidad de CO₂ en el momento donde no se perturbó constantemente. La concentración de microorganismo máxima conseguida con la biomasa término siendo de 1.67×10^6 cel/ml ha con una cantidad del 25% de CO₂ suministrado con perturbación sometida al mismo tiempo.

Ampuero (2018) realizó una tesis denominada “Estimación del carbono almacenado en la comunidad del Junco (*Schoenoplectus americanus*) bajo dos escenarios de crecimiento en el humedal costero refugio de vida silvestre pantanos de villa (Lima-Perú).” El cual tuvo como finalidad, apreciar la cantidad de C depositado en la colectividad del Junco (*Schoenoplectus americanus*) en dos contextos de desarrollo en el humedal costero RVS Los Pantanos de Villa. El método se basó en un tipo descriptivo comparativo, cuantitativo y transversal, se valoraron juncales empleando una recolección de muestra aleatoria estratificada ubicando zonas de 1m²; en cada zona se demarcaron los repositorios de C en cuatro secciones: a) vegetal, que abarcó los vástagos; b) maleza/necromasa, que abarcaban los vástagos secos; c) raíces, que abarcaban las raíces y rizomas y d) suelo; estos dos últimos repositorios fueron muestreados cada 10 cm hasta 30 cm de profundidad. En cada repositorio se valoró la cantidad de C mediante la determinación de la biomasa por unidad de área y de la medida del porcentaje de C por la técnica Dumas empleando un equipo instrumental. Los hallazgos evidencian que el área de desarrollo nativo de las divisiones vegetales y maleza/necromasa acumulan 331,25 gC/m² y 4991,70 gC/m² correspondiente, asimismo las divisiones raíces y suelo acumulan entre ambos 25213,84 gC/m². Para el área afectada por el fuego, el área exclusiva por arriba de la superficie atañe al de hierbas en el que se acumularon 188,63 gC/m²; para el compartimento de raíces y el suelo, la acumulación corresponde a 15363,27 gC/m². En ambos hábitats en el suelo se acumula en los primeros 10 centímetros al nivel más alto (decreciendo hasta alcanzar profundidad de 30 cm). Con base en estos resultados, la acumulación de C de esta especie en el área de desarrollo nativo se estima en 9725,97 t C para la Reserva Natural de los Pantanos de Villa, que tiene una superficie de 31,85 ha de caña, lo que significa que su tolerancia de absorción de CO₂ es equivalente a 35694,30 t de CO₂.

Aparcana y Olivera (2018), realizaron una investigación denominada “Eficiencia del Carbón Activado a base de Pepas de Níspero de Palo (*Mespilus communi*) en la remoción del Dióxido de Carbono (CO₂) para mejorar la Calidad del Aire, 2018” teniendo como

propósito determinar la eficiencia del carbón activado a base de huesos de níspero de tronco (*Mespilus communi*) en la remoción del CO₂ para mejorar la propiedad del aire.

esta investigación consta de dos etapas; la primera se basó en la elaboración del carbón activado empleando como precursor los huesos de Níspero de tronco (*Mespilus communi*), para su obtención se ejecutó por el método: elaboración del precursor, lavado, pre-secado, activación química, impregnación, lavado y el secado. Luego se analizó sus propiedades fisicoquímicas tales como el pH, humedad, tamaño de partícula, contenido de cenizas y su porosidad. Posteriormente en la segunda fase utilizaron el carbón activado elaborado con pepas de níspero de palo (*Mespilus communi*) en un modelo para la remoción del CO₂ que se generó por intermedio de un balón recargado con el mismo gas. Este gas ingresa por el primer orificio a un fluido de 250 ml/min lo cual hizo contacto con el carbón activado efectuando así el proceso de adsorción, luego de dicho proceso se analizó el gas con el equipo detector multigas (Multi RAE LITE). Se anotó datos de las concentraciones por minuto, considerando como el tiempo máximo 10 minutos. De los resultados de la caracterización fisicoquímica del carbón activado se obtuvo, un pH de 3.5, humedad de 1.8%, tamaño de partícula de 8 mm, contenido de cenizas totales de 1.7% y una porosidad del 82%. Mientras que el análisis del gas, se determinó que en el tiempo máximo de 10 minutos el carbón activado a base de pepas de níspero de palo (*Mespiluscommuni*) obtuvo una eficiencia del 39 % en la remoción del CO₂.

Durán, Rubiera y Pevida (2018), en el artículo titulado “Microalgae: Potential precursors of CO₂ adsorbents”, teniendo como objetivo disminuir las cantidades de CO₂ en el aire con la utilización de varias especies de microalgas como precursores de carbón activado. Los carbonos activados se produjeron utilizando las especies seleccionadas de microalgas, así como mezclas de aserrín de pino y microalgas. Se realizó una comparación de diferentes preparaciones una con pretratamiento de carbonización hidrotermal y otra sin este pretratamiento antes de la activación física con CO₂ en un solo paso. En conclusión, a los dos tipos de microalgas liofilizadas evaluadas, Chlorella y Spirulina, su capacidad de absorción de CO₂ fue 1,49% en peso, respectivamente. En cuanto a las pastas de microalgas evaluadas, solo Acutodesmus obliquus presentó una capacidad de adsorción de 1,28% en peso. Las mezclas de aserrín de microalgas y pino mostraron un aumento en las capacidades de adsorción de CO₂, incluso más de lo esperado de acuerdo con regla aditiva. Moreira y Pires (2016), en el artículo titulado “Atmospheric CO₂ capture by algae: Negative carbon dioxide emission path”, como objetivo el evaluar la captura de CO₂

atmosférico por los cultivos de algas. Las tecnologías que eliminan el CO₂ de la atmósfera se denominan tecnologías de emisión negativa. La bioenergía con captura y almacenamiento de carbono puede desempeñar un papel importante para la mitigación de CO₂. Este estudio presenta las oportunidades para usar cultivos de microalgas como tecnologías de emisión negativa. Las microalgas tienen un alto potencial como fuente de biomasa, ya que presentan altas eficiencias fotosintéticas y altos rendimientos de biomasa. Durán, Rubiera y Pevida (2018), en el artículo titulado “Microalgae: Potential precursors of CO₂ adsorbents”, teniendo como objetivo disminuir las cantidades de CO₂ en el aire con la utilización de varias especies de microalgas como precursores de carbón activado. Los carbonos activados se produjeron utilizando las especies seleccionadas de microalgas, así como mezclas de aserrín de pino y microalgas. Se realizó una comparación de diferentes preparaciones una con pretratamiento de carbonización hidrotermal y otra sin este pretratamiento antes de la activación física con CO₂ en un solo paso. En conclusión, los dos tipos de microalgas liofilizadas evaluadas, *Chlorella* y *Spirulina*, su capacidad de absorción de CO₂ fue 1,49% en peso, respectivamente. En cuanto a las pastas de microalgas evaluadas, solo *Acutodesmus obliquus* presentó una capacidad de adsorción de 1,28% en peso. Las mezclas de aserrín de microalgas y pino mostraron un aumento en las capacidades de adsorción de CO₂, incluso más de lo esperado de acuerdo con regla aditiva. Moreira y Pires (2016), en el artículo titulado “Atmospheric CO₂ capture by algae: Negative carbon dioxide emission path”, como objetivo el evaluar la captura de CO₂ atmosférico por los cultivos de algas. Las tecnologías que eliminan el CO₂ de la atmósfera se denominan tecnologías de emisión negativa. La bioenergía con captura y almacenamiento de carbono puede desempeñar un papel importante para la mitigación de CO₂. Este estudio presenta las oportunidades para usar cultivos de microalgas como tecnologías de emisión negativa. Las microalgas tienen un alto potencial como fuente de biomasa, ya que presentan altas eficiencias fotosintéticas y altos rendimientos de biomasa. Varshney, Beardall, Bhattacharya y Wangikar (2018), realizaron un artículo de investigación titulado “Isolation and biochemical characterisation of two thermophilic green algal species *Asterarcys quadricellulare* and *Chlorella sorokiniana*, which are tolerant to high levels of carbon dioxide and nitric oxide” el cual tiene como objetivo la captura el CO₂ y NO, los cuales son gases de efecto invernadero. Para ello se estudió dos tipos de microalgas termófilas *Asterarcys quadricellulare* y *Chlorella sorokiniana*, estas microalgas tienen la capacidad de crecer rápidamente y adaptarse a condiciones establecidas fijamente.

Las cepas utilizadas presentaron tasas de crecimiento específicas de hasta 0.06 que condujeron a una acumulación mejorada de lípidos de 44% a 46% de biomasa seca. Como resultado a la comparación de las dos cepas estudiadas, se concluyó que *Asterarcys quadricellulare* tiene mayor capacidad de captación de CO₂ que *Chlorella sorokiniana* y mayor rapidez de crecimiento de biomasa.

Porras y González (2014), en la investigación titulada “Evaluación de los efectos en la biomasa de la microalga *Chlamydomonas reinhardtii* en la captura de CO₂ proveniente del proceso de producción de hidrocarburos”, este artículo tiene como objetivo reducir cantidades de CO₂ presentes en el ambiente con la ayuda de biomasa de microalgas *Chlamydomona reinhardtii*. Para la investigación se realizaron dos tipos de métodos, el primero consistía en aplicar bajas cantidades de CO₂ cada 24 horas y con ausencia de nutrientes, el segundo consistía en colocar CO₂ tres veces al día en concentraciones grandes. Concluyendo que mientras más cantidades de CO₂ se aplican en los cultivos de microalgas, mayor es el crecimiento de ella y disminuyendo de esa forma sus tasas tóxicas.

Alves (2011), elaboró una tesis titulada “Estudio del uso de microalgas y cianobacterias para la captura de dióxido de carbono y la producción de materias primas de interés industrial”, para optar por el título profesional de Doctor en Ingeniería Química de la universidad de Sao Paulo. Esta investigación tuvo como objetivo establecer el uso comercial de microalgas y cianobacterias para la producción de biocombustibles y materias primas de interés económico y captura de CO₂. La metodología es basada en un análisis de un modelo matemático para el crecimiento de las microalgas y las cianobacterias, el cultivo se realiza utilizando fotobiorreactores o tanques abiertos debido a su alta productividad y a su potencial fijación de CO₂. También se pretendió usar esa metodología para un análisis de sensibilidad para las principales variables del proceso y para evaluar el impacto. El modelo estudiado tuvo como resultado la biomasa obtenida se utiliza la biomasa como energía renovable y está biomasa presentó gran capacidad de captación de CO₂.

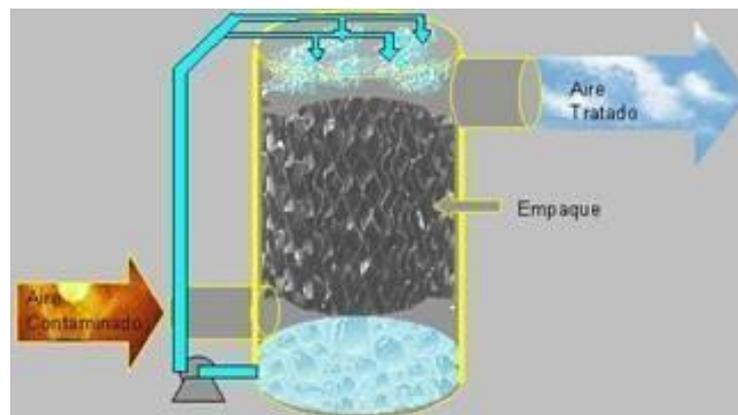
Los biofiltros son tecnologías que absorben o degradan los contaminantes en una o varias etapas, siendo este un proceso físico químico. “La presencia de los contaminantes y del líquido nutritivo lleva al crecimiento de microorganismos” (Thalasso y Olmedo, 2002, p.02)

En los inicios los biofiltros solo eran utilizados para eliminar olores desagradables y se encontraban en plantas de tratamiento de aguas residuales, en lugares de compostaje y en la industria alimentaria; de manera continua, con los avances de investigaciones, los biofiltros

fueron utilizados para tratar más contaminante. “Actualmente la lista de compuestos tratados con éxito por biofiltros incluye casi 200 compuestos diferentes, tanto minerales como orgánicos, alifáticos como aromáticos, halogenados o no”. (Thalasso y Olmedo, 2002, p.02)

En el transcurso del proceso de un sistema de biofiltro (ver ilustración 2), la masa de aire fluye por medio de los poros con dimensiones macro del material filtrante. La degradación de las sustancias sucede posteriormente al paso de flujo de aire al líquido, donde se utiliza como proveedor de C y energía. Su uso incluye la generación de masa de microorganismos y la oxidación parcial o total de la sustancia contaminante. De tal forma, estos procesos conducen a la degradación total de las sustancias contaminantes (Instituto Nacional de la Ecología y Cambio Climático, 2007).

Ilustración 2. Esquema del sistema de biofiltración.



Fuente: (Instituto Nacional de la Ecología y Cambio Climático, 2007)

Existen diversos modelos de biofiltradores, estos pueden ser de laguna o tanque, los cuales son abiertos a la atmósfera, o por el contrario puede ser panel plano vertical, tubular horizontal, tubular vertical, columna vertical, entre otros, siendo estos del tipo cerrado.

En la presente investigación se utilizará dos diseños de biofiltros, los cuales estarán basados en condiciones óptimas para un buen proceso de reproducción de microalgas, la cual tendrá como finalidad producir biomasa y capturar CO₂ de la atmósfera. Las microalgas se consideran un agregado irregular de organismos de tamaño micro, capaces de realizar procesos de fotosíntesis procariotas (cianobacterias) y eucariotas, que se localizan en diferentes ambientes (aguas marinas, dulces, salobres, residuales o en el suelo) en condiciones variables de físicas y químicas. Poseen particularidades análogas a las algas

típicas con un tamaño menor a 1 mm (Morales, 2017, p. 34). Las microalgas son las responsables de la generación de la mitad de oxígeno, de la remoción de CO₂ y de la absorción del 50% del C en el planeta (Gary et al., 2009 como se citó en Morales, 2017, p. 35).

Las microalgas han provocado un gran interés motivado a que son capaces de realizar procesos de fotosíntesis que se diferencia por su desarrollo veloz, sus células se reproducen en un lapso de tiempo de 1 a 10 días, algunas son capaces de metabolizar el CO₂ y producir lípidos que representan un valor mayor del 50% en peso de materia seca en algunos casos, estas también poseen la ventaja para el empleo de poco espacio para su cultivo. Por su perfil fototrófico, están consideradas como una alternativa viable para la eliminación de las emanaciones de CO₂, debido a que son los mayores removedores de gas en la tierra y efectuando este proceso en condiciones ambientales normales y a un bajo costo (Morales, 2017, p. 35).

