



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Efecto del cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* para la biocaptación de dióxido
de carbono a nivel de laboratorio, Chiclayo.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES:

Renzo, Peña Cordero (ORCID: 0000-0002-2918-4849)

Yackelyn, Peña Cordero (ORCID: 0000-0003-3575-8711)

ASESOR:

Dr. John William, Caján Alcántara (ORCID:0000-0003-2509-9927)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

CHICLAYO - PERÚ

2020

Dedicatoria

La presente tesis se la dedicamos a Dios por darnos vida y lucidez que nos permitió lograr cumplir nuestras metas y sueños. A nuestros amados padres María Luisa Cordero Mateo y Ramiro Peña Jiménez por sus innumerables esfuerzos a lo largo de nuestras vidas por siempre querer lo mejor para nosotros en todos los aspectos de nuestras vidas. A nuestros tíos, tías, primos, primas y sobrinos que, aunque no lo nombramos aquí siempre están presentes en nuestros corazones y pensamientos, agradecemos por todos esos momentos que nos incentivaron a nunca darnos por vencidos. A nuestros queridos amigos Rosmil Vargas, Diana Carolina Pillaca, Yudith Montero, Andy Abad y Yaki Cieza por todos esos momentos inolvidables que pasamos en el transcurso de la vida universitaria y por su apoyo en todo momento.

Renzo y Yackelyn

Agradecimiento

Universidad Nacional Agraria la Molina, Centro de Investigación Piscícola CINPIS, Centro de Investigación de Química, Toxicología y Biotecnología Ambiental y al Laboratorio de Biología Ambiental, por permitirnos poder solicitar la información necesaria para la realización de la presente tesis.

Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque, EPSEL. S.A., Área de Control de Calidad, por permitirnos solicitar la realización los análisis fisicoquímicos necesarios dentro de sus instalaciones, estudios necesarios para la realización de la presente tesis.

Servicios de investigación biológica E.I.R.L. por permitirnos solicitar la realización los análisis microbiológicos necesarios dentro de sus instalaciones, estudios requeridos para la realización de la presente tesis.

A los docentes Dr. John William Caján Alcántara y a la Dra. Bertha Gallo Gallo por su apoyo incondicional en el desarrollo de la presente tesis.

Renzo y Yackelyn

Página del jurado

Declaratoria de autenticidad

Nosotros, Renzo Peña Cordero, identificado con DNI N° 72933222 y Yackelyn Peña Cordero identificada con DNI N° 72933221 alumnos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo filial Chiclayo, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis titulada “Efecto del cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* para la biocaptación de dióxido de carbono a nivel de laboratorio, Chiclayo”.

- 1) La tesis es de nuestra autoría.
- 2) La tesis no ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
- 3) La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente.
- 4) Los datos presentados en la presente Tesis son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tanto asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión de los documentos como de información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Pimentel, 2020


.....
Peña Cordero Renzo
DNI: 72933222


.....
Peña Cordero Yackelyn
DNI: 72933221

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Página del jurado	iv
Declaratoria de autenticidad	v
Índice	vi
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MÉTODO	20
2.1. Tipo y Diseño de investigación	20
2.2. Operacionalización de las Variables	21
2.3. Población, muestra y muestreo	23
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	23
2.5. Método de análisis de datos	24
2.6. Aspectos éticos	24
III. RESULTADOS	25
3.1. Análisis del medio de cultivo de la especie de microalga <i>Scenedesmus sp.</i> a antes de la inyección de dióxido de carbono en el fotobiorreactor	25
3.2. Aplicación de concentraciones de dióxido de carbono en el fotobiorreactor para la especie de microalga <i>Scenedesmus sp</i>	26
3.3. Evaluación del efecto del dióxido de carbono inyectado en el cultivo de la microalga <i>Scenedesmus sp</i>	27
3.4. Análisis del nivel de efectividad de biocaptación de dióxido de carbono de la microalga <i>Scenedesmus sp</i>	33
IV. DISCUSIÓN	38
V. CONCLUSIONES	48
VI. RECOMENDACIONES	49
REFERENCIAS	50

ANEXOS	56
Acta de aprobación de originalidad de tesis	77
Reporte de turnitin	78
Autorización de publicación de tesis en el repositorio institucional UCV	79
Autorización de la versión final del trabajo de investigación	80

Índice de figuras

Figura 01. Evaluación del efecto del CO ₂ en el parámetro de turbidez.	27
Figura 02. Evaluación del efecto del CO ₂ en el parámetro de pH	28
Figura 03. Evaluación del efecto del CO ₂ en el parámetro de grados centígrados.	29
Figura 04. Evaluación del efecto del CO ₂ en el parámetro de color.	30
Figura 05. Evaluación del efecto del CO ₂ en el parámetro de conductividad eléctrica.	31
Figura 06. Evaluación del efecto del CO ₂ en el parámetro de Sólidos Totales Disueltos.	32
Figura 07. Análisis en porcentaje de materia orgánica (carbono) en la biomasa.	33

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Análisis fisicoquímicos del medio de cultivo</i>	25
Tabla 2. <i>Valores de dióxido de carbono inyectado por semana</i>	26
Tabla 3. <i>Análisis fisicoquímicos del medio de cultivo</i>	34
Tabla 4. <i>Datos del cultivo de microalga Scenedesmus sp. en la biocaptación de CO₂</i>	35
Tabla 5. <i>Valores de dióxido de carbono biocaptado según el tiempo expuesto</i>	36
Tabla 6. <i>Valores de dióxido de carbono biocaptado según el tiempo expuesto</i>	37

RESUMEN

La presente tesis titulada el Efecto del cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* para la biocaptación de dióxido de carbono a nivel de laboratorio, Chiclayo, se planteó con el propósito de adoptar una solución a la problemática de contaminación atmosférica, por lo cual la investigación que se presenta, se centra en biocapturar el CO₂ que se libera a la atmósfera. Para ello recurrimos a un sistema de captura indirecta conocido como mitigación biológica, en la que se utilizan organismos fotosintéticos, en este caso las microalgas, para fijar el CO₂ presente en la atmosfera. El principal objetivo es el de determinar el efecto del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* para la biocaptacion de dióxido de carbono a nivel de laboratorio. La presente investigación es de tipo aplicada, según su tiempo de ocurrencia el proyecto es de tipo prospectivo debido a que este tipo de investigación se soporta en la investigación a través de los métodos científicos y empíricos, según periodo y secuencia el proyecto es de tipo longitudinal. Los resultados obtenidos después de realizar la investigación, arrojo que un cultivo de 2 litros de microalga *Scenedesmus sp.*, en un tiempo de cultivo de 7 semanas, es capaz de producir 17.76 mililitros de biomasa, biocaptando la cantidad de 9.98 mililitros de carbono- materia orgánica en 7 semanas, 1.43 mililitros de dióxido de carbono en 1 semana, en un día 0.28 mililitros, en una hora 0.01 mililitros y en un mes 5.72 mililitros, en un fotobiorreactor a nivel de laboratorio, demostrando de esta forma que es capaz de biocaptar el dióxido de carbono presente en la atmosfera.