Son importantes gracias a su capacidad para producir grandes cantidades de materia orgánica y además por modificar el color, turbidez, pH, alcalinidad, radioactividad del agua donde se encuentran. (Sheath Robert, Wehr John, 2003).

Para Pedraza y Prada (2018, p. 26) el metabolismo de la microalga que permita el mayor crecimiento de la especie, tomándose en cuenta la fuente de energía e intensidad lumínica tiene un gran peso para el momento de la selección de la especie con la que se desea trabajar. Existen cinco tipos de metabolismos, los cuales se explican a continuación:

Mixotrófico: Las especies mixotróficas tienen la capacidad de reproducirse en condiciones tanto autótrofos como heterótrofos, de forma que el suministro de energía puede ser la luz o la materia viva, consiguiendo el C de sustancias orgánicas y del CO₂ (Alcántara, Fernández, García, y Muñoz, 2015, como se citó en Pedraza y Prada, 2018, p. 27).

Fotoheterótrofo: Las microalgas fotoheterótrofas, son dependiente de otros organismos para obtener su fuente de carbono, además depende de la luz para su crecimiento (Morales, Martínez, Kyndt, Martínez, 2015, como se citó en Pedraza y Prada, 2018, p. 27)

Heterótrofa: Las especies heterótrofas como las fotoheterótrofas requiere fuente de sustancias orgánicas de otros organismos, pero estas no necesitan la energía de la luz para su crecimiento, como por ejemplo *Chlorella protothecoides* (Pérez, De-Bashan, Hernández y Bashan, 2010, como se citó en Pedraza y Prada, 2018, p. 27).

Autótrofo: De acuerdo a los autores citados anteriormente, los microorganismos autótrofos utilizan como proveedor de C, al CO₂ atmosférico o en gases de emitidos, de la misma

manera puede emplear carbonatos, ya que posee la enzima anhidrasa carbónica. Estas tienen una tolerancia hasta unas 150000 ppmv de CO₂ en el aire, pero existen microalgas como la *Chlorella*, que tienen una capacidad muy superior logrando alcanzar niveles de tolerancia hasta los 400000 ppmv de CO₂.

Fotoautótrofo: Las microalgas fotoautótrofas requieren una fuente inorgánica para conseguir el carbono, siendo las primordiales fuentes para el cultivo de las microalgas el CO₂ en estado gaseoso y el bicarbonato. Por lo cual resulta energéticamente económico el empleo CO₂, debido a que la fijación por la célula ocurre por difusión mientras que el bicarbonato lo hace por transporte activo (Cobelas y Gallardo, 1989, como se citó en Pedraza y Prada, 2018, p.28).

En la naturaleza existen tres tipos de microalgas, las termófilas, mesófilas y psicrófilas, para la investigación realizada en esta tesis se utilizó dos tipos, las microalgas termófilas y las microalgas mesófilas. Las microalgas termófilas son microorganismos que habitan en ambientes que tienen condiciones extremas, consideradas hostiles para el desarrollo de la conservación de los seres vivos. Estos se catalogan de acuerdo a la condiciones del medio donde se encuentran: las especies termófilas (estas se desarrollan a temperatura superiores a 45°C); en esta categoría se encuentran las especies hipertermófilos (crecimiento de la especie a temperatura superiores a 80°C); acidófilos, especies que pueden sobrevivir a pH ácido, por debajo de 5; alcalófilos, especies que pueden crecer a pH básico por encima de 8; halófilos, estos microorganismo tienen la capacidad para desarrollarse en medio salino, denominado hipersalinos, con concentraciones de sales en un rango de 5 a 30%; osmófilos, esta especie tienen la habilidad de sobrevivir a altas presiones osmóticas; radiófilos, estos seres vivos se adaptan a niveles elevados de radiación; metalófilos, los cuales son capaces de tolerar concentraciones elevadas de metales pesados; los piezófilos, también denominado como barófilos, son capaces de tolerar presión (denominados anteriormente como barófilos, capaces de aguantar presión hidrostática de 40 atm a 60 atm) (Antranikian, Vorgias y Bertoldo, 2005; Ferrer, Golyshina, Beloqui y Golyshin, 2007; Jia, Cheong y Zhang 2013; Reed, Lewis, Trejo, Winston y Evilia 2013 como se citó en Oliart-Ros, Manresa-Presas y Sánchez-Otero, 2016, p. 83).

Las condiciones de vida donde se desarrollan la distintas clases de especies o cepas extremófilas se distinguen por ser manantiales de altas temperaturas, sistemas hidrotermales submarinos poco profundos o fumarolas a baja profundidad, lagos o mares con altas concentraciones de sales inorgánicas y aguas con condiciones de pH excesivos,

sea ácido (zonas de solfataras, minas) o alcalino (fuentes carbónicas, tierras y lagos alcalinos); cabe destacar que estos ambientes extremos, frecuentemente ocurren con la combinación de dos o más condiciones ambientales antes mencionada (Madigan y Marrs, 1997; Rothschild y Mancinelli, 2001; Canganella y Wiegel, 2011 como se citó por Oliart-Ros et al., p. 83)

Los parámetros fisicoquímicos de estos entornos son muy distintos a los valores donde la vida de una gran variedad de microorganismos es posible. Variables como el agua en estado líquido, la provisión de energía y el control de esta y el medio de óxido-reducción son precisas para la existencia, para lo cual, estas especies extremófilas son capaces de adaptarse a estas condiciones o generar mecanismos regulatorios en el interior de la célula que garantice su sobrevivencia. En el caso de las microalgas termófilas, posee en su membrana celular ácidos grasos saturados, lo que permite conservar a la célula lo adecuadamente protegida para subsistir a superiores temperaturas. Otra característica que posee este tipo de especie es sus proteínas las cuales poseen una alta estabilidad, debido a que posee una elevada cantidad de puentes de hidrógeno entre sus aminoácidos, lo cual ocasiona que exista una pequeña flexibilidad, una mínima cantidad de giros en su estructura, poseen una carga en la superficie mayor y pocos aminoácidos termolábiles hacia la superficie (Rothschild y Mancinelli, 2001; Gomes y Steiner, 2004, citado por Oliart-Ros et al., p. 83)

Las Microalgas mesófilas son aquellas que pueden vivir y reproducirse de manera óptima en temperaturas entre 20 y 45 °C (Microbiología general, 2005, p.2)

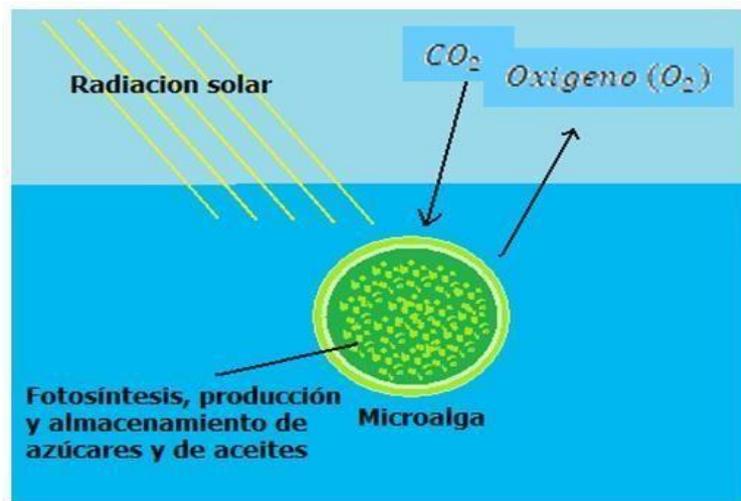
“Las especies del género *Chlorella* tienen gran importancia a nivel económico y comercial debido a la facilidad en su cultivo, su alto valor nutricional, y sus amplios rangos de tolerancia a niveles de pH, salinidad, temperatura y luminosidad” (Mora, 2004, p.02) (Moronta, 2006, p.10). Santos et al. (2013) comprobaron que un aumento en la concentración de CO₂ en la entrada de aire de un cultivo autotrófico de *Chlorella protothecoides* incrementó la productividad de biomasa y lípidos en 94% y 87% respectivamente, en comparación con el control.

“*Chlorella* es una de las microalgas con abundante contenido de proteína y que desde los tiempos de la II Guerra Mundial (Álvarez y Gallardo, 1989) fue utilizado como suplemento alimenticio por su fácil reproducción y potencial nutritivo, capaz de estimular, aunque de forma parcial, el buen desarrollo de los procesos vitales del organismo humano.” “Se cultiva de forma intensiva y el sistema por lote es el más utilizado a gran escala por su bajo

riesgo de contaminación y fácil implementación” (Infante et al., 2012). “La creciente popularidad de *Chlorella* entre los consumidores y las obvias necesidades de producción de alimentos, ponen de manifiesto la importancia de buscar alternativas de producción de este grupo en ambientes marinos y continentales” (Emad et al., 2015).

Las microalgas consiguen su energía mediante su cualidad para ejecutar el proceso de fotosíntesis (ver ilustración 3), las mismas son eficientes en la absorción del CO_2 debido a que lo emplean como proveedor de C. Entre sus primordiales ventajas se muestran una eficiencia incluso 4 veces superior a las plantas (Pedraza y Prada, 2018, p. 23)

Ilustración 3. Proceso de fotosíntesis en las microalgas



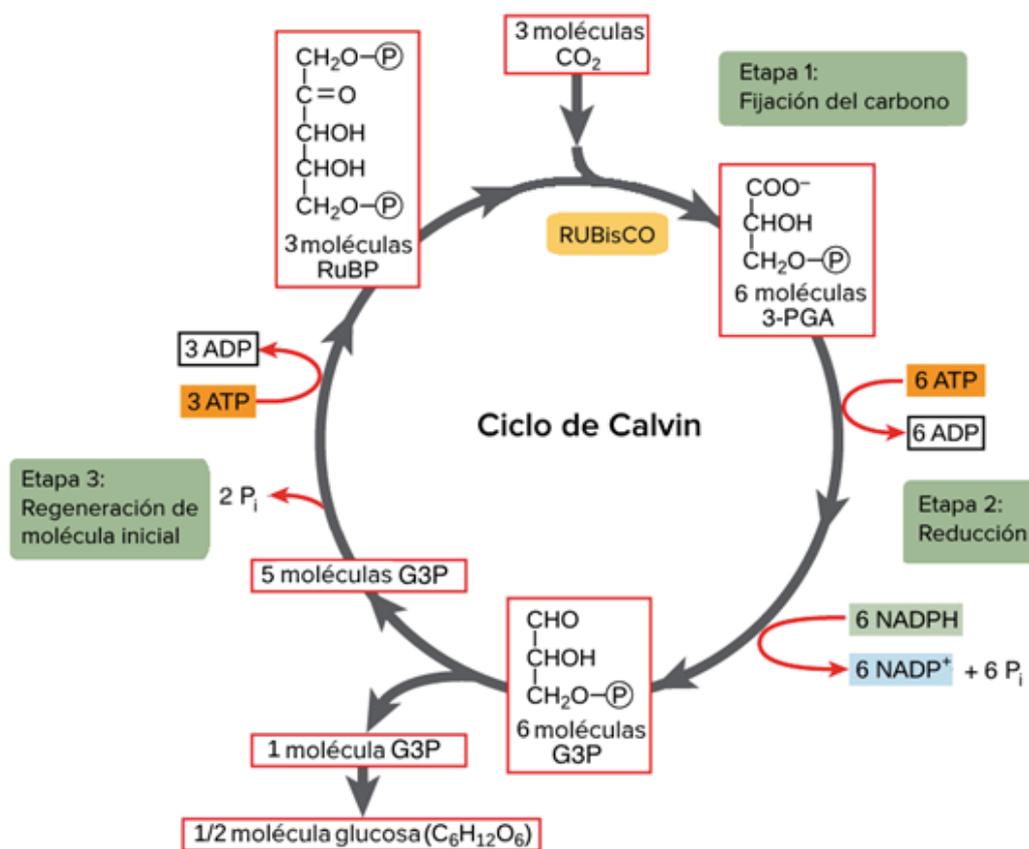
Fuente: García (2016).

Este proceso es ejecutado por plantas, algunas bacterias, y algas (micro o macro), en relación de las microalgas está aportan con el 50% de la acción fotostática de la especie y por ende del 50% de la fijación de CO_2 . La fotosíntesis es un proceso metabólico esencial de importante valor para los seres vivos. Se identifica por la utilización de la fuente energética primordialmente proveniente de la luz para posteriormente ser convertida en energía química aprovechable. En efecto, las microalgas originan masa viva por medio del gasto de energía resultante de la luz solar o proveedor alternativo y empleando el CO_2 como proveedor de C, donde este es absorbido y transformado en material orgánico. (Almeria, 2017 como se citó en Pedraza y Prada, 2018, p. 23)

Durante el proceso de fotosíntesis, las especies ganan energía para la síntesis de carbohidratos y determinan el camino para la deposición y absorción de CO₂ y O₂ en la atmósfera.

La absorción del CO₂ se efectúa de acuerdo con el ciclo Calvin-Benson (ver ilustración 4), da lugar en el estroma de los cloroplastos y se basa en etapas biológicas y químicas que conducen principalmente a dos fases (Khanacademy, 2017 como se citó en Pedraza y Prada, 2018, p. 23).

Ilustración 4. Ciclo de Calvin-Benson



Fuente: (Openstax cnx, 2017)

De acuerdo Pedraza y Prada (2018), la absorción del C sucede cuando una molécula de CO₂ reacciona con la ribulosa-1,5-bisfosfato (RuBP), que posee la capacidad de aceptar cinco C. Produciéndose una molécula de seis carbonos, luego esta se divide a la mitad formando dos moléculas de tres C, el ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA). La RuBP Carboxilasa/oxigenasa es la enzima que cataliza esta reacción (p. 24).

Seguidamente, ocurre la reducción, donde la Adenosina trifosfato (ATP) y Nicotinamida Adenina-Dinucleótido-Fosfato (NADPH) son empleadas para la transformación de las moléculas de 3-PGA en moléculas con tres átomos de carbono de carbohidratos, gliceraldehído-3-fosfato (G3P). En esta etapa, el NADPH aportan sus electrones para producir el G3P (Pedraza y Prada 2018, p. 24).

La tercera etapa, es la reproducción, donde algunas moléculas de G3P forma carbohidratos de tres a siete carbonos y las otras regeneran el RuBP, este proceso requiere ATP, requiriéndose diversas reacciones (Pedraza y Prada, 2018, p. 24 y Horton et al., 2008, p 470). La reacción global del ciclo de Calvin es (Horton et al. 2008, p. 470):



El ATP y NADPH son necesarios para la adhesión de CO₂ en el ciclo Calvin. Son los productos básicos de las reacciones luminosas de fotosíntesis. El hecho de que la demanda de ATP sea mayor que la de NADPH es una de las razones por las que el haz cíclico de electrones de PSI a citocromo *bf* es primordial para la fotosíntesis. Este ciclo de electrones produce un aumento en la generación de ATP al compararlo con NADPH (Horton et al. 2008, p. 470).