Palabras claves: microalga, biocaptacion, dióxido de carbono, biomasa, y *Scenedesmus sp.*

ABSTRACT

This thesis entitled Effect of microalga culture *Scenedesmus sp.* for the biocaptation of carbon dioxide at the laboratory level, Chiclayo, is proposed with the purpose of adopting a solution to the problem of air pollution, so the research presented, focuses on biocapturing the CO₂ that is released to the atmosphere. For this we resort to an indirect capture system known as biological mitigation, in which photosynthetic organisms, in this case microalgae, are used to fix the CO₂ present in the atmosphere. The main objective is to determine the effect of *Scenedesmus sp.* for biocaptation of carbon dioxide at the laboratory level. The present investigation is of applied type, according to its time of occurrence the project is of prospective type because this type of research is supported in the research through the scientific and empirical methods, according to period and sequence the project is of longitudinal type. The results obtained after conducting the investigation with a 2-liter culture of *Scenedesmus sp.* Microalgae, in a 7-week culture time, is capable of producing 17.76 milliliters of biomass, biocapping the amount of 9.98 milliliters of carbon-organic matter in 7 weeks, 1.43 milliliters of carbon dioxide in 1 week, in a day 0.28 milliliters, in an hour 0.01 milliliters and in a month 5.72 milliliters, in a photobioreactor at laboratory level, demonstrating in this way that it is capable of biocapturing the carbon dioxide present in the atmosphere.

Keywords: microalgae, biocaptation, carbon dioxide, biomass and *Scenedesmus sp.*

I. INTRODUCCIÓN

La problemática del presente siglo se encuentra estrechamente ligada a los GEI (Gases de Efecto Invernadero), en especial el dióxido de carbono, este conforma aproximadamente más del 65% de las emisiones totales en el mundo, son responsables del cambio climático a escala global. El desmesurado aumento de concentraciones de CO₂ en la atmósfera, se ha convertido en uno de los problemas del siglo, ya que estudios han demostrado que altas concentraciones de CO₂ en la atmosfera originan consecuencias negativas en el ambiente y en el hombre a largo plazo.

La literatura dice que el cambio climático se define como una alteración provocada a causa del incremento de la temperatura en el planeta, cabe resaltar que el cambio climático hoy en día está catalogado por grandes expertos como una de las principales problemáticas que afecta al medio ambiente por lo que es uno de las adversidades más importantes al que hace frente el hombre.

Los antecedentes de las emisiones tienen inicio en la revolución industrial y la combustión de productos orgánicos, teniendo como origen los procedentes del petróleo entre otros, sin embargo, la deforestación de origen antrópica ha venido en aumento desencadenando graves problemas en el ambiente, estimulando de esta forma el incremento de los niveles de concentraciones de CO₂ en la atmosfera como la de otros gases que pueden resultar perjudiciales para el hombre.

Se tomo como ejemplo a Perú, donde podemos decir que las emisiones de CO₂ durante el periodo 2016 han crecido a 4.355 kilotoneladas en un 8,16% respecto a 2015. También evidencia que las emisiones de dióxido de carbono en 2016 han sido de aproximadamente 58.000 kilotoneladas, por lo que el Perú ostento el puesto 132 del ranking de países con grandes emisiones de CO₂.

Si se habla de contaminación por CO₂ nos estamos refiriendo a la contaminación del aire que nosotros respiramos, entonces hablamos de la contaminación del aire urbano, hoy en día este es considerado un serio problema en grandes ciudades del mundo como por ejemplo Londres en Reino Unido que está siendo afectada por el SMOG. El problema también está estrechamente

ligado al tráfico urbano, unida a las numerosas industrias que no llevan un monitoreo constante de sus emisiones, convirtiendo el aire de muchas ciudades en auténticas nubes de smog.

Expertos estiman que la contaminación atmosférica mató aproximadamente a más 7 millones de personas en 2012, lo que la posiciona en uno de los principales problemas de salud ambiental en todo el mundo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Las estadísticas indican que aproximadamente una de cada diez muertes en el mundo registradas en el año 2012 fue vinculada al aire por ser altamente contaminado.

Las enfermedades más características que padecen las personas víctima de este tipo de contaminación, son enfermedades respiratorias. Actualmente se habla de grandes masas de población expuestas a fuentes fijas de contaminación atmosférica debido a que estas carecen de espacios de protección sanitaria que garantice la integridad física de los pobladores; como las industrias que poseen chimeneas de alturas medias-bajas, por lo que incrementa la acción de contaminantes en sus emisiones, y que en la mayoría de los casos carece de medidas de monitoreo y control en la disminución de los contaminantes emitidos a la atmósfera.

Por ultimo no podemos dejar de mencionar el aumento de la economía y la urbanización, temas ligados al progreso de las distintas actividades teniendo como ejemplo la industria del petróleo, las actividades manufactureras, la agro industria y el aumento de las unidades vehiculares, cuyo fin conlleva a un consumo desmesurado de sustancias de combustión como el combustible; no podemos dejar de mencionar las actividades agropecuarias inapropiadas que conllevan a la generación de altos grados de contaminación, que al relacionarlas con los factores del ambiente pueden resultar perjudiciales para la salud humana, especies, ecosistemas y nuestros recursos naturales.

Es este el motivo que nos impulsó a adoptar una solución a esta problemática, la investigación que se trabajó en este proyecto de tesis, se centró en la biocaptación del CO₂ que es libreado a la atmósfera. Para ello se recurrió a un sistema de captura indirecta conocido como mitigación biológica, en la que se utilizaron organismos fotosintéticos, en este caso las microalgas para fijar el CO₂ presente en la atmosfera.