Las microalgas pueden ser utilizadas para fijar CO₂ a partir de tres fuentes diferentes: CO₂ de la atmósfera, CO₂ procedente de las emisiones de plantas de energía y procesos industriales (gases de combustión), y CO₂ de los carbonatos solubles (NaHCO₃ y Na₂CO₃). En general, las microalgas progresan con mayor velocidad que las plantas terrestres y la eficiencia de fijación de CO₂ es aproximadamente 10-50 veces más rápida. Por otro lado, se estima que por cada 1 kg de biomasa seca de algas se fija aproximadamente 1.83 kg de CO₂, por consiguiente, la generación de masa viva de microalgas logra contribuir a la fijación biológica de CO₂ (Wang; Li y Wu, 2008 y Chisti, 2008, como se citó en Vázquez, 2011, p. 7)

En la naturaleza las microalgas capturan el CO₂ atmosférico durante la fotosíntesis. Sin embargo, el rendimiento de fijación se ve limitado por la baja concentración de CO₂ en el aire (aproximadamente 0.0387 % v/v). Por el contrario, la captura de CO₂ de las emisiones de gases de combustión de las centrales eléctricas que queman combustibles fósiles logra una mejor recuperación debido a la mayor concentración de CO₂ de hasta un 15 % v/v. Sin embargo, sólo un pequeño número de algas son tolerantes a los altos niveles de SO_x y NO_x que están presentes en los gases de combustión. Los gases también tienen que ser enfriados antes de la inyección en el medio de cultivo. La selección de cepas de microalgas

adecuadas para la biomitigación de CO₂ tiene un efecto significativo sobre la eficacia y competitividad de los costos de este proceso. Los atributos deseables para la fijación de CO₂ son: Un crecimiento elevado y altas tasas de utilización de CO₂. Alta tolerancia a trazas de componentes de los gases de combustión, tales como SO_x y NO_x. Generación de coproductos, por ejemplo, aceites como elemento primario para la generación de biocombustibles, además de compuestos bioactivos como el antioxidante β-caroteno. Tolerancia a temperaturas altas del agua para minimizar el costo de refrigeración de los gases de combustión y ser capaz de utilizar nutrientes provenientes de aguas residuales. En la Tabla 2 se muestran los valores sobre las características conocidas de especies estudiadas para la mitigación de CO₂ (Wang; Li y Wu, 2008 y Aslan y Kapdan, 2006 como se citó en Vázquez, 2011, p. 8)

Tabla 2. Especies de microalgas estudiadas para la biomitigación.

Microalgas	T (°C)	Concentración suministrada de CO ₂ (v/v)	Tasa de fijación de CO ₂ (g/L)
<i>Choococccum littorale</i>	40	30	1
<i>Chlorella kessleri</i>	18	30	0,163
<i>Chlorella sp.</i>	40	42	1
<i>Scenedesmus obliquus</i>	18	30	0,26
<i>Spirulina sp.</i>	18	30	0,413
<i>Haematococcus pluvialis</i>	16- 34	20	0,143
<i>Dunalliella tertiolecta</i>	3	27	0,313

Fuente: (Wang; Li y Wu, 2008 como se citó en Vázquez, 2011, p. 8)

Una serie de estudios ha demostrado el potencial de las microalgas para la fijación biológica de carbono en diversas condiciones. Por ejemplo, se encontraron que las especies de microalgas *S. obliquus* y *Chlorella kessleri* son capaces de crecer en medios que contienen hasta un 18% v/v de CO₂. Por otro lado, se encontraron que ciertas especies de *Chlorella* pueden crecer en una atmósfera con CO₂ de hasta un 40% v/v. Al comparar *B. braunii*, *C. vulgaris* y *Scenedesmus sp.*, en condiciones de crecimiento con gases de

combustión se encontraron que *Scenedesmus sp.*, es la más adecuada para la biomitigación de CO₂ debido a su alta tasa de producción de biomasa (0.218 g L⁻¹ d⁻¹) y su alta capacidad de fijación de carbono. (Morais y Costa, 2007; Chang y Yang, 2003 y Yoo, Jun y Lee, 2010 como se citó en Vázquez, 2011, p. 9)

Es así como planteamos el siguiente problema general: ¿De qué manera un sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas podrá absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire, Lima 2019?

Y como problemas específicos tenemos:

¿Cuáles serán las condiciones de operación del sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire?

¿Cuál será la biomasa obtenida del sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire?

¿Cuál será la concentración de ingreso de CO₂ al sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire?

¿Cuál será el porcentaje de absorción de CO₂ en el sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire? Para justificar la presente tesis tenemos:

Desde el punto de vista teórico, el presente trabajo logrará mejorar la comprensión entre las variables en estudio, por un lado, permite el entendimiento de la obtención de un sistema de biofiltración, por el otro, asimilar los procesos que engloban la fijación de CO₂ mediante microalgas.

De la misma manera esta investigación contribuirá como un aporte teórico a los desarrollados por otros autores en materia de absorción de CO₂ del aire, a partir de microalgas, a pesar que el tema parece ya agotado, no puede considerarse un tema suficientemente discutido, por lo que puede ser apreciado como un aporte para enriquecer el debate académico que sustenta las ciencias ambientales.

En relación a la metodología que se aplicará al presente estudio, este trabajo dará un aporte a ser tomado en cuenta para futuras investigaciones en relación con la eliminación de CO₂ del aire, así como la elaboración de un sistema de biofiltración a partir de microalgas, estos aportes generarán nuevas soluciones frente a los agentes contaminantes del aire, contribuyendo a mejorar las condiciones medioambientales de la ciudad de Lima.

Desde el punto de vista ambiental, el presente estudio permitirá contribuir como medida de solución frente a una problemática que engloba a nivel nacional y mundial, que es el

dióxido de carbono el cual origina el efecto invernadero y este a su vez origina el calentamiento global.

Hipótesis general

H₁: El sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas podrá absorber Dióxido de Carbono (CO₂) en un 30 %.

H₀: El sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas no podrá absorber Dióxido de Carbono (CO₂) en un 30 %.

Hipótesis específicas

HE₁: Se determinará de manera significativa las condiciones de operación del sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire

HE₂: Se determinará de manera significativa la biomasa obtenida del sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire

HE₃: Se determinará de manera significativa la concentración de ingreso de CO₂ al sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire

HE₄: Se determinará de manera significativa el porcentaje de absorción de CO₂ en el sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire.

El objetivo general de la investigación es determinar la manera en que un sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas podrá absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire.

Como objetivos específicos:

Determinar las condiciones de operación del sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire.

Determinar la biomasa obtenida del sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire.

Determinar la concentración de ingreso de CO₂ al sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire

Determinar el porcentaje de absorción de CO₂ en el sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire.

II. MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es Aplicada, porque intenta dar soluciones al problema de dióxido de carbono presente en el aire, a través del uso de biofiltro con microalgas termófilas y mesófilas (Sampieri, Fernández y Baptista, 2014), una investigación es aplicada cuando tiene como objetivo resolver un determinado problema o planteamiento específico. Es de enfoque cuantitativo, porque se va a comprobar y explicar si la utilización de los biofiltros, ayudará a la absorción de dióxido de carbono. Según (Sampieri, Fernández y Baptista, 2014), “un enfoque es tipo cuantitativo porque es un proceso deductivo, ya que cada etapa conduce de forma lógica a la que viene, y que nos permitirá comprobar, explicar o predecir un determinado hecho”.

La presente investigación es un estudio con diseño experimental, donde se manipula la variable independiente y se mide su efecto sobre la variable dependiente. Según (Sampieri, Fernández y Baptista, 2014), una investigación es de diseño Experimental, cuando existen cambios en las variables de entrada mediante un proceso, y es por ello que es posible observar e identificar las causas que los cambios que producen en la respuesta de salida. Es transversal porque se medirá la variable en una sola ocasión. Es cuantitativo y prospectivo.

2.2. Operacionalización de variables

Tabla 3. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades/Escala de medición
Variable independiente: Sistema de Biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas	Proceso biológico empleado para el control o procesamiento de sustancias orgánicas de bajo peso molecular presentes en la fase gaseosa. (Silva, 2010, p. 30)	La productividad de cultivo está determinada principalmente por el pH, salinidad, la disponibilidad y concentración de nutrientes, la intensidad y el tipo de luz, la temperatura y la contaminación o degradación de otros organismos (Gonzales, 2016, p.24). Por otro lado Carvajal nos dice que la acción combinada de los diferentes factores medioambientales (vapor de agua en la atmósfera y subida de las temperaturas) podría conducir a una mayor producción de biomasa, pero sólo si las plantas recibieran además un aporte de otros nutrientes (2009, p.8).	Condiciones de operación	Diseño	cm
				pH	1-14
				Temperatura	°C
			Proceso biológico: Biomasa	% biomasa obtenida	g/L

Variable dependiente: Absorción de dióxido de carbono (CO ₂) del aire.	Proceso en el cual una especie de microorganismo, realizan la degradación de sustancias químicas contaminantes del aire, que se ve influenciado por las condiciones de pH, nutrientes y temperatura en la que ocurre (INECC, 2007, parr. 11)	Carvajal nos dice que el CO ₂ secuestrado por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO ₂ atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO ₂ emitido por la atmosfera durante la respiración (2009, p.3).	Concentración de ingreso de CO ₂	Cantidad de CO ₂	g/L
			Absorción de CO ₂	% de adsorción	g/L

Fuente: elaboración propia, 2019

2.3. Población, muestra y muestreo

Según Palella y Martins (2012, p. 105) la población es el conglomerado de unidades de las que se pretende conseguir información y de las cuales se obtendrán las conclusiones. Para la realización de este estudio se toma como población al conjunto de microalgas termófilas provenientes de los baños termales de Cachicadan y el conjunto de algas obtenidas a través del Instituto del Mar Peruano, *Chlorella* Sp.

Según (Sampieri, Fernández y Baptista, 2014), “La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que se le llama población”. Para la realización de esta investigación la muestra será tomada de una cepa proveniente de las algas termófilas y mesófilas.

El muestreo fue no probabilístico a criterio para el crecimiento de microalgas y considerando que para cada tipo de microalga se tomó una muestra de cepa de alga para ser analizada en el laboratorio.

Como unidad de análisis se consideró a los Baños termales de Cachicadan – Santiago de Chuco e Instituto del Mar Peruano.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Para el adecuado progreso de la presente investigación se empleará la siguiente técnica:

La observación directa: Según Arias (2012) “la observación directa es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (p. 69). Por lo que para el presente estudio el investigador realizará notas directamente en el medio.

Según Tamayo (2003): “la ficha de registro contiene los aspectos del fenómeno que se consideran esenciales y dos aspectos diversos, una representación y un contenido” (p. 124).

De igual forma, es importante acotar que el instrumento se validará.

La validación, de acuerdo Hernández, Fernández y Baptista (2014), señala que: “se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que quiere medir” (p. 243). Por lo cual para la aplicación de un sistema de biofiltración a base de microalgas termófilas y mesófilas se utilizarán los siguientes instrumentos:

- **Ficha de condiciones de operación**
- **Ficha de porcentaje de biomasa**
- **Ficha de registro de concentración de ingreso y absorción de CO₂**

Los expertos que validaron los instrumentos fueron:

- **Ingeniero Químico:** Carlos Humberto Rodríguez

CIP N°: 37913

- **Ingeniero Agrónomo:** Freddy Pillpa Aliaga

CIP N°: 196897

- **Biólogo:** Jorge Luis López Bulnes

CIP N°: 8932

La validez de los instrumentos de recolección de datos de la presente tesis fue dada por expertos que su especialidad está relacionada con la investigación, ellos evaluaron y validaron de forma individual y a su criterio. La tabla 4 muestra los porcentajes de validación que cada experto le puso a cada ficha utilizada como instrumento, quienes juzgaron los siguientes criterios: Pertinencia con los objetivos, coherencia con el contenido y redacción de los ítems.

Tabla 4. Promedio de validación

INSTRUMENTO	PORCENTAJE DE VALIDACIÓN (%)			PROMEDIO
	EXPERTO 1	EXPERTO 2	EXPERTO 3	
Ficha 1	99%	93.5%	95%	96%
Ficha 2	95%	93%	99%	96%
Ficha 3	99.5%	92.5%	100%	97%

Fuente: elaboración propia, 2019

Así mismo los análisis ejecutados se realizarán en el laboratorio de la Universidad César Vallejo, que se encuentra acreditado y con los instrumentos adecuados para el desarrollo y validez.

Para Gómez (2006), la fiabilidad de un instrumento de medición hace referencia al nivel en que su utilización en diversas ocasiones al mismo usuario u objeto pueda ser capaz de repetir los mismos resultados.

En este sentido, para comprobar la fiabilidad del instrumento que se aplicará en esta investigación, se empleará como técnica el Test-Retest. Para Navas, el resultado luego de calcular la confiabilidad se considera coeficiente de estabilidad, ya que muestra un valor de la seguridad temporal de los valores obtenidos al aplicar en diversos momentos el mismo instrumento (2012).

Según QUERO (2010) nos define “a la confiabilidad como la carencia de errores de los resultados obtenidos por un instrumento de medida; representando resultados firmes y coherentes”. (p. 248) “para un estudio cuantitativa es atendible emplear como instrumento a las fichas de datos, siendo estos gestados principalmente por el investigador, para recopilar toda la investigación complementaría de la observación de los sucesos”. (OLIVEROS, 2008, p.49)

2.5. Procedimiento

Las cepas de Microalgas Mesófilas fueron proporcionadas por el Instituto del Mar Peruano mientras que las microalgas termófilas se obtuvieron en la región de La libertad, a una distancia de 266.50 km de Trujillo, se encuentra la provincia de Santiago de Chuco, y a 1 hora por carretera el Distrito de Cachicadán, siendo esta muy conocida por sus aguas termales que nacen en ella. Santiago de Chuco abarca una superficie de 266.5 km² y tiene una población estimada mayor a 6 mil habitantes.