Tomando como antecedentes a nivel internacional, Díaz (2014), realizo una investigación en Chile titulada: Revisión de Antecedentes de Microalgas en el Uso de Biocombustibles y

Proyección para la Región de Arica y Parinacota. En este trabajo se abordó el tema de la producción de biocombustible a partir de microalgas como método de mitigación a la crisis energética y el potencial económico y tecnológico que reconocen países como Estados Unidos, Japón, Australia entre otros.

La investigación también describió el aprovechamiento de las microalgas biocaptadoras de dióxido de carbono, manifestando que, en cien toneladas de microalgas producidas, estas pueden lograr consumir aproximadamente 180 toneladas de dióxido de carbono, lo cual la convierte en una de las mejores opciones para combatir esta problemática ambiental que tanto aqueja a nuestra sociedad como al mundo,

También menciona a la especie *Scenedemus*, una especie que destaca dentro del perfil de lípido por su gran tolerancia a concentraciones altas de CO₂ mencionando a la vez su alta capacidad de absorber nutrientes provenientes de aguas residuales.

Santaella (2013), en su trabajo desarrollado en España denominado: Producción y Desarrollo de Cultivo de Algas para la Captación de Anhídrido Carbónico y la Producción de Biocombustible; En este trabajo se trató el tema del desarrollo de suministros energéticos incrementando la contribución de energía renovables, tocando el punto de la biotecnología y el de cultivo de microalgas para afrontar el tema principal de este trabajo que es la energía renovable.

A su vez también se logró usar como instrumento estas especies fotosintéticas en la biocaptación de dióxido de carbono procedentes de las industrias contaminantes, también se empleó su aprovechamiento como fuente de materia prima en el biocombustible y otros posibles derivados, además las microalgas fueron seleccionadas por su alta capacidad de biocaptación de dióxido de carbono.

Martínez (2009), en su investigación desarrollada en España: Eliminación de CO₂ con Microalgas Autóctonas; En este estudio se demostró la investigación por aislamiento, a través de la optimización de los parámetros de crecimiento que tuvo en cuenta la utilización de un fotobiorreactor a pequeña escala en el cultivo de especies de microalgas, cianobacteria autóctona para la biocaptación de dióxido de carbono.

Además demostró el crecimiento de tres especies una de ellas identificada como *Synechocystis* cianobacteria unicelular que tiene mayor potencia para la fijación de CO₂.

Giraldo (2013), en su tesis desarrollada en Colombia: Evaluación de Cepas de Microalgas para Captura de CO₂; logró afirmar que las microalgas son consideradas microorganismos de veloz crecimiento y alta biocaptación de dióxido de carbono, lo que le brinda cierta ventaja a diferencia de otras especies biológicas en la biocaptación de dióxido de carbono.

En este trabajo el objetivo fue reducir las emisiones y concentraciones de CO₂ en la atmósfera como opción de mitigación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), también se expresó que la fijación biológica del CO₂ se lleva a cabo por los procesos fotosintéticos de todas las plantas terrestres y un enorme número de microorganismos fotosintéticos.

García (2010), en su investigación ejecutada en España: Captura de CO₂ Mediante Algas Unicelulares; En la que sugiere el cultivo de algas unicelulares en un biorreactor denominado “medio poroso” a la cual se le inserto concentraciones de dióxido de carbono, parecidas a la de un motor de combustión básico.

También explicó las diferencias entre los sistemas biológicos fotosintéticos ligados a los sistemas de energía solar fotovoltaica debido a que los sistemas biológicos pueden producir su propio panel con capacidades fotovoltaicas a través de las hojas, mencionando también la incorporación de baterías, como la propia biomasa de la tierra.

Tomando como antecedentes a nivel nacional Follano (2014), realizo un estudio en Perú enfocado a la: Obtención de Microalgas, y Producción de Biodiesel Mediante Simulación, como Estrategia de Mitigación del CO₂ de la Atmosfera. Tuvo como principal objetivo la obtención de microalgas a nivel macro con un alto rendimiento en aceites, similar al de la materia prima que generan los biodiesel a través de simulaciones, tomando en cuenta la contribución en la disminución de contaminantes en el aire principalmente el dióxido de carbono

También es importante mencionar que esta investigación se justificó en el establecimiento de un sistema de producción eco amigable, que pudo permitir adquirir biodiesel derivado de la macro producción industrial de microalgas, con las que se pudieron producir tecnologías que

permitieron reducir la huella medioambiental a causa del dióxido de carbono que se generan por la combustión de combustibles fósiles.

A su vez alude Ruiz (2015), en su estudio desarrollado en Perú : Estudio de Fotobiorreactor de Microalga: Sistema de Monitoreo y Simulación de Estrategias de Control; el autor logró explicar de forma detallada que un fotobiorreactor es una unidad de cultivo, de modelo abierto o cerrado, el ultimo con poca exposición a factores como luz y atmósfera, este es considerado un sistema desarrollado para el cultivo y producción de microalgas, este sistema es especial ya que es posible controlar las variables físicas y químicas del cultivo, puntos importantes en la investigación.

El autor refiere que se pudo demostrar que el tiempo de cultivo se manifestó en un breve periodo de 6 a 7 días aproximadamente, por lo cual se concluyó que una microalga que crece rápidamente, es capaz de poder absorber altas concentraciones de CO₂.

Por su parte Arroyo (2016), en su investigación ejecutada en Perú: Utilización de Residuos Sólidos y Líquidos de un Sistema Biofloc como Medio de Cultivo para la Producción de *Scenedesmus sp.*; Concluyo que la capacidad de las microalgas es de poder fijar el CO₂ pero a la vez indico la importancia del pH ya que este influye en el medio como el equilibrio químico de dióxido de carbono en las distintas especies y en la alcalinidad de su medio, a su vez en las formas químicas de algún nutriente y micronutriente necesario.

El autor menciona como punto importante el factor de crecimiento de las especies de microalgas ya que sus subespecies de microalgas presentaron características propias con respecto a las condiciones de crecimiento, como la productividad máxima alcanzada en distintas configuraciones del sistema de cultivo de las especies.

Zafra [et al.] (2017), en su título: Cultivo de Microalgas Marinas Potenciales para la Acuicultura del Litoral entre Puerto Salaverry y Puerto Chicama, La Libertad, Perú; En la presente investigación resalto el fitoplancton marino como importante alimento de larvas juveniles de organismos marinos en sus primeros estadios realizados, uno de sus enfoques es la composición de las microalgas como indicadores de masas de agua.

La investigación presentó diferentes fases, entre ellas, el reconocimiento de la zona de estudio para la investigación, luego la implementación de un invernadero, el preparado de medios nutritivos, composición, cultivo, abundancia y la densidad celular.

Finalmente, Sánchez [et al.] (2008), en su investigación realizada en Perú: Producción de la Microalga *Nannochloropsis Oculata* (droop) Hibberd en Medios Enriquecidos con Ensilado Biológico de Pescado; Esta investigación se utilizó la microalga *Nannochloropsis oculata* (Droop) Hibberd la cual proviene de los laboratorios de Microalgas del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), a las cuales se las volvieron a aislar a través de la técnica de microbiología rayado en placa y otros métodos.

Si bien esta investigación se basa en el residuo de la actividad de pesca la cual produce grandes volúmenes en el Perú y generan problemas de contaminación ambiental, es importante recalcar que se tuvo en cuenta la biotecnología.

Este es un punto importante ya que nosotros también hacemos mención a esto y tomamos estos trabajos como trabajos previos en nuestra tesis por su importancia en la biotecnología peruana, sabiendo que de forma directa no guarda relación con nuestro tema a tratar.

Dentro de las teorías investigadas en el desarrollo de la tesis como marco teórico, tenemos que la relación microalga-CO₂ nace ya que en los últimos diez años los estudios realizados en el cultivo de algas o microalgas han sido objeto de interés por sus múltiples beneficios que aportan estos microorganismos, en especial, en su capacidad de contrarrestar el efecto invernadero (eliminando el CO₂ de corrientes gaseosas industriales) contribuyendo a la elaboración de productos de valor agregados en los campos de la nutrición, farmacia, química fina, etc. Sin embargo, uno de sus principales productos de valor agregados son la creación de fuentes alternativas de combustibles fósiles tradicionales, como producción de biodiesel, biometano, biohidrógeno y bioetanol. (Arias, Martínez y Cañizares 2013, p.6).

El cultivo y producción de microalga nace en el procedimiento de cultivo de microalgas, expertos mencionan que existen dos maneras de cultivos para estas especies, el cultivo de forma fotoautótrofa y el cultivo de forma heterótrofa, ambas tienen que realizarse en condiciones de mixotrofia. Según Brennan (2010) la producción fotoautótrofa es un método utilizado en la

producción a mayor escala con fines de producción de energía limpia, agregando que técnicamente es seguro y económicamente rentable. (García y Hernández, 2012, p. 4).

Los sistemas de cultivos empleados se clasifican teniendo en cuenta el tipo de función y configuración, estos pueden ser cultivos abiertos en los cuales destaca por ejemplo canales o estanques y fotobiorreactores. El sistema de cultivo abierto destaca en el resto por ser relativamente fácil de realizar, en especial los cultivos que se realizan en canales o estanques, sin embargo los fotobiorreactores, se caracterizan por ser un sistema cerrado, con diversos tipos de geometría, es uno de los sistemas más utilizados en el cultivo de microalgas con fines muchos más específicos y en especial si se pretende en el estudio mantener un cierto grado de aislamiento del cultivo de otras especies presentes en el medio. (Cáceres, 2009, p.7).

Los fotobiorreactores son considerados un sistema de cultivo cerrado empleados en microalgas u otros microorganismos de estudio, estos son reactores transparentes de vidrio o plástico con geometría definida como por ejemplo planas, cilíndricas o las utilizadas que son las de forma tubulares. Fueron desarrolladas antes de los sistemas de lagunajo y su posterior configuración a geométrica, también dependen de las condiciones que se tengan en cuenta en el estudio. (Ruiz, 2011, p.25).

Este es uno de los sistemas de cultivo cerrados mayormente empleados en estudios de laboratorio y con microorganismos vivos, ya que este sistema proporciona la ventaja de mantener un monocultivo, sin contaminación de otras especies, además proporcionan un alto grado de pureza, esto resulta ventajoso en las industrias farmacéuticas o alimentarias. Por otro lado, permite mantener el cultivo durante largos periodos de tiempo, garantizando la protección contra otras contaminaciones biológicas. (Ruiz, 2011, p.26).

La efectividad lograda en la aplicación de los sistemas de cultivos cerrados como el fotobiorreactor es mayor, a comparación de los sistemas de cultivos abiertos, ya que estos requieren de espacios reducidos por lo que su costo de elaboración resulta ser menor, cabe mencionar que este sistema resulta muy útil en la recolección de biomasa generada por el cultivo, las razones que hacen que el sistema de cultivo cerrado sea más eficiente que el abierto son, la eficiencia del mezclado, la eficacia fotosintética y el consumo de CO₂. Una de las desventajas que puede acompañar la aplicación de un sistema cerrado son los costes de inversión

en la operación y mantenimiento de estos. Un tema importante de mencionar es que el grado de productividad de los fotobiorreactores no es del todo máximo, ya que no siempre se han obtenido los resultados deseados en sus aplicaciones. Los avances y perfeccionamiento de los fotobiorreactores en el cultivo de microalgas a gran escala es aún una de las mayores tareas a realizar. (Posten, 2009 citado por Ruiz, 2011, p.26).

En su mayoría todos los estudios previos realizados en el cultivo de microalgas en sistemas cerrados coinciden en configuraciones cilíndricas (fotobiorreactores), esto se debe a lo expuesto líneas arriba, como los bajos costes de operación y bajo consumo energético sin embargo destacan también algunas características como son la transferencia de masa y calor que se da en el proceso de cultivo. En este proceso se lleva a cabo la introducción de aire burbujeándolo se tienen ejemplos que el diámetro suele ser menor a 200 cm para evitar que no llegue luz al interior de la columna. Otras investigaciones manifestaron haber desarrollado reactores anulares, con el fin de eliminar la parte interior del reactor cilíndrico. (Ruiz, 2011, p.26).

El reactor tubular es uno de los diseños más empleados en el sistema de cultivo de microalgas debido a la ventaja que posee en su relación superficie/volumen de más de 100 m⁻¹, se menciona que este diseño debe tener un diámetro igual o menor a 100 cm, debe permanecer en posición horizontal, vertical, helicoidal o inclinado dependiendo el estudio, su longitud puede alcanzar los cientos de metros, cabe mencionar que la biomasa es recirculada mediante bombas o empuje por aire. Su principal desventaja es el alto consumo energético. (Ruiz, 2011, p.26).