Está situado en un valle rodeado de vegetación destacando al cerro la botica; en las faldas del cerro posee 5 manantiales y 02 pozos de agua. (SENHAMI)

Las aguas termales son de color rojizo siendo su temperatura 71°, las aguas emergen del cerro y éstas poseen fierro y magnesio por lo que son muy curativas. (Bautista, 2015, p.10)

Para la investigación se seleccionaron 06 cepas de microalgas obtenidas en aguas termales de Cachicadán, la Libertad. Las algas con agua obtenidas fueron llevadas a laboratorio donde se utilizó 10ml de la mezcla de 500ml de agua destilada, con 10ml del agua de la muestra extraída en Cachicadán, este proceso se realizó para cada muestra y se sembraron en cajas Petri, las cuales fueron previamente esterilizados en el Autoclave a 121 °C durante dos horas, para la inoculación se utilizó un medio de cultivo para su óptimo crecimiento: 5.75g de Agar nutritivo mezclado con 1g de fosfato monopotásico, nitrato amonio, fosfato monoamónico y nitrato potasio ref. respectivamente. Los cultivos al ya obtener las cepas

requeridas fueron inoculados en dos matraces de 500 ml para continuar con el crecimiento de biomasa, para esta inoculación se utilizó como nutriente y medio de cultivo 500 ml de la mezcla de 1L de agua destilada con 5 gotas de bayfolan. Al pasar las dos semanas, estas cepas crecieron en su totalidad necesitando de ese modo continuar con su reproducción en un nuevo espacio, para ello este cultivo fue dividido en dos matraces a los cuales se les completó los 500ml del matraz con agua destilada y dos gotas de bayfolan. Este medio de cultivo fue controlado con una temperatura de 30° C utilizando un termostato, burbujeo continuo con una bomba de aire elaborado con materiales reciclados e iluminación solar.

Ilustración 5. Zona de estudio: Aguas termales de Cachicadán



Ilustración 6. Muestras obtenidas en Cachicadán



Ilustración 7. Vista a través de microscopio de microalga termófila

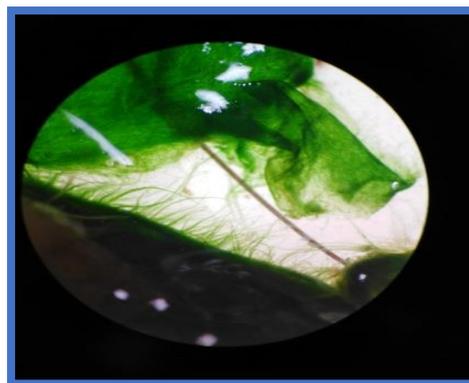


Ilustración 8. Esterilización de cajas Petri en Autoclave



Ilustración 9. Medición de 500 ml de agua destilada



Ilustración 10. Mezcla de 500ml de agua destilada y 10ml de muestra



Ilustración 11. Preparación de Agar mezclado con los nutrientes



Ilustración 12. Secado del medio de cultivo



Ilustración 13. Preparación de medio de cultivo



Ilustración 14. Se mantiene a 37°C



Las cepas de microalgas mesófilas fueron obtenidas mediante el laboratorio del Instituto del Mar Peruano (IMARPE), ubicado en el distrito de la Punta, provincia constitucional del Callao. Se obtuvo 14 ml de cepas mesófilas, las cuales fueron posteriormente cultivadas en dos matraces de 500 ml cada uno. En cada matraz se colocó 7ml de cepas adicionando 500ml de agua destilada, la cual previamente fue mezclada con 5 gotas de Bayfolan en un vaso precipitado de 1L. Culminando el proceso cada matraz es sellado con papel aluminio y durante dos semanas se mantiene en luminosidad y constante movimiento diario, al pasar

estas semanas el cultivo necesita continuar con su reproducción es por ello que cada matraz divide la mitad de su cultivo en otro matraz de 500ml, agregándole a cada uno de los 4 matraces agua destilada mezclada con 2 gotitas de bayfolan completando de este modo sus 500ml. Este medio de cultivo se mantiene en constante iluminación y contante movimiento con ayuda de una bomba de aire elaborada con materiales reciclables, proporcionándole también cantidades contantes de CO₂.

Ilustración 15. Muestra de microalga mesófila



Ilustración 16. Preparación de medio de cultivo

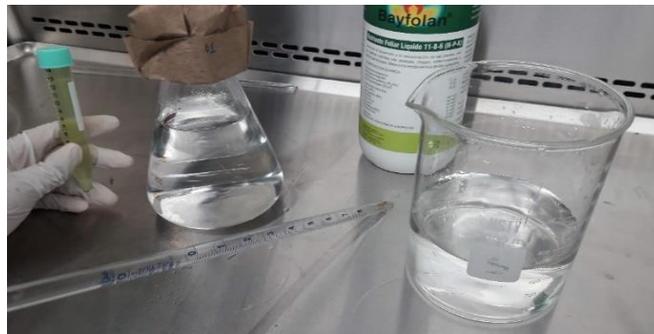


Ilustración 17. Muestras preparadas



Ilustración 18. Muestra después de dos semanas



Para la elaboración del biofiltro para las microalgas termófilas a escala de laboratorio se necesitó de vidrio borosilicatado, el cual es capaz soportar altas temperaturas, se necesitó colocar tres orificios de 01 cm de diámetro para instalar las mangueras utilizadas en el proceso de captación de CO₂. Este recipiente cuenta con capacidad de 30000 ml, en él se colocó una cantidad fija de las microalgas igual a 2500 ml siendo posteriormente completada con 500 ml de agua destilada mezclada con dos gotas de bayfolan. El sistema de microalgas termófilas se trabajará a una temperatura de 30°C (Yunga, 2018, p. 16) y en este sistema se requirió trabajar con un volumen de aire fijo, el cual fue igual a 0.6 L/min (Barajas y Sierra, 2017, p. 82), este volumen de aire fue suministrado por una bomba elaborada manualmente con materiales reciclados, tiene un peso de 0.10 Kg, un voltaje de 9 VOLTS, la cual permanece encendida todo el tiempo. El pH se ajustó cada 24 horas con ácido nítrico 0.1M e hidróxido de sodio 0.1M si en caso la muestra no contaba con un pH de 7.03, la duración del proceso fue de 30 días (Barajas y Sierra, 2017, p. 82). Dentro del biofiltro se instaló un termostato automático electrónico que permite controlar y mantener la temperatura de 30°C como máximo. (EcuRed, 2019)

Ilustración 19. pH de las microalgas termófilas



Ilustración 20. Materiales para la elaboración de los Biofiltros



En cuanto al biofiltro para microalgas mesófilas requirió de vidrio templado con una capacidad de más de 3000ml, presentando una altura de 40 cm y un ancho de 30 cm. El vidrio formó un cubo en el cual presentaba tres agujeros en la tapa donde se instalaría las mangueras de la bomba de aire, la manguera para el ingreso del CO₂ y el último para la salida de oxígeno. Se utilizó 20000ml de cultivo de microalgas mesófilas completando 1000 ml de agua destilada mezclada con 3 gotas de bayfolan. El biofiltro se mantuvo a temperatura ambiente, con un pH controlado cada 24 horas y la inyección de tres diferentes cantidades de CO₂ el cual variaba por cada semana.

Se realizaron 06 ensayos para el suministro de CO₂ puro en concentraciones de 05 %, 10 % y 20% de CO₂, además se utilizó un regulador para que el suministro al biofiltro sea adecuado en conjunto con un reactor de CO₂. Dentro del reactor, las burbujas de CO₂ se descomponen constantemente hasta que se disuelven por completo en el agua, el diseño patentado del impulsor aplasta completamente las burbujas de CO₂, es duradero a la acidez y resistente a los golpes, diseñado para evitar que el gas CO₂ se acumule en la parte superior.

El medio de cultivo a emplear para brindarle nutrientes a las microalgas está basado en una adaptación al trabajo de Valencia (2018), el cual consiste en la preparación de soluciones de macro y micronutrientes (mezclados previamente en relación 1:1) a diferentes concentraciones (ver tablas 6 y 7); posteriormente se trasvasan a un matraz de 1 L. A la solución resultante se le mide el pH y de ser necesario se ajusta dentro del rango 7.4 a 7.8 con ácido clorhídrico (HCl) 1M. La solución resultante se esteriliza a 121°C en una autoclave, por un tiempo de 15 minutos. Se debe emplear a temperatura ambiente en una proporción de 1 ml de cultivo de microalga por cada 3 ml de medio de cultivo (proporción 1:3).

Tabla 5. Concentraciones de los macronutrientes que constituyen el medio de cultivo.

Número de reactivos	Macronutrientes	Cantidad (g) o concentración (g/L)	Cantidad a adicionar por litro de agua destilada
	Macronutrientes	1.50	----
1	NaNO ₃	40.00	1 ml
2	K ₂ HPO ₄ . 3H ₂ O	75.00	1 ml
3	MgSO ₄ . 7H ₂ O	36.00	1 ml
4	CaCl ₂	6.00	1 ml
5	Ácido cítrico	6.00	1 ml
6	Citrato de hierro amónico (III)	6.00	1 ml
7	MgNa ₂ EDTA. H ₂ O	1.00	1 ml
8	Na ₂ CO ₃	20.00	1 ml

Fuente: Valencia (2018, p. 15)

Tabla 6. Concentraciones de los micronutrientes que constituyen el medio de cultivo

Número de reactivos	Micronutrientes	Cantidad (g) o concentración (g/L)	Cantidad a adicionar por litro de agua destilada
1	H ₃ BO ₃	2.86 g	
2	MnCl ₂ . 4H ₂ O	1.81 g	
3	ZnSO ₄ . 7H ₂ O	0.22 g	
4	Na ₂ MoO ₄ . 2H ₂ O	0.39 g	1 ml
5	CuSO ₄ . 5H ₂ O	0.08 g	
6	Co(NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	0.05 g	

Fuente: Valencia (2018, p. 15).

Para la determinación de la producción de masa, el proceso se realizará en dos etapas, de acuerdo con lo establecido por Barajas y Sierra (2017, p. 82). La primera etapa será la cuantificación de la masa secada de las microalgas, producida por el sistema de biofiltración; la segunda etapa será la cuantificación de la ceniza.

La cantidad de masa seca se determinará después de 7 días. Para ello, se deberá tomar una muestra de 20 ml de cada biorreactor; esta se filtrará empleando filtros Whatman GF/C previamente calentados a 100°C por una hora en una estufa. Una vez filtrada cada muestra tomada de los reactores, se llevan los filtros nuevamente a la estufa a 100°C durante una hora. Seguido a esto, se colocan los filtros en un desecador por 12 horas. Para finalizar esta etapa, se pesa cada filtro, en una balanza analítica, hasta lograr un peso constante.

Ahora bien, la obtención de ceniza se desarrollará en dos fases para calcular la cantidad de ceniza. Para la primera fase se realizará una filtración al vacío para realizar un secado por esta vía de los microorganismos, colocando 3 ml de muestra y haciendo pasar por un papel filtro. Una vez filtrado el papel con la microalga, se transporta en una fibra de vidrio con gel de sílice para evitar la humedad residual.

La segunda fase iniciará con el pesado de cada filtro y la microalga y se sigue con la colocación de las muestras en una mufla a una temperatura de 450°C durante 5 horas. Al final del procedimiento, los filtros se mantienen en un desecador con sílice gel durante 8 horas, luego se pesan en una balanza analítica hasta alcanzar el peso constante.

El cálculo de la cantidad de biomasa producida viene dado por la siguiente ecuación:

$$P = (PS - PSDM) / V.$$

Dónde:

P = Biomasa producida (g/L)

PS = Peso seco (g).

PSDM = Peso seco después de la mufla (g).

V = Volumen de cultivo secado (L).

La cuantificación de la concentración de CO₂ absorbido por el sistema de biofiltración se determinará de acuerdo con la fórmula empleada en diferentes investigaciones: Jianhua, Hui, Yuanchan, entre otros, como se citó en Pedraza y Prada (2018), donde se relaciona la producción de biomasa seca después del proceso biofiltración y la cantidad de carbono que contiene la microalga, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Concentración de CO}_2 = P * C * \text{M.M CO}_2 / \text{M.M C}$$

Dónde:

P = Producción de biomasa seca (g/L*d)

C = Carbón que contiene la biomasa.

M.M CO₂ = peso molecular de CO₂ (g)

M.M. C = peso molecular de C (g)

Para la obtención del carbón que contiene la biomasa, se tomará en cuenta lo recomendado por Barajas y Sierra (2017), el cual se determinará por la resta de los pesos de los filtros antes y después de su calcinación en la mufla y dividido entre la cantidad de muestra empleada para el ensayo (3mL), al resultado se le realiza un cálculo promedio.

De acuerdo a Hurtado (2001) la intención del estudio es emplear las estrategias y los métodos que le garantizan al investigador conseguir la comprensión, mediante el apropiado procesamiento de los datos recopilados. En relación a lo antes expuesto, para la investigación a realizar se empleará el método empírico, motivado a que se procesarán los datos por medio de la medición y análisis con base a la información numérica procesada donde se comparan las magnitudes de las variables que son objeto de revisión de este trabajo de investigación.

En cuanto al aspecto ético esta investigación ha tomado como principal herramienta el uso de turnitin, para respaldar la veracidad de los autores y descartar todo tipo de copia. Ha sido elaborada con los lineamientos brindados por la normativa peruana, teniendo en cuenta y respetando la norma ISO 690 para las citas bibliográficas. Además de tener en cuenta las consideraciones que brindó la Universidad, junto con las observaciones del docente.

Se ha respetado la autenticidad de los hallazgos y de los valores obtenidos mediante los experimentos realizados a fin de garantizar la confiabilidad de la información plasmada en el estudio. Se ha respetado a los autores citados para amparar la presente investigación nombrándolos en las referencias.

Se respetaron las normas y políticas ambientales, a fin de no afectar el medio ambiente sino reforzar la conservación de él.

III. RESULTADOS

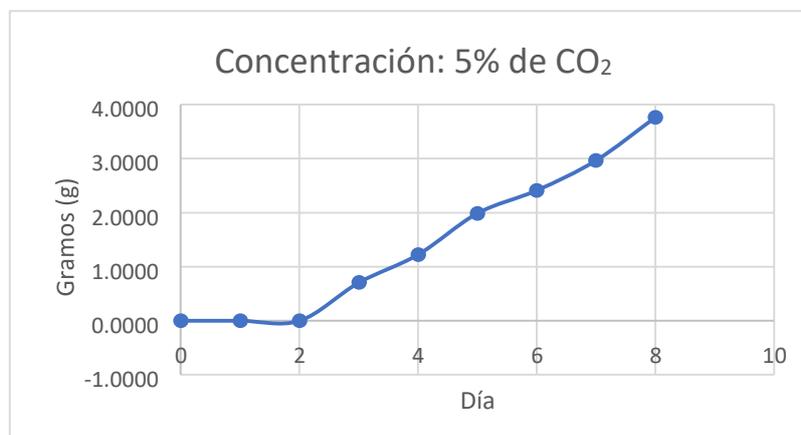
El crecimiento de las microalgas en el biofiltro diseñado y construido en laboratorio, se evaluó a partir de tres escenarios en los cuales se evaluó la biomasa producida por las microalgas termófilas y mesófilas individualmente, a distintas concentraciones de dióxido de carbono: 05 %, 10%, 20% en un ambiente exterior con 05 L de agua cada uno. El tiempo de prueba fue de 08 días, en los cuales se tomaron muestras de los cultivos a las 12:00 am de cada uno de los días. La concentración inicial del cultivo fue: 1×10^6 cel/MI.