Es importante mencionar que existen distintos diseños de reactores, que también son importantes dependiendo del objetivo del estudio, estos son por ejemplo reactores planos que es mayormente utilizado en la obtención de sustancias de interés. Su productividad suele ser óptima, y es de fácil limpieza, una de sus ventajas radica en su robustez y en la gran superficie expuesta a la radiación solar, también se pueden alcanzar densidades de células mayores a 80 g/L., en 1986 Ramos de Ortega y Roux experimentaron en el cultivo de la microalga *Chlorella*, en las cuales se determinó la influencia en su crecimiento. (Venegas, Jiménez, y Hernández, 2018, p.26).

El crecimiento de microalgas se determinó tomando en cuenta las características propias en cada una de las especies y subespecies de microalgas materia de estudio, los factores influyentes son

comunes, sin embargo, se consideró las condiciones óptimas de crecimiento y productividad máxima obtenida en las diferentes fases del sistema de cultivos. (Boffill, García y Castellanos, 2012, p.5).

Expertos aseguraron que en la fase exponencial algunas especies de microalgas pudieron duplicar su producción de biomasa en periodos cortos de tiempo como 3,5 horas, sin embargo, en el promedio normal de algunas especies se pudo lograr duplicar su biomasa en un periodo de 24 horas. (Bohòrquez, 2017, p.9).

La presencia de luz en las microalgas es requerida ya que son organismos fotosintéticos por lo que requirieron de la presencia de luz para realizar su metabolismo, estudios demuestran que las microalgas presentan gran eficiencia en la bioconversión de luz-biomasa, en sistemas cerrados como fotobiorreactores su eficiencia es mayor que en los sistemas abiertos. (Stephens, 2010). (Rodríguez, [et al.], 2016, p.9).

Como ya se mencionó en párrafos más arriba existen distintas especies de microalgas, en las cuales se tienen a las mixotróficas, heterótrofas y autótrofas. Sin embargo, solo nos enfocamos en las autótrofas, en las cuales destaca como sus principales nutrientes minerales los siguientes:

- Carbono: Las microalgas en promedio pueden tolerar unos 150.000 ppmv de CO₂ en el aire por lo que se concluye que este microorganismo puede emplear como fuente de carbono el CO₂ presente en la atmosfera, también los iones bicarbonato, pero esto solo con la presencia de la enzima anhidrasa carbónica. (Ruiz, 2011, p.31-32).
- Nitrógeno: Las microalgas pueden obtener el nitrógeno en el medio en forma de nitrógeno gas, óxidos de nitrógeno, urea, amonio, nitrato y nitrito. Por lo general las concentraciones de nitrógeno presente en la biomasa puede estar en 1% hasta niveles superiores del 10%, y depende de la disponibilidad y tipo de fuente de nitrógeno. (Ruiz, 2011, p.33).
- El fósforo: Dependiendo a la biomasa por generar la concentración de fosforo puede ser mucho menor a comparación del nitrógeno, el fosforo es uno de los principales macronutrientes esenciales en el crecimiento de las microalgas que lógicamente es tomado por las microalgas en forma de ortofosfatos cuyo equilibrio depende del pH del medio. (Ruiz, 2011, p.33).

Estudios demuestran que diferentes muestras de microalgas responden de forma diferente ante cambios presentes en la salinidad del medio, con variaciones de 25 g/L a 35 g/L. por lo que la salinidad del medio de cultivo obtuvo una gran influencia sobre el crecimiento, productividad de lípidos, entre otros derivados de las especies de microalgas, frente a una salinidad media o alta, incluso existe antecedentes de la especie *Chlorella vulgaris* cuya productividad de biomasa fue óptima. (Vásquez y Zavaleta, 2017, p.4).

Un óptimo de pH presente en el medio de cultivo de microalga es de entre 8,2–8,7, sin embargo por lo general la mayoría de antecedentes de cultivos de microalgas arrojan un promedio entre 7 y 9, la literatura manifiesta que para un óptimo control del pH se debe tomar en cuenta la aireación o adición de CO₂, se pueden experimentar aumentos graduales de pH debido al proceso de fijación de CO₂ que lógicamente realizan este tipo de microorganismos que tuvo como resultado la acumulación de Hidróxido (OH⁻) en el medio. (Ruiz, 2011, p.34).

Las concentraciones de oxígeno fueron controladas debido a que se pudieron inhibir la fijación de carbono por parte del enzima RuBisCo. La inhibición se puede dar por déficit de CO₂, alta radiación y variaciones de temperatura, antecedentes indicaron que algunas especies de microalgas no sobreviven a un medio con altas concentraciones de oxígenos por un tiempo de 2 o 3 horas. (Ruiz, 2011, p.34).

Una de las principales funciones de la agitación es la de asegurar la distribución de los gases y luz en el medio, además de impedir la sedimentación de las cepas, facilitar una adecuada eficiencia del transporte además de homogeneizar el pH e impedir la adherencia de las cepas en las paredes del reactor, su correcta función mecánica puede asegurar ciclos rápidos de mezclado de las cepas, en los que en cuestión de milisegundos pasan de una zona oscura a una zona iluminada, lo cual resulta muy beneficioso. (Ruiz, 2011, p.35).

Es muy importante mencionar que no todas las especies de microalgas son capaces de poder tolerar un alto grado de agitación que se le sea provista o mecánicamente inducida ya que son sensibles al estrés hidrodinámico, manifiestan los expertos. (Tafur y Fierro, 2015, p.35).

La temperatura dependerá de las distintas especies de microalgas que fueron materia de estudio, antecedentes anteriores mencionaron que no todas las especies fueron capaces de tolerar concentraciones a altas temperaturas como también se sabe la existencia de especies que, si

podieron tolerar concentraciones altas de temperatura, la *Chlorella* destaca entre las demás debido a que esta especie puede crecer a temperaturas de 5 y 42°C. Sin embargo, cada especie presentaron un rango fuera del cual se ven inhibidas o incluso mueren. (Ruiz, 2011, p.35).

La regulación de cantidad de luz es muy importante en el medio de cultivo por lo que es importante mencionar que en los medios de cultivos tanto abiertos como cerrados, existió un incremento con una declinación en la temperatura presente en el medio. (Martínez [et al.], 2005, p.5).

Antecedentes aseguraron que la temperatura no resulta significativamente influyente siempre y cuando se demuestre que el dióxido de carbono o la luz sean limitantes en el medio cultivo. (Ruiz, 2011, p.35).