Al pasar la prueba de 08 días se encontraron los siguientes resultados:

Escenario 1: 05% de CO₂ para microalgas termófilas:

En esta parte evaluamos la producción de biomasa de las microalgas termófilas a una concentración de 05% de CO₂ con 5L de agua proveniente de las aguas termales de Cachicadán. En la primera prueba se pudo observar que se produjo un crecimiento exponencial en el día 3, hasta el día 8 en el cuál entro en fase estacionaria y comenzó a reducir la velocidad de reproducción.

Gráfico 1. Concentración de CO₂ al 5% para microalgas termófilas



En conjunto con la muestra de absorbancia se realizaron pruebas de pH, que presentó un valor de 8,4, que se observa una disminución en el día 3 con 6,3, estabilizándose para el día 7 con 7,3 de pH, valor óptimo para su crecimiento. También se realizaron pruebas de temperatura el cual se mantuvo constante gracias al dispositivo de termostato.

Tabla 7. pH Escenario 1 para microalgas termófilas

Día	Microalgas Termófilas	
	Escenario 01	
	05 % CO ₂	
	pH	Temperatura °C
1	8,4	30°C
2	8,5	30°C
3	6,3	30°C
4	6,3	30°C
5	6,2	30°C
6	6,7	30°C
7	7,3	30°C
8	7,06	30°C

Se determinó la biomasa producida por la siguiente ecuación:

Dónde:

P = Biomasa producida = ¿?

PS = Peso seco = 17,23

PSDM = Peso seco después de la mufla = 8,1

V = Volumen de cultivo secado = 2,16

$$P = (PS - PSDM) / V$$

$$P = (17,23 \text{ g} - 8,1 \text{ g}) / 2,16 \text{ L}$$

$$P = 4.2268 \text{ g/L}$$

Para determinar la concentración de CO₂ absorbido empleamos la siguiente fórmula:

P = Producción de biomasa seca (g/L*d) = 4.2268 g/L

C = Carbón que contiene la biomasa = 1.844

M.M CO₂ = Peso molecular de CO₂ = 44.01 g

M.M. C = peso molecular de C = 12.0107 g

$$\text{Concentración de CO}_2 = P * C * \text{M.M CO}_2 / \text{M.M C}$$

$$\text{Concentración de CO}_2 = 4,2268 \text{ g/L} * 1,844 * 44.01 \text{ g} / 12.0107$$

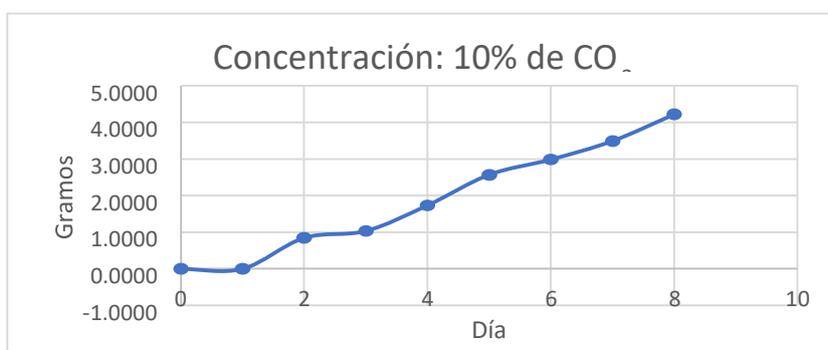
$$\text{Concentración de CO}_2 = 28,559$$

En este primer escenario el biofiltro produjo 4,2268 g/L de biomasa seca y absorbió una concentración de CO₂ de 28,559 g/L*d.

Escenario 2: 10% CO₂ para microalgas termófilas:

Se evaluó la biomasa a partir del ingreso de CO₂ al 10%, puesto en un ambiente exterior, con 5L de agua proveniente de las aguas termales de Cachicadán. En este escenario se observó un crecimiento exponencial que empezó a partir del segundo día y que a partir del día 8 disminuyó la velocidad de reproducción celular ingresando en estado de latencia.

Gráfico 2. Concentración de CO₂ al 10% para microalgas termófilas



Se observó que el parámetro de pH inició con un valor de 8,5, disminuyendo a partir del día dos, y que se estabilizó a partir del día 7 con un valor de 7, y teniendo un valor final de 7,2, óptimo para su crecimiento. La temperatura se mantuvo constante a 30° C gracias al dispositivo puesto en el biofiltro: termóstato.

Tabla 8. pH del Escenario 02 para microalgas termófilas

Microalgas Termófilas		
Escenario 02		
10% CO₂		
Día	pH	Temperatura °C
1	8,5	30°C
2	6,1	30°C
3	6,2	30°C
4	6,4	30°C

5	6,7	30°C
6	6,7	30°C
7	7	30°C
8	7,2	30°C

Se determinó la biomasa producida por la siguiente ecuación:

Dónde:

P = Biomasa producida = ¿?

PS = Peso seco = 17,81

PSDM = Peso seco después de la mufla = 8,86

V = Volumen de cultivo secado = 2,02

$$P = (PS - PSDM) / V$$

$$P = (17,81g - 8,86 g) / 2,02L$$

$$P = 4,4306 \text{ g/L}$$

Para determinar la concentración de CO₂ absorbido empleamos la siguiente fórmula:

$$P = \text{Producción de biomasa seca (g/L*d)} = 4,4306 \text{ g/L*d}$$

C = Carbón que contiene la biomasa = 1,79

M.M CO₂ = Peso molecular de CO₂ = 44.01 g

M.M. C = peso molecular de C = 12.0107 g

$$\text{Concentración de CO}_2 = P * C * \text{M.M CO}_2 / \text{M.M C}$$

$$\text{Concentración de CO}_2 = 5,3528 \text{ g/L*d} * 3.2224 * 44.01 \text{ g} / 12.0107$$

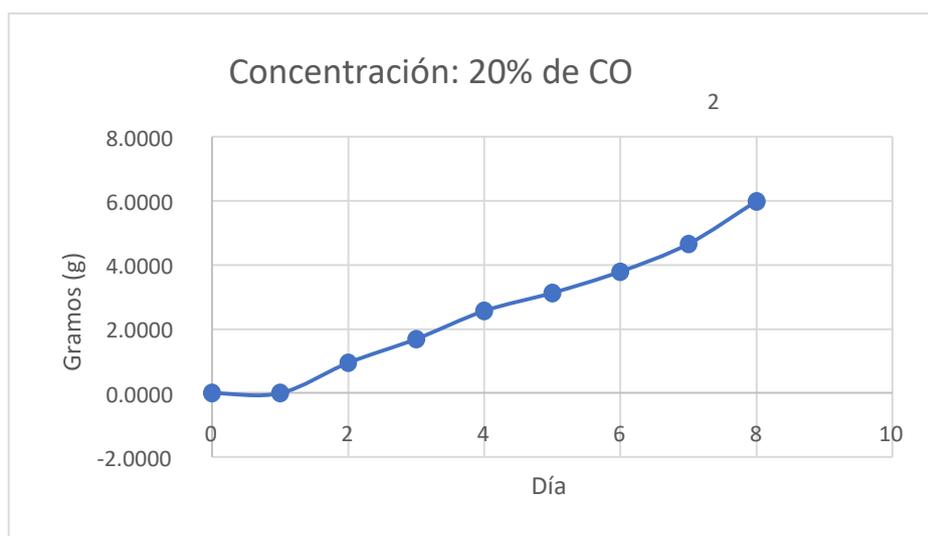
$$\text{Concentración de CO}_2 = 29,0602 \text{ g/L*d.}$$

En este segundo escenario el biofiltro produjo g/L de biomasa seca de 5,3528 g/L y absorbió una concentración de CO₂ de 29,0602 g/L*d.

Escenario 3: 20% CO₂ para microalgas termófilas:

En esta parte evaluamos la producción de biomasa de las microalgas termófilas a una concentración de 20% de CO₂ con 5L de agua proveniente de las aguas termales de Cachicadán. La concentración inicial del cultivo fue de 1x10⁶ cel./ml. El tiempo de duración del ensayo fue de 8 días, para los cuales se tomó una muestra del medio de cultivo a las 12:00 horas del mediodía. En este escenario se observó crecimiento a partir del segundo día, entrando en una etapa de adaptación, se pudo observar mayor velocidad en el crecimiento del cultivo.

Gráfico 3. Concentración de CO₂ al 20% para microalgas termófilas



Como parámetros de pH, tuvo en un inicio un valor de 8,4, valor no apto para su crecimiento, sin embargo, en el segundo día este valor fue reducido a 6,5 para estabilizarse perfectamente al día 4 con un valor de 7, para finalmente obtener el valor de 7,1 de pH. La temperatura se mantuvo constante

Tabla 9. pH del Escenario 03 para microalgas termófilas

Día	Microalgas Termófilas	
	Escenario 03	
	20% CO ₂	
	pH	Temperatura °C
1	8,4	30°C
2	6,5	30°C
3	6,8	30°C
4	7	30°C
5	7	30°C
6	7,1	30°C
7	7,1	30°C
8	7,1	30°C

Se determinó la biomasa producida por la siguiente ecuación:

Dónde:

P = Biomasa producida = ¿?

PS = Peso seco = 17,71

PSDM = Peso seco después de la mufla = 8,68

V = Volumen de cultivo secado = 2,03

$$P = (PS - PSDM) / V$$

$$P = (17,71g - 8,68 g) / L$$

$$P = 4,4483 \text{ g/L}$$

Para determinar la concentración de CO₂ absorbido empleamos la siguiente fórmula:

$$P = \text{Producción de biomasa seca (g/L*d)} = 4,4483 \text{ g/L}$$

$$C = \text{Carbón que contiene la biomasa} = 1,806$$

$$\text{M.M CO}_2 = \text{Peso molecular de CO}_2 = 44,01 \text{ g}$$

$$\text{M.M. C} = \text{peso molecular de C} = 12,0107 \text{ g}$$

Dónde:

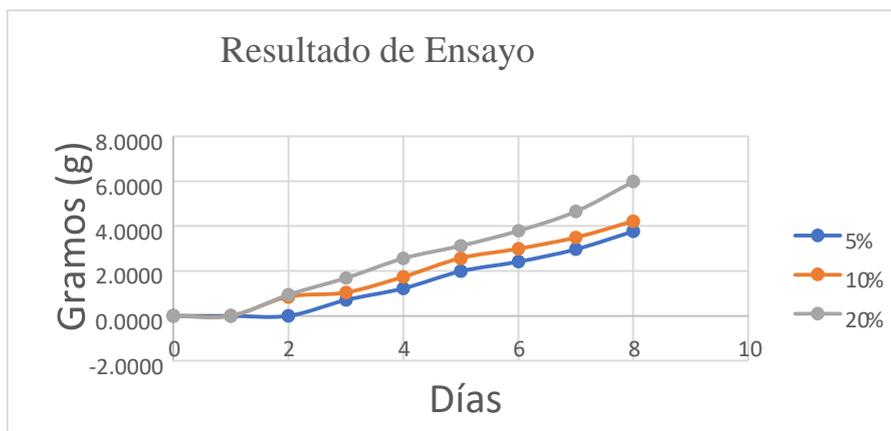
$$\text{Concentración de CO}_2 = P * C * \text{M.M CO}_2 / \text{M.M C}$$

$$\text{Concentración de CO}_2 = 4,4483 \text{ g/L} * 1,806 * 44,01 \text{ g} / 12,0107$$

Concentración de CO₂ = 29,4371

En este tercer escenario el biofiltro produjo 4,4483 g/L de biomasa seca y absorbió una concentración de CO₂ de 29,4371 g/L*d.

Gráfico 4. Resultado del ensayo para microalgas termófilas



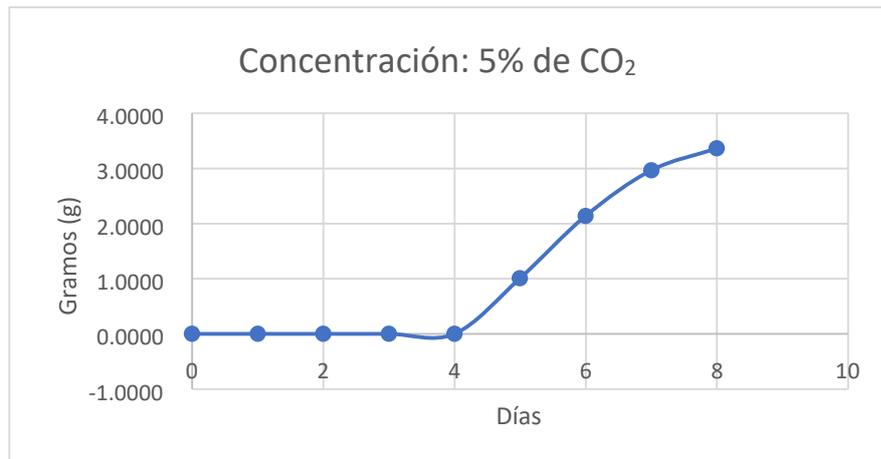
Se puede observar en el gráfico anterior que la concentración óptima para el crecimiento de biomasa en microalgas termófilas es de 20% de CO₂.

Escenario 1: 5% de CO₂ para microalgas mesófilas:

Para las microalgas mesófilas se evaluó la producción de biomasa con una concentración de 10% de CO₂ con 5L de agua destilada. El tiempo de duración del ensayo fue de 08 días, para los cuales se tomó una muestra del medio de cultivo a las 12:00 horas del mediodía.

Se observó que el crecimiento de las microalgas estuvo en proceso de adaptación y empezó a partir del día 4, siendo constante hasta el día 8 que terminó la prueba.

Gráfico 5. Concentración de CO₂ al 5% para microalgas mesófilas



Se realizaron las pruebas de pH, para determinar su óptimo crecimiento, el cual inició con un valor óptimo de 7, que disminuyó en el día 2 con 6,1 pasando por el periodo de adaptación estabilizándose en el día número 7 con un valor de 7,1 finalizando con este mismo valor, siendo un valor óptimo para su continuo crecimiento. La temperatura también fue analizada estando comprendida entre 19 °C y 23°C.