Las microalgas son microorganismos capaces de producir grandes cantidades de lípidos, proteínas y carbohidratos en tiempos cortos, por lo que muchos expertos las consideran un gran alimento funcional, por su efecto favorable en la salud y en su alto contenido nutricional en comparación de los alimentos tradicionales, sin mencionar que también son fuente de alimento de muchas especies de animales, así mismo estos organismos poseen contenidos de nutrientes como distintas proteínas, los polisacáridos, aminoácidos y enzimas. En otros beneficios de este microorganismo, se mencionó el aporte de oxígeno al ambiente, así como su capacidad de fijación de CO₂. Es importante mencionar que para un óptimo crecimiento de este microorganismo es indispensable la adecuada aplicación de los factores ambientales como nutrientes, luz, temperatura de CO₂, pH, fotoperiodos y el uso de moléculas orgánicas y micronutrientes como catalizadores. (Beltrán [et al.], 2017, p.6).

Las algas son clasificadas como parte del reino vegetal, al pasar del tiempo ha pasado por varias modificaciones. La denominación de alga se le dio al conjunto de helechos, hongos, musgos y plantas ya hace 200 años, tomando en cuenta su carácter sexual, al pasar de los años se le delimito rasgos de coloración como microscópicos, para luego incorporar sus distintas formas que poseen, para un adecuado sistema de clasificación. (Citado por Cáceres, 2009, p.05).

Estos microorganismos poseen gran diversidad de hábitat, reproductiva y vegetativa en comparación a otros grupos de plantas. Su clasificación es según la naturaleza de su pigmento fotosintético, productos metabólicos de reserva, naturaleza química de la pared celular, número

y posición de los flagelos, tipos de reproducción, ciclo de vida y hábitat de la especie materia de estudio. La delimitación de divisiones y clases de especies de algas depende de la combinación de varios caracteres, cabe mencionar que las clasificaciones son de carácter temporal y subjetivo, según la importancia del investigador y el tipo de investigación. (Acleto y Zúñiga, 1998 citado por Cáceres, 2009, p.05).

Se establecieron las estrechas relaciones filogenéticas en todas las distintas clases de algas mediante los estudios de secuencia del Ácido Ribonucleico (ARN) y Ácido Desoxirribonucleico (ADN), incorporando también estudios bioquímicos y fisiológicos en las especies de algas materia de estudio. (Citado por Cáceres, 2009, p.05).

Expertos concuerdan que el término “Alga” es muy básico en términos de taxonomía y además que no corresponde en una categoría de nomenclatura, resumiendo que este es solo un término utilizado por el colectivo para referirse a un grupo heterogéneo de individuos, así mismo el término “microalga” hace referencia al mismo tipo de individuos con la diferencia que estos son microscópicos. (Citado por Cáceres, 2009, p.05-06).

El género *Scenedesmus* es una especie de microalga comúnmente presente en aguas dulces y salobres con una gran cantidad de concentraciones de nutrientes que le puedan permitir desarrollarse de forma óptima, este género de microalga es conocida por su capacidad de tolerar elevadas concentraciones de nutrientes presentes en aguas residuales, también el de poseer actividades metabólicas elevada y el de resistir variaciones ambientales que la hacen sobrevivir en ambientes adversos. Por último, el género *Scenedesmus* pertenece a la División Chlorophyta, Clase Chlorophyceae, Orden Chlorococcales, Familia Scenedesmaceae. (Garibay [et al.], 2009; Ruíz, 2011; Escudero, 2012 y Andrade [et al.], 2009, citado por Zavaleta, [et al.], 2017, p.10).

Las microalgas son microorganismos capaces de fijar el CO₂ presente en el ambiente como parte de su metabolismo, proceso que también le compete a las plantas y árboles que juegan un rol importante en el equilibrio de los gases presentes en la atmosfera, estudios realizados concluyen que la reforestación y la aplicación de tecnología biológicas lograron frenar parcialmente el problema del calentamiento global. (Oscanoa [et al.], 2015, p.4).

Como ya se mencionó las microalgas son organismos fotosintéticos capaces de fijar el CO₂ presente en el ambiente y de poder convertirlo en biomasa que posteriormente fue utilizado

como bioabono en cultivos nativos, muchos estudios realizados tienen como objetivo combatir el efecto invernadero producto de las grandes concentraciones de los gases de efecto invernadero presentes en el ambiente, por lo que el secuestro del CO₂ mediante microalgas y cianobacterias resulto sumamente eficiente que el utilizar plantas terrestres, expertos calculan que el nivel de eficiencia es de 10 y 50 veces mayor comparada con el de las plantas terrestres. (Boffill, 2012, p.5).

La diferencia de la eficiencia en la utilización de microalgas y cultivos vegetales radica que las microalgas son organismos capaces de fijar el CO₂ de combustión, debido a que son capaces de adaptarse a ambientes cambiantes de condiciones climáticas como temperatura, salinidad, pH, etc. Otra de las ventajas de utilizar microalgas es que su productividad aumenta con concentraciones altas de CO₂ por encima de concentraciones promedio presentes en la atmosfera, que a diferencia de los cultivos vegetales estas no presentaron variación. (Malgas., 2013, p.40).

Los nutrientes empleados en el proceso de cultivo de microalgas son mayormente elevados, por lo que puede permitir su cultivo en aguas residuales, contribuyendo también en el proceso de fijación del nitrógeno y el fósforo y disminuyendo las concentraciones de estos compuestos presentes en el agua. Así mismo, las microalgas poseen características físicas que junto a su elevada proporción superficie/volumen contribuye a la rápida difusión de nutrientes y CO₂, permitiendo de esta forma la rápida fijación de CO₂, facilitando la realización de los cultivos de alta densidad. (Malgas., 2013, pag.40).

Estudios realizados demuestran que alrededor del 50% de la fotosíntesis total realizada en el medio, se debe a las microalgas y su fijación del CO₂ atmosférico, convirtiéndose de esta forma también en uno de los principales productores primarios de los ecosistemas acuáticos. (Malgas., 2013, p.40).

El promedio del consumo de CO₂ por parte de las microalgas se encontró entre 200 y 600 mg CO₂ /L·d, sin embargo antecedentes de estudios realizados a la especie *Chlorella sp.*, menciona la eliminación de CO₂ de 800 – 1000 mg/L·d, incentivando de esta forma las aplicaciones de las microalgas como método de mitigación del efecto invernadero (Ruiz, 2011, p.24).

La fijación del CO₂ se realizó durante las horas del día, ya que lógicamente las microalgas como cualquier organismo aeróbico producen CO₂ durante la noche producto de la respiración. (Malgas., 2013, p.40).