Tabla 10. pH del escenario 01 para microalgas mesófilas

Microalgas mesófilas		
Escenario 01		
05 % CO₂		
Día	pH	Temperatura °C
1	7	20 °C
2	6,1	19 °C
3	6,2	19 °C
4	6,5	23 °C

5	6,4	19 °C
6	6,9	21 °C
7	7,1	21 °C
8	7,1	19 °C

Se determinó la biomasa producida por la siguiente ecuación:

Dónde:

P = Biomasa producida = ¿?

PS = Peso seco = 18,26 g

PSDM = Peso seco después de la mufla = 8,98g

V = Volumen de cultivo secado = 2,02

$$P = (PS - PSDM) / V$$

$$P = (18,26g - 8,98 g) / 2,02 L$$

$$P = 4,5940 \text{ g/L}$$

Para determinar la concentración de CO₂ absorbido empleamos la siguiente fórmula:

$$P = \text{Producción de biomasa seca (g/L*d)} = 4,5940 \text{ g/L}$$

$$C = \text{Carbón que contiene la biomasa} = 1,856$$

$$\text{M.M CO}_2 = \text{Peso molecular de CO}_2 = 44,01 \text{ g}$$

$$\text{M.M. C} = \text{peso molecular de C} = 12,0107 \text{ g}$$

$$\text{Concentración de CO}_2 = P * C * \text{M.M CO}_2 / \text{M.M C}$$

$$\text{Concentración de CO}_2 = 4,5940 \text{ g/L} * 1,856 * 44,01 \text{ g} / 12,0107$$

$$\text{Concentración de CO}_2 = 31,2429$$

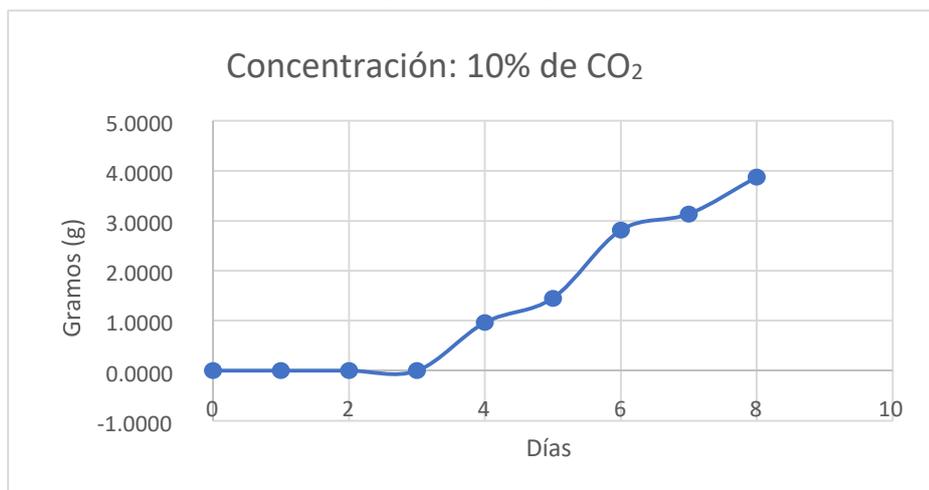
En este primer escenario el biofiltro produjo 4,5940 g/L de biomasa seca y absorbió una concentración de CO₂ de 31,2429 g/L*d.

Escenario 2: 10% de CO₂ para microalgas mesófilas:

En este segundo escenario también tuvo una duración de 08 días, con una concentración inicial de 1x10⁶ cel/ML, se tomaron muestras del medio de cultivo a las 12:00 p m.

Se observó que el crecimiento de las microalgas estuvo en proceso de adaptación y empezó a partir del día 3, siendo constante hasta el día 8 que terminó la prueba.

Gráfico 6. Concentración de CO₂ al 10% para microalgas mesófilas



Para las pruebas de pH, se observa que inicialmente tuvo un valor de 8,5, el cual fue disminuyendo a partir del segundo día con 6,1 y se regularizó en el día 6 con un valor de 7 de pH, siendo éste óptimo para su crecimiento. La temperatura varió entre 19 °C y 21 °C, temperatura adecuada para su reproducción celular.

A continuación, se muestran los valores:

Tabla 11. pH de Escenario 02 para microalgas mesófilas

Día	Microalgas mesófilas	
	Escenario 02	
	10% CO ₂	
	pH	Temperatura °C
1	8,5	20 °C
2	6,1	21 °C
3	6	21 °C
4	6,7	19 °C
5	6,4	21 °C
6	7	20 °C
7	7,2	20 °C
8	7,1	19 °C

Se determinó la biomasa producida por la siguiente ecuación:

Dónde:

P = Biomasa producida = ¿?

PS = Peso seco = 19,93

PSDM = Peso seco después de la mufla = 9,93 g

V = Volumen de cultivo secado = 2,05

$$P = (PS - PSDM) / V$$

$$P = (19,93g - 9,93g) / 2,05L$$

$$P = 4,8780 \text{ g/L}$$

Se puede concluir que al ingresar 15% de CO₂ al biofiltro con microalgas se produce 4,8780 g/L de biomasa seca.

Para determinar la concentración de CO₂ absorbido empleamos la siguiente fórmula:

$$P = \text{Producción de biomasa seca (g/L*d)} = 4,8780 \text{ g/L*d}$$

C = Carbón que contiene la biomasa = 2

M.M CO₂ = Peso molecular de CO₂ = 44,01 g

M.M. C = peso molecular de C = 12,0107g

$$\text{Concentración de CO}_2 = P * C * \text{M.M CO}_2 / \text{M.M C}$$

$$\text{Concentración de CO}_2 = 4,8780 \text{ g/L*d} * 2 * 44,01 \text{ g} / 12,0107 \text{ g}$$

$$\text{Concentración de CO}_2 = 35,7483 \text{ g/L*d}$$

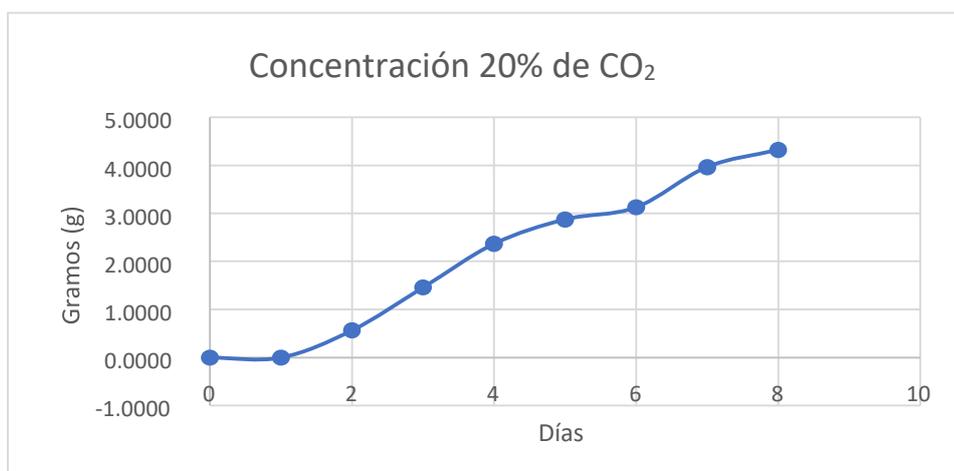
En este segundo escenario el biofiltro produjo 4,8780 g/L de biomasa seca y absorbió una concentración de CO₂ de 35,7483 g/L*d.

Escenario 3: 20 % CO₂ de microalgas mesófilas:

En este tercer escenario se evaluó la producción de biomasa con una concentración de 20% de CO₂ con 5L de agua destilada. El tiempo de duración del ensayo fue de 08 días, para los cuales se tomó una muestra del medio de cultivo a las 12:00 horas del mediodía.

Se observó que el crecimiento de las microalgas estuvo en proceso de adaptación y empezó a partir del día 3, siendo constante hasta el día 8 que terminó la prueba.

Gráfico 7. Concentración de CO₂ al 20% para microalgas mesófilas



Se realizaron las pruebas de pH, el cuál indicó un valor de 6,9 siendo un poco pero aun así dentro del rango óptimo, para el día 2 debido a la mayor concentración de CO₂, el valor de pH, subió de manera drástica a 7,8; sin embargo, para el día 6 ya se encontraba de manera estable a un valor de 7 de pH, finalizando la prueba en un valor de 7,3. La temperatura se mantuvo en un rango de 19° C y 20°C.

Tabla 12. pH de Escenario 02 para microalgas mesófilas

Día	Microalgas mesófilas	
	Escenario 03	
	20% CO₂	
	pH	Temperatura °C
1	6,9	19 °C
2	7,8	19 °C
3	7,8	21 °C
4	7,5	21 °C
5	7,5	23 °C
6	7	20 °C
7	7	20 °C
8	7,3	19 °C

Se determinó la biomasa producida por la siguiente ecuación:

Dónde:

P = Biomasa producida = ¿?

PS = Peso seco = 19,88 g

PSDM = Peso seco después de la mufla = 9,55 g

V = Volumen de cultivo secado = 2,10

$$P = (PS - PSDM) / V$$

$$P = (19,88g - 9,55g) / 2,10L$$

$$P = 4,9190 \text{ g/L}$$

Se puede concluir que al ingresar 05% de CO₂ al biofiltro con microalgas se produce 4,9190 g/L de biomasa seca.

Para determinar la concentración de CO₂ absorbido empleamos la siguiente fórmula:

$$P = \text{Producción de biomasa seca (g/L*d)} = 4,9190 \text{ g/L*d}$$

$$C = \text{Carbón que contiene la biomasa} = 2,066$$

$$\text{M.M CO}_2 = \text{Peso molecular de CO}_2 = 44,01g$$

$$\text{M.M. C} = \text{peso molecular de C} = 12,0107$$

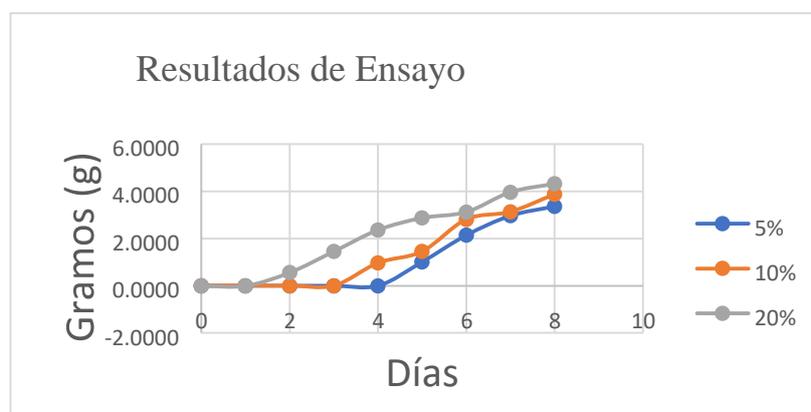
$$\text{Concentración de CO}_2 = P * C * \text{M.M CO}_2 / \text{M.M C}$$

$$\text{Concentración de CO}_2 = 4,9190 \text{ g/L*d} * 2,066 * 44,01g / 12,0107 \text{ g}$$

$$\text{Concentración de CO}_2 = 37,2383 \text{ g/L*d}$$

En este tercer escenario el biofiltro produjo 4,9190 g/L de biomasa seca y absorbió una concentración de CO₂ de 37,2383 g/L*d.

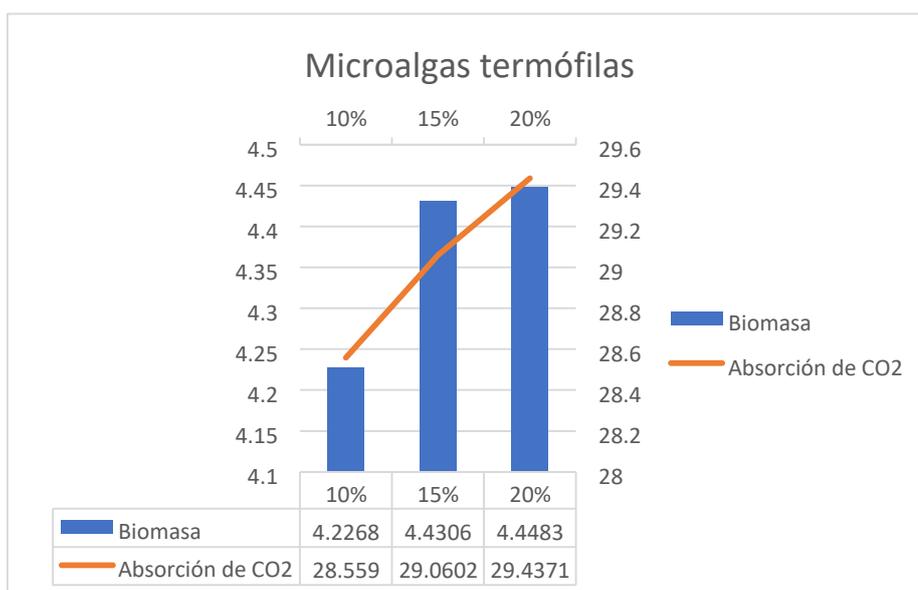
Gráfico 8. Resultado de Ensayo para microalgas mesófilas



Se puede observar en el grafico anterior que la concentración óptima para el crecimiento de biomasa en microalgas mesófilas es de 20% de CO₂.

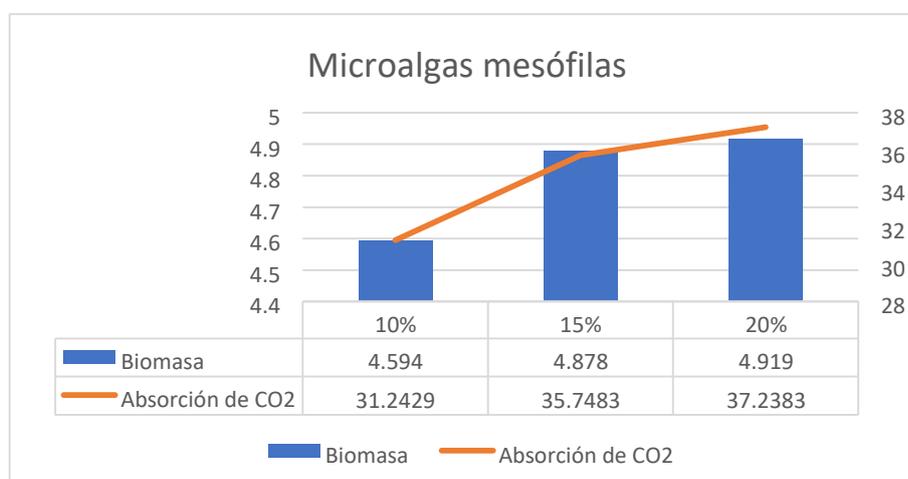
Como se puede observar, según los resultados de los ensayos para el biofiltro con microalgas termófilas la concentración que fue óptima para el crecimiento de estas y mayor producción de biomasa fue de 20% de CO₂, ya que se produjo 4,4483 g/L de biomasa y así mismo tuvo mayor absorción de CO₂ con 29,4371 g/L*d superior a las concentraciones de 5% y 10%, como se puede observar en la siguiente figura.

Gráfico 9. Resultado de biomasa y absorción de CO₂ para microalgas termófilas



Para el caso de las microalgas mesófilas, la concentración óptima fue de 20% de CO₂, ya que tuvo mayor producción de biomasa 4,9190 g/L y la absorción de CO₂ fue óptima de 37,2383 g/L*d.

Gráfico 10. Resultado de biomasa y absorción de CO₂ para microalgas mesófilas



IV. DISCUSIÓN

La zona de estudio corresponde a las aguas termales localizadas al noreste de Santiago de Chuco, en el distrito de Cachicadán. Ubicado a 183 km al este de Trujillo (6 horas en auto). Allí, en las faldas del cerro La Botica, al este del barrio San Miguel, posee cinco manantiales y dos ojos de agua, Cachicadán verano y Cachicadán invierno, ambas alimentadas por filtraciones de agua muy rica en fierro y magnesio. Las aguas termales son de color rojizo y su temperatura promedio es 71°C (160°F). Las aguas de esta fuente emergen desde la base de un cerro llamado La Botica, a 71°C (MINCETUR,2009).

En la presente tesis se agregaron tres porcentajes de CO₂ divididos en escenas, la escena 1 fue de 5% con una biofijación de 28,559 g/L*d para termófilas y para mesófilas 31,2429 g/L*d, la escena 2 fue de 10% con una biofijación de 29,0602 g/L*d para termófilas y para mesófilas 35,7483 g/L*d y la escena 3 fue de 20% con biofijación de 29,4371 g/L*d para termófilas y para mesófilas 37,2383 g/L*d, este procedimiento se realizó en los dos tipos de microalgas, las termófilas y la mesófilas. Estos resultados tienen relación con los resultados obtenidos por Pedraza y Prada (2018) en su artículo titulado “Evaluación de la biofijación de CO₂ y producción de biomasa a partir de las microalgas bajo condiciones de fotobiorreactor escala laboratorio donde concluyo que agregando CO₂ (0-3%) se obtuvo una biofijación de 1,70 g/L*d para *Chlorella vulgaris* y 1,66 g/L*d para *Scenedesmus dimorphus* y agregando (6-9%) CO₂, se obtuvo una retención de 2,25 g/L*d de CO₂, caso contrario en la microalga *Chlorella vulgaris* la cual obtuvo una biofijación de 1,65g/L*d”(p.69).

Se obtuvo mayor fijación de CO₂ en el escenario 3 con una concentración de 20% de dióxido de carbono pertenecientes en el biofiltro de las microalgas mesófilas, resultado 37,2383 g/L*d. Se realizó un estudio de cantidad de biofijación en la investigación realizada por Barajas y Sierra (2017) realizaron una investigación denominada “Evaluación de procesos necesarios para captación y/o almacenamiento de CO₂ como una medida de reducción al impacto ambiental la cual tuvo como mayor resultado de biofijación de CO₂ 0.2 gCO₂/L*d1” (p. 5). Este último resultado nos afirma que nuestra tesis obtuvo mayor cantidad de biofijación de CO₂.

En cuanto a la obtención de biomasa, la presente tesis obtuvo como resultados en sus tres escenarios de 5%, 10% y 20% de concentración de dióxido de carbono una biomasa de microalgas termófilas de 4.2268 g/L, 4.4306 g/L y 4.4483 g/L y para microalgas mesófilas

4.5940 g/L, 4.8780 g/L y 4.9190 g/L, respectivamente. Velasco (2016) “desarrollo una investigación utilizando dos especies de microalgas mesófilas las cuales se adaptaron a condiciones mixotróficas. También realizó la formación de tres escenarios donde agregó diferentes concentraciones de CO₂ las cuales fueron de 5%, 10% y 15% obtenido como resultado la mayor eficiencia en captación de CO₂ al 10% de 12,273 g/L de biomasa” (p.57). El resultado obtenido fue por un error de manejo del biofiltro ya que este no recibió el adecuado vertimiento de CO₂, caso contrario sucedió con la presente tesis donde se determinó como eficiente al que presenta mayor porcentaje de CO₂ siendo este el 20% de concentración fija obteniendo una biomasa seca de 4.9190 g/L.

Según el estudio realizado por Sandoval y Rubio (2018) donde sostuvo que las microalgas mesófilas la cual obtuvo mayor eficiencia en cuanto a captación de dióxido de carbono y crecimiento de biomasa, determinado una cantidad de 0.55 g L⁻¹ d⁻¹ de biofijación (p. 157). Con ello corroboramos la eficiencia y concordancia obtenida por la presente tesis la cual presentó con una mayor eficiencia de biofijación a las microalgas mesófilas con una biofijación de 37,2383 g/L*d.

V. CONCLUSIONES

El sistema de biofiltración con microalgas termófilas y mesófilas absorbe dióxido de carbono a través de la digestión anaerobia que realizan las microalgas al alimentarse del CO₂ que es ingresado al medio.

Las microalgas termófilas y mesófilas tienen la capacidad y alta tolerancia a cambios de factores como pH y temperatura para desarrollarse. La administración de las distintas concentraciones de CO₂ tuvo reacción en el pH de cada escenario ya que hizo acidificar el medio, bajando los niveles de pH, siendo negativo para el ATP y ADN presentando deficiencia para la estructura y consistencia de las microalgas, a pesar de ello, al pasar los días se estabilizó al aumentar la biomasa. Por lo cual, el pH, óptimo para su crecimiento es de 7.

En el sistema de biofiltro con microalgas termófilas se obtuvo mayor biomasa seca en el escenario número tres (20% CO₂ suministrado), con la cantidad de 4.4483 g/L, siendo superior al escenario dos (15% de CO₂ suministrado) con 4.4306 g/L, y al primer escenario (5% de CO₂ suministrado) con 4.2268 g/L. En el sistema de biofiltro con microalgas mesófilas se obtuvo mayor biomasa en el escenario tercero (20% de CO₂ suministrado) con 4.9190 g/L, siendo superior al escenario 1 (5% de CO₂ suministrado) con 4.5940 g/L y al

segundo escenario (10% de CO₂ suministrado) con 4.8780 g/L. Por lo que se puede concluir que mientras más concentración de CO₂ ingresado al medio de biofiltro mayor crecimiento de biomasa.

La concentración de ingreso de CO₂ a los sistemas de biofiltro fue de 5%, 10%, 20% respectivamente, para las microalgas termófilas y mesófilas, los cuales fueron pruebas para el crecimiento de la biomasa de microalgas. En el ensayo primero a una concentración de 5% de CO₂, las microalgas termófilas absorbieron 28.5% del CO₂ inyectado. A una concentración de 10% de CO₂ suministrado, las microalgas termófilas absorbieron 29.06% del CO₂. A una concentración de 20% de CO₂, las microalgas termófilas absorbieron 29.43% de CO₂ ingresado en el medio. Para las microalgas mesófilas, a una concentración de 5% de CO₂ suministrado, éstas absorbieron un 31.25%, a una concentración de 10% de CO₂ ingresado, las microalgas mesófilas absorbieron 35.74% de CO₂, finalmente al suministrar 20% de CO₂, las microalgas mesófilas absorbieron 37.23% de CO₂.

VI. RECOMENDACIONES

Se requiere colocar un sistema de filtro de gases en caso sea considerado implementar a mayor escala y suministrar flujo de gas real, debiendo estudiar los gases que ingresan en conjunto con el CO₂ para evitar contaminación de las microalgas en el medio de biofiltro. También se podría proseguir con la investigación con las microalgas termófilas y mesófilas, puesto que cuentan con alto poder de remoción de contaminantes además del CO₂ y su alto potencial de generar biomasa y se podría gestionar e implementar los sistemas de biofiltro en zonas donde se ha perdido la capacidad de cultivar árboles y de alta contaminación ambiental, para capturar gases de combustión.

Sería de vital importancia ampliar el ámbito de estudio en la capacidad de captación de CO₂ mediante las microalgas psicrófilas en conjunto a las microalgas mesófilas y termófilas.

VII. REFERENCIAS

- AMPUERO, Wendy. Estimación del carbono almacenado en la comunidad del Junco (*Schoenoplectus americanus*) bajo dos escenarios de crecimiento en el humedal costero Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa (Lima-Perú). Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Científica del Sur, Facultad de Ciencias Ambientales, 2018.
- APARCANA, Felix y OLIVERA, César. Eficiencia del Carbón Activado a base de Pepas de Níspero de Palo (*Mespilus communi*) en la remoción del Dióxido de Carbono (CO₂) para mejorar la Calidad del Aire. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2018.
- ARIAS, Fidias. El proyecto de investigación. 6ta ed. Caracas: Navarro, 2012. 190pp. ISBN 980-07-8529-9.
- BARAJAS, Lizbeth y SIERRA, Emerson. *Evaluación De Procesos Necesarios Para Captación Y / O Almacenamiento De Co 2 Como Una Medida De Reducción Al Impacto Ambiental Capture and Storage of Co 2 in the Industry As Measure*. Revista El Reventón Energético, vol. 15 (2): 79–88, 2017.
- Incrementos de CO₂ en el ambiente y sus posibles efectos [Mensaje en un blog]. Colombia: Biogenicolombia (1 de julio del 2017) . [Fecha de consulta: 5 junio 2019]. Recuperado de <http://blogs.eltiempo.com/biogenic-colombia/2015/02/20/incrementos-de-co2-en-el-ambiente-y-sus-posibles-efectos/>.
- CANADELL, Josep y CARLSON, David. *El balance anual global del carbono*. Revista de la OMM, vol. 66 (1): 34–3, 2017. ISSN 18663516
- CANSINO, José M., SÁNCHEZ-BRAZA, Antonio y RODRÍGUEZ-ARÉVALO, María. *How can Chile move away from a high carbon economy?*. Energy Economics, vol. (69): 350–366, 2018. ISSN 01409883
- GARCIA, Patricia . *Microalgas y biocombustibles*. Escuela de organización industrial [en línea]. Julio 2018, n°3. [fecha de Consulta: 22 de junio del 2019]. Disponible en: <https://www.eoi.es/blogs/merme/microalgas-y-biocombustibles/>.
- GONZÁLEZ, Raúl, 2012. *Emisiones de co2*. twenergy [en línea]. Febrero 2012. [Fecha de consulta: 22 de Junio de 2019]. Disponible en: <https://twenergy.com/a/emisiones-de-co2-458>.

- GRUBB, Michael, SHA, Fu, SPENCER, Thomas, HUGHES, Nick, ZHANG, Zhongxiang y AGNOLUCCI, Paolo. *A review of Chinese CO2 emission projections to 2030: the role of economic structure and policy*. *Climate Policy*, vol. 15 (1): 7–39, 2015. ISSN 17527457.
- GUTIÉRREZ, Humberto y DE LA VARA, Román, *Análisis y Diseño de Experimentos*. México: s.n. 2008. ISBN 978-970-10-6526-6.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P., *Metodología Investigación*. 6ta ed. México D.F., 2014. ISBN 978-607-15-0291-9.
- HORTON, Robert, MORAN, Laurence A., SCRIMGEOUR, K. Gray, PERRY, Marc D. y RAWN, J. David. *Principio de Bioquímica*. México D.F, 2008.
- HURTADO, Jacqueline, *Metodología de la Investigación*. Caracas: Venezuela, 2001. ISBN 980-6306-06-6.
- INSTITUTO nacional de la ecología y cambio climático. Biofiltración. [en línea]. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/biofiltra.html>.
- JERÍ, Nathaly. Efecto de la concentración de dióxido de carbono y agitación del cultivo sobre la fijación de carbono por la microalga *Phaeodactylum tricornutum*, 2018. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2018.
- KIM, Hyunjung. *Biological and Chemical Investigation of Cultured Cyanobacteria*. Tesis (Doctor of Philosophy in Pharmacognosy). Chicago: University of Illinois, the Graduate College, 2012. 230 pp.
- MINISTERIO del ambiente, 2014. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. INFOCARBONO* [en línea]. Disponible en: <http://infocarbono.minam.gob.pe/inventarios-nacionales-gei/intro/>.
- MORALES, Tamara. *Estudio del potencial de fotobiorreactores tubulares para la captura de CO2 de gases de combustión y conversión de biogás a biometano*. Tesis (Título de Ingeniero química). Valladolid: Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales, 2017.
- OLIART-ROS, Rosa María, MANRESA-PRESAS, Ángela y SÁNCHEZ-OTERO, María Guadalupe. *Utilización de microorganismos de ambientes extremos y sus productos en el desarrollo biotecnológico products in biotechnological development*. *CienciaUAT*, vol. 11 (1): 79–90, 2016.

- OPENSTAX CNX, 2017. Using Light Energy to Make Organic Molecules. [en línea].
 Disponible en: <https://cnx.org/contents/NrNGneVh@8/Using-Light-Energy-to-Make-Organic-Molecules>.
- PALELLA, Mario y MARTINS, Fernando. Metodología de la investigación cuantitativa. Caracas, 2012. pp. 207-212. ISBN 980-273-445-4.
- PEDRAZA, María y PRADA, María. Evaluación de la biofijación de CO₂ y producción de biomasa a partir de las microalgas bajo condiciones de fotobiorreactor a escala de laboratorio. Tesis (Título de Ingeniero químico). Bogotá: Fundación Universidad de América, Facultad de Ingeniería, 2018.
- PINILLA, Maribel y DE CORSO, Giuseppe. *Análisis De La Política Energética a Partir Del Cumplimiento De La Reducción De Emisiones De Dióxido De Carbono (CO₂) Entre Países De América Latina Con Economía Extractivista*. Revista Facultad de Ciencias Básicas, vol. 1 (1): pp. 34–43, 2018. ISSN 1900-4699.
- RODRÍGUEZ, María Luisa. Analysis of the main drivers of CO₂ emissions in different economies: the Spain and Chile cases [en línea]. Tesis (Doctorado en Ciencias Económicas, Empresariales y Sociales). Sevilla: Universidad de Sevilla, Dpto. Análisis Económico y Economía Política, 2018. Disponible en: <https://idus.us.es/xmlui/handle//11441/76275>.
- RUCOBA, Jorge. Eficiencia en la captura de carbono atmosférico a partir de cuatro géneros de algas fotosintéticas en el distrito de Moyobamba-2015. S.l.: Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Nacional de San Martín-Tarapotor, Facultad de Ecología, 2018.
- SÁNCHEZ, Javier, 2017. El impacto medioambiental del dióxido de carbono. Ecología verde [en línea]. [Fecha de consulta: 22 de Junio del 2019]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/el-impacto-medioambiental-del-dioxido-de-carbono-1334.html>.
- SANDOVAL, Juan y RUBIO, Diego. *Uso potencial de microalgas para mitigar los efectos de las emisiones de dióxido de carbono*. Fundación Universidad de América Revista de Investigación. vol. 10 (2): pp. 153–164, 2018. ISSN 2011-639X.
- TAMAYO, Mario, El proceso de la investigación científica. 4ta edició. México D.F.: 2003.