Las concentraciones de CO₂ y la presencia de luz, resultaron beneficiosos en el crecimiento de las microalgas, también es importante mencionar que por la noche o durante condiciones de oscuridad el proceso de fotosíntesis se dificultó bastante ya que las microalgas consumen la energía almacenada para la respiración. Por lo que las microalgas necesitan de luz solar para poder realizar la fotosíntesis sin mencionar el aporte en su crecimiento. (Quevedo, Morales, y Acosta, 2008, p.4).

La fijación de CO₂ en el proceso de la microalga es estrechamente relacionado a la producción de biomasa, expertos indicaron que en el proceso de producción de 100 t biomasa/ha/año se pudo lograr una fijación de 165 t CO₂ /ha/año. En la utilización de un sistema combinado de producción de microalgas y tratamiento de aguas residuales, incorporando mecánicamente el CO₂ de gases de combustión, la reducción de CO₂ se puede estimar en una tonelada por tonelada de biomasa, sin mencionar que esa biomasa se empleó en la producción de biocombustibles y fertilizantes, ahorrando de esta forma la energía del tratamiento de las aguas residuales cuando se utilizaron microalgas y la sustitución por biofertilizantes. (Harmelen y Oonk, 2006 citado por Malgas., 2013, p.42).

En el año 1955, el encuentro de la Solar Energy Society, (Arizona, USA), nació la idea de emplear los gases de combustión existentes de preferencia los procedentes de las centrales térmicas en la producción de microalgas y conversión de la biomasa a biocombustible, por lo que el cultivo de microalgas fue visto desde el punto de fuente de combustibles renovables para reducir el efecto invernadero del calentamiento global, por lo que posteriormente se realizaron los estudios en el tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante microalgas. (Oswald, [et al.], 1957 citado por Malgas., 2013, p.42).

En EEUU a través del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América (DOE) en el año 1973 se decidió realizar estudios de aprovechamiento de los gases de combustión en la aplicación de microalgas, como alternativa de energía, financiando por distintos programas de investigación con microalgas, con el fin de poder convertirlo en biocombustibles obteniendo

biogás y biodiesel. El principal avance se dio gracias al estudio de Oswald, en el cual propuso la aplicación de reactores tipo raceway, cuya particularidad era la agitación con paletas, logrando alcanzar una productividad de 60 t/ha/año. (Malgas., 2013, p.42).

En EEUU y Japón durante los años 80 se realizaron los principales proyectos de fijación de CO₂ con microalgas, El programa “Aquatic Species Program” (ASP), del National Renewable Energy Laboratory de EEUU, concluyo que los fotobiorreactores exteriores son eficientes en la captación de CO₂ procedente de gases de combustión, logrando el aislamiento adecuado de aquellas especies con un alto potencial de fijación de CO₂ elevando su productividad en cultivos masivos, la aplicación de este tipo de fotobiorreactor estaba orientado a la producción de biodiesel. Uno de los estudios realizados en este programa también estuvo orientado a la modificación genética de las microalgas con el objetivo de aminorar costos, también incluyendo la minimización de la fotoinhibición. (Barajas y Sierra, 2017, p.4).

Por otro lado los estudios realizados en los programas japoneses como Research Institute of Innovative Technology for the Earth y Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Demostraron que las especies de microalgas *Nannochloris* y *Nannochloropsis* fueron capaces de tolerar altas concentraciones de CO₂ debido que se evidencio que estas especies continuaban creciendo sin ningún tipo de contratiempo o adversidad, así mismo cuando se realizó el proceso de inyección de gases como Dióxido de Azufre (SO₂) y Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y metales pesados como Ni y V, los resultados fueron los mismos, también se realizó diversos estudios sobre el uso real de gases de combustión como fuente carbonada para la producción de microalgas, en donde se logró la fijación de concentraciones de 0.10-0.20 m de CO₂, por parte de la especie de microalgas *Nannochloropsis sp.* y *Phaeodactylum sp.* Por otro lado, los estudios de Michiki en 1995, determino que los fotobiorreactores con colectores solares e iluminación interior a través de fibra óptica resultaron ser muy eficientes. (Citado por Malgas., 2013, p.42-43).

Tomando en cuenta que existió la utilización de las microalgas como gran potencial de lucha contra el cambio climático, en la actualidad se viene desarrollando proyectos e investigaciones con el objetivo de poder eliminar el CO₂ cuyo origen sea de combustión, debido a los grandes problemas que desencadena su presencia en el ambiente, trayendo consigo consecuencias en la economía y una pronosticada escases de petróleo, sin embargo otro de los grandes retos que

asumen los expertos e investigadores es el tiempo empleado por estos microorganismos en la fijación de CO₂, por lo que muchos expertos concluyeron que la manera más óptima de poder solucionar este punto clave es la optimización de los sistemas de cultivo empleados en la realización de dichos estudios, también se tomó en cuenta la modificación genética de dichas especies de microalgas, realizando previamente una selección de las especies más eficientes en la realización de la fijación de CO₂, sin olvidar también su capacidad de producción de biomasa. (Malgas., 2013, p.43).

Los proyectos tales como “Aquafuels” o el “Enerbioalgae”, son proyectos que vienen siendo financiados por Europa, asumiendo de esta forma el compromiso de luchas contra el cambio climático, dichos proyectos recolectan información variada de estudio orientado a la producción de biocombustibles de algas, tomando en cuenta su ciclo de vida completo y la utilización de microalgas como depuradores de aguas residuales, importante mencionar que estas informaciones son antecedentes de estudios realizados en Europa. (Malgas., 2013, p.43).

La aplicación de reactores más eficaces orientados en la biofijación de CO₂, funciona como un tipo de tecnología limpia que contribuyó a la reducción de los gases de efecto invernadero, seguido de la producción de biocombustibles, lo que ayudó a no depender de fuentes de energía fósil, aumentando el beneficio en el ambiente e incrementando el uso de tecnologías limpias en la sociedad. (Harmelen y Oonk, 2006 citado por Malgas., 2013, p.43).

En la actualidad uno de los contaminantes más severamente evidenciados, es la contaminación de CO₂ de origen antrópico, por lo que el siglo XXI es recordado como el siglo del cambio climático producido por el hombre, la sobrepoblación de la especie humana repercutirá desfavorablemente sobre la biosfera, desencadenando efectos como la erosión de suelos, desertificación, salinización y biodegradación del mismo, condenando a las especies de fauna presentes en estas zonas a su extinción, todo a consecuencia del cambio climático global. (Bádenas, y Aurell, 1997, p.5).