ISBN 968-18-5872-7.

- VALENCIA, María Fernanda, 2018. Obtención y caracterización de biomasa partir de *Fischerella muscicola* para aplicación en biocombustibles. Tesis. (Maestría en Gestión Ambiental). Quito: Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, 2018, pp 47.
- VÁZQUEZ-ROWE, Ian, KAHHAT, Ramzy, LARREA-GALLEGOS, Gustavo y ZIEGLER-RODRIGUEZ, Kurt. *Peru's road to climate action: Are we on the right path? The role of life cycle methods to improve Peruvian national contributions*. Science of the Total Environment [en línea]. vol. 659, pp. 249–266, 2019. ISSN 18791026.
- Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.322>.
- VÁZQUEZ, Roberto. Efecto de la limitación de Nitrógeno y Fósforo en la producción de lípidos en cultivos de las microalgas verdes *Scenedesmus obliquus* y *Scenedesmus* sp. Argentina, 2018. pp 52.
- VELASCO, Jorge. Evaluación de la captura de CO₂ mediante biofiltros con la utilización de microalgas. Tesis (Ingeniero Ambiental en Prevención y Remediación). Quito: Universidad de las América, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, 2016.
- YUNGA, Johana. Caracterización de microalga *Fischerella Muscicola*, para evaluar la biomasa y su potencial uso en la industria alimentaria: Tesis (Magiste en Gestion Ambiental). Quito: Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales, 2018.
- QIULIAN, Yang, HAITAO, Li, DONG, Wang, XIOCHUN, Zhang, XIANGQIAN, Guo y RUIXIN, Guo. Utilization of chemical wastewater for CO₂ emission reduction: Purified terephthalic acid (PTA) wastewater-mediated culture of microalgae for CO₂ bio-capture. Revista Science Direct [En línea]. Vol. 250, pp. 256-289, 2019. [Fecha de consulta: Diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626192031014X>
- MOREIRA, Diana y PIRES, Jose. *Atmospheric CO₂ capture by algae: Negative carbon dioxide emission path*. Revista Science Direct [En línea].vol 21, pp 371- 379, 2016. [Fecha de consulta: 12 de Julio del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852416303546>
- ARORA, Phatham, CHACE, Ronald, REALF, Matthew y THOMAS, Valeria. *Life cycle greenhouse gas emissions of different CO₂ supply options for an algal biorefinery*.

- Revista Science Direct [En Linea]. Vol. 40, pp. 101, 2019. [Fecha de consulta: 15 de septiembre del 2019]. Disponible en :
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212982020301803>
- MAHMUD, Ashak, WU, Tao, LESTER, Edward y MARETA, Sannia. *Gasification reactivity and synergistic effect of conventional and microwave pyrolysis derived algae chars in CO2 atmosphere*. Revista Science Direct [En Linea]. Vol. 92, pp 730-740, 2019. [Fecha de consulta: 26 de Julio del 2019]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S174396711730925X>
- PIRES, Joe. *Negative emissions technologies: A complementary solution for climate change mitigation*. Revista Science Direct [En Linea]. Vol. 672, pp 502- 514, 2019. [Fecha de consulta: 21 de Agosto del 2019]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719315177>
- KANG, Juhyon y WEN, Zhiyou. *Use of microalgae for mitigating ammonia and CO2 emissions from animal production operations — Evaluation of gas removal efficiency and algal biomass composition*. . Revista Science Direct [En Linea].vol 11, pp. 204-210, 2015. Fecha de consulta: 21 de Agosto del 2019]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926415300060>

Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>General</p> <p>¿De qué manera un sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas podrá absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire, Lima 2019?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>¿Cuáles serán las condiciones de operación del sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire?</p> <p>¿Cuál será la biomasa obtenida del sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire?</p> <p>¿Cuál será la concentración de ingreso de CO₂ al sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire?</p> <p>¿Cuál será el porcentaje de absorción de CO₂ en el sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire</p>	<p>General</p> <p>El objetivo general de la investigación es determinar la manera en que un sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas podrá absorber dióxido de carbono (CO₂) del aire</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar las condiciones de operación del sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire.</p> <p>Determinar la biomasa obtenida del sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire.</p> <p>Determinar la concentración de ingreso de CO₂ al sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire</p> <p>Determinar el porcentaje de absorción de CO₂ en el sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire.</p>	<p>General</p> <p>El sistema de biofiltración a base de microalgas termófilas y mesófilas podrá absorber dióxido de carbono (CO₂) del aire en un 30%.</p> <p>Hipótesis Específicas</p> <p>Se determinará de manera significativa las condiciones de operación del sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire</p> <p>Se determinará de manera significativa la biomasa obtenida del sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire</p> <p>Se determinará de manera significativa la concentración de ingreso de CO₂ al sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire</p> <p>Se determinará de manera significativa el porcentaje de absorción de CO₂ en el sistema de biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas, para absorber Dióxido de carbono (CO₂) del aire</p>	<p>Dependiente:</p> <p>Absorción de dióxido de carbono (CO₂) del aire de Lima.</p> <p>Independiente:</p> <p>biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>Aplicada</p> <p>Diseño de la investigación</p> <p>Experimental</p> <p>Población</p> <p>Para la realización de este estudio se toma como población al conjunto de micro algas termófilas y al conjunto de microalgas mesófilas Chlorella Sp.</p> <p>Muestra</p> <p>Una cepa proveniente de las microalgas termófilas y mesófilas</p>

Anexo 2. Ficha de entrega de cepas de microalgas mesófilas

 **PERÚ** Ministerio de la Producción

 **IMARPE**
INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres" (2018-2027)
"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

FICHA DE ENTREGA DE CEPAS N° 014-2019

Mediante la RDEC N° 197- 2017 IMARPE/DEC, se aprueba la modificación del texto Único de Servicios No Exclusivos TUSNE del Instituto del Mar del Perú-IMARPE, el cual aprueba, entre otros, la venta de cepas del Banco de Germoplasma de Organismos Acuáticos.

En consecuencia, se entrega en calidad de venta con fines de investigación, la cepa de *Chlorella sp BG-IMP 020* del Banco de Germoplasma de Organismos Acuáticos del Instituto del Mar del Perú(BGOA); a la estudiante Lourdes Priscila Camacho Solis, para la realización de la tesis « comparación de biofiltración a base de microalgas termofilas y mesofilas para absorber dióxido de carbono del aire » de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería Ambiental.

Nombre de la cepa : *Chlorella sp*
Temperatura de cultivo : 18 °C
Medio de Cultivo : Medio Chu
Cantidad : un(1) tubo de 10 mL

 AFIA FLORES

Firma :

Nombre :
DNI :
Institución/ Universidad :
Área/ Laboratorio/Facultad :
Fecha :

EL PERÚ PRIMERO

Instituto del Mar del Perú | Esquina Gamarra y General Valle s/n, Chucuito - Callao | T. (051) 208 8650 | www.imarpe.gob.pe

Anexo 3. Ficha de Condiciones de Operación



"Biofiltración a base de microalgas termófilas y mesófilas para absorber dióxido de carbono del aire, Lima 2019"

FICHA DE CONDICIONES DE OPERACIÓN

Día	Variable independiente: Sistema de Biofiltración mediante microalgas termófilas y mesófilas					
	Microalgas mesófilas					
	Escenario 01		Escenario 02		Escenario 03	
	05 % CO ₂		10% CO ₂		20% CO ₂	
	pH	Temperatura °C	pH	Temperatura °C	pH	Temperatura °C
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						


 Carlos H. Alfaro Rodríguez
 CIP: 37913


 Jorge L. López Barrios
 CBP 8932


 Freddy Pulpa
 CIP: 196897

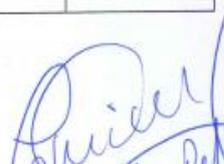
Anexo 4. Ficha de registro de concentración de ingreso y absorción de CO₂

FICHA DE REGISTRO DE CONCENTRACIÓN DE INGRESO Y ABSORCIÓN DE CO₂

Absorción de CO ₂ (g/L*d)	Variable dependiente: Absorción de dióxido de carbono (CO ₂) del aire.					
	Microalgas termófilas			Microalgas mesófilas		
	DÍA	05% CO ₂	10% CO ₂	20% CO ₂	05% CO ₂	10% CO ₂
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						


 Carlos H. Alfaro Rodríguez
 CIP: 37913


 Jorge L. López Bulnes
 CBP 8932


 Freddy Peña
 CIP: 196897

Anexo 5. Ficha de porcentaje de Biomasa

FICHA DE PORCENTAJE DE BIOMASA

% de Biomasa obtenido (g/L)	Variable independiente: Sistema de Biofiltración mediante microalgas termófilas y mesofilas					
	Microalgas termófilas			Microalgas mesofilas		
	05% CO ₂	10% CO ₂	20% CO ₂	05% CO ₂	10% CO ₂	20% CO ₂
DÍA						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						


 Carlos H. Alfaro Rodriguez
 CIP: 37913


 Jorge L. Lopez Balboa
 CBP: 8932.


 Freddy Pullpa
 CIP: 196897

	ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 10 Fecha : 10-06-2019 Página : 1 de 1
---	--	---

Yo, ELMER GONZALES BENITES ALFARO docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, revisor(a) de la tesis titulada **"BIOFILTRACION A BASE DE MICROALGAS TERMOFILAS Y MESOFILAS PARA ABSORBER DIOXIDO DE CARBONO DEL AIRE, LIMA 2019"**, del (de la) estudiante LOURDES PRISCILA CAMACHO SOLIS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13...% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin. El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Lima, 30 de diciembre de 2019



ELMER GONZALES BENITES ALFARO
DNI: 07867259

Elaboró	Dirección de investigación	Revisó	Responsable del SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	---------------------	--------	---------------------------------



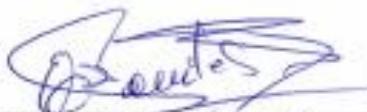
ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Código : F06-PP-PR-02.02
Versión : 10
Fecha : 10-06-2019
Página : 1 de 1

Yo, ELMER GONZALES BENITES ALFARO docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, revisor(a) de la tesis titulada "BIOFILTRACION CON MICROALGAS MESOFILAS Y TERMOFILAS PARA ABSORBER DIOXIDO DE CARBONO DEL AIRE, LIMA 2019.", del (de la) estudiante MIRELLA NANHESKA MALCA ESQUERRE, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13 % verificable en el reporte de originalidad del programa Turnin.

El/ta suscrita (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Lima, 17 de diciembre de 2019



ELMER GONZALES BENITES ALFARO
DNI: 07567259

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable del SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	---------------------	--------	---------------------------------



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL

"Biofiltración a base de microalgas termófilas y mesófilas para absorber dióxido de carbono del aire, Lima 2019"

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL

AUTORAS:

Mirella Nanheska Malca Esquerre (ORCID: 0000-0002-1169-404X)
Lourdes Priscila Camacho Solis (ORCID: 0000-0003-2185-4091)

ASESOR:

Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro (ORCID: 0000-0003-1504-2089)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los recursos naturales

LIMA - PERÚ

2019

Resumen de coincidencias

13 %

So están viendo fuentes estándar

Ver fuentes en inglés (Beta)

Coincidencias

1	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	1 %
2	www.scielo.org.pe Fuente de Internet	1 %
3	dspace.unlru.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	ddd.uab.cat Fuente de Internet	1 %
5	Entregado a Fundacion... Trabajo del estudiante	1 %
6	revistas.uis.edu.co Fuente de Internet	1 %
7	buleria.unileon.es Fuente de Internet	1 %
8	www.ambientalex.info Fuente de Internet	1 %
9	www.revistaciencia.uat... Fuente de Internet	<1 %
10	dspace.udla.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
11	Entregado a UNIV DE L... Trabajo del estudiante	<1 %



**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE
TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL
UCV**

Código : F08-PP-PR-02.02
Versión : 10
Fecha : 10-06-2019
Página : 1 de 1

Yo Lourdes Priscila Camacho Solis, identificado con DNI N° 48594242,
egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la
Universidad César Vallejo, autorizo (), No autorizo () la divulgación y
comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "Biofiltración
a base de microalgas termófilas y mesófilas para absorber dióxido de
carbono del aire, Lima 2019"; en el Repositorio Institucional de la UCV
(<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto
Legislativo 822, Ley sobre Derechos de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

FIRMA

DNI: 48594242

FECHA: 19 de Diciembre del 2019

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	--------------------	--------	---------------------------------



**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE
TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL
UCV**

Código : F06-PP-PR-02.02
Versión : 10
Fecha : 10-06-2019
Página : 1 de 1

Yo Mirella Nanheska Malca Esquerre, identificado con DNI N° 73262963,

egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, autorizo (), No autorizo () la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "Biofiltración a base de microalgas termófilas y mesófilas para absorber dióxido de carbono del aire, Lima 2019"; en el Repositorio Institucional de la UCV [<http://repositorio.ucv.edu.pe/>], según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derechos de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

FIRMA

DNI: 73262963

FECHA: 19 de Diciembre del 2019

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	--------------------	--------	---------------------------------



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE
LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

Camacho Solis, Lourdes Priscila

INFORME TÍTULADO:

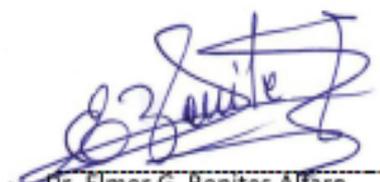
"Biofiltración a base de microalgas termófilas y mesófilas para absorber dióxido de carbono del aire, Lima 2019".

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERO(A) AMBIENTAL

SUSTENTADO EN FECHA: 12:00:00 AM

NOTA O MENCIÓN: 16



Dr. Elmer G. Benites Alfaro
Encargado de investigación
CIP 71938

Fecha exp: 22/07/2020

Numero_40/07-2020



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE
LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

Malca Esquerre, Mirella Nanheska

INFORME TÍTULADO:

"Biofiltración a base de microalgas termófilas y mesófilas para absorber dióxido de carbono del aire, Lima 2019".

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERO(A) AMBIENTAL

SUSTENTADO EN FECHA: 12:00:00 AM

NOTA O MENCIÓN: 16


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
Encargado de Investigación
CP 1998

Fecha exp:22/07/2020

Numero_40/07-2020