El cambio climático es originado debido al acelerado incremento de la temperatura media global lo que trae como consecuencia variaciones en el clima terrestre, por lo que desde ya hace unos años atrás se han venido realizando estudios que han demostrado que estos cambios se deben al

incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero, en especial las de origen antrópico. (Costas y López, 2011, p.5).

Uno de los antecedentes más recordados en la historia de los gases de efecto invernadero fueron los que se dio en el Protocolo de Kioto.

Al relacionar el ciclo del dióxido de carbono (CO_2) con el ciclo de los organismos vegetales, tales como plantas, algas y cianobacterias, se pudo identificar que tuvo un papel muy importante en la fotosíntesis, esto debido a que estos organismos requieren la energía lumínica del sol para fotosintetizar carbohidratos a partir del dióxido de carbono, que luego fue expulsado como oxígeno, resultado de la reacción, es importante mencionar que durante la noche en donde lógicamente no existe presencia de luz solar, estos organismo no pueden realizar la fotosíntesis, por lo que estos desprenden dióxido de carbono procedente de la respiración celular. (Malgas., 2013, p.35).

La teoría indico que el ciclo del dióxido de carbono está comprendido por dos sub ciclos, uno biológico (rápido) y otro geológico (lento). El ciclo biológico es caracterizado por el intercambio que existe de CO_2 entre todos los seres vivos y la atmosfera, a lo que se le denomina también como el ciclo rápido del dióxido de carbono, por lo que es importante mencionar que la fotosíntesis tuvo un papel muy importante ya que origina la fijación de CO_2 de la atmósfera, a través de la respiración animal y vegetal. (Malgas. 2013, p.35).

El ciclo geológico es caracterizado por ser mucho más lento, esto debido a que la transferencia de CO_2 es mucho más amplia, esta transferencia se da entre el suelo, atmósfera y masas de agua tales como océanos, lagos y ríos, la transferencia más destacada es la que se da en el agua, debido a que el CO_2 de la atmosfera se disuelve fácilmente en este medio, el resultado de esta disolución es el ácido carbónico, este acido produce iones de bicarbonato en las rocas, estos iones posteriormente son disueltos y procesados por la fauna marina, que cuando estas mueren, a través de sus tejidos son sedimentados en el ecosistema marino que posteriormente es devuelto a la atmosfera a través de las erupciones volcánicas, a su vez se aludió que el océano es un reservorio de CO_2 , esto debido a que cuando la materia orgánica queda sepultada sin contacto con oxígeno genera una descomposición aerobia originando la fermentación que la termina

transformándolo en carbono, petróleo o gas natural, constatando de esta forma la teoría que nos dice que el fondo del océano es un reservorio de CO₂. (Malgas., 2013, p.36).

La presencia del dióxido de carbono en el ambiente no es del todo desfavorable, expertos indicaron que con concentraciones adecuadas de CO₂ en nuestra atmosfera, contribuye a que la tierra goce de una temperatura óptima la que permite que esta sea habitada, ya que esta reacción no permite que el calor salga de la atmosfera, contribuyendo a una temperatura media adecuada, sin embargo desde la Revolución Industrial y finales del Precámbrico, las concentraciones de CO₂ aumento desmesuradamente, detectándose subidas drásticas de concentraciones de CO₂, producto de la quema de combustibles fósiles, lo que desencadeno el incremento la temperatura global de la Tierra, originando en las últimas décadas el calentamiento global. (Arrué, 2013, p.6).

Para la formulación del problema se planteó la siguiente pregunta ¿De qué manera el cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* permite la biocaptacion de dioxido de carbono a nivel de laboratorio?

La justificación que nos llevó a realizar este presente trabajo de investigación es el incremento de concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) presentes en la atmósfera que afectan principalmente al ambiente, la salud y el aspecto económico. El compromiso de muchos países es reducir sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en los últimos tiempos que aun no evidencia mejoras. Los cultivos vegetales, como por ejemplo las microalgas son la opción más óptima, debido a que estos son organismos fotosintéticos, muchos con la capacidad de tolerar concentraciones de dióxido de carbono y aumentar su productividad a partir de esta.

Es por este motivo que se adoptó medidas hoy en día para la reducción de emisiones tal como la biofijación de CO₂. este proceso se logró con la inyección de CO₂ en medios de cultivos de microalgas, esta medida se presentó como la más sólida y con resultados ya demostrados como una de las alternativas naturales y eco amigable con el ambiente.

Por otro lado, los cambios evidenciados en el ambiente han llevado a pensar que el calentamiento global es uno de los principales responsables, sin embargo las distintas industrias relacionadas con la creación de energía, gas natural, cemento, hierro y fabricación de acero y

combustión de residuos sólidos urbanos, contribuyen al incremento de dióxido de carbono a la atmósfera, esto debido a su dependencia de fuentes como el petróleo, carbón y gas natural.

La biocaptación de dióxido de carbono se dividió en sistemas físicos y sistemas biológicos, por otro lado, los medios físicos tienen desventajas como, por ejemplo, costos elevados en el desarrollo de estas tecnologías, la captura, transporte y almacenamiento de dióxido de carbono. Por otro lado los métodos biológicos de fijación de dióxido de carbono son una alternativa de solución a los medios físicos ya que el uso de microalgas para la biocaptación de dióxido de carbono presenta varias ventajas, entre estas: la mitigación de CO₂ (Calentamiento Global) y la producción de biocarburantes y otros metabolitos secundarios. (Vargas y Yáñez, 2004, p.6).

La hipótesis alterna planteada fue la siguiente, Ha: Si se cultiva la microalga *Scenedesmus sp.* en laboratorio, entonces se logrará la biocaptación de dióxido de carbono; y la hipótesis nula planteada es, Ho: Si se cultiva microalga *Scenedesmus sp.* en laboratorio, entonces no se logrará la biocaptación de dióxido de carbono.

El objetivo general planteado fue el de Determinar el efecto del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* para la biocaptación de dióxido de carbono a nivel de laboratorio y dentro de los objetivos específicos tenemos:

- Analizar el medio de cultivo para la especie de microalga *Scenedesmus sp.* antes de la inyección de dióxido de carbono en el fotobiorreactor en el Laboratorio.
- Aplicar concentraciones de dióxido de carbono en el fotobiorreactor para la especie de microalga *Scenedesmus sp.*
- Evaluar el efecto del dióxido de carbono inyectado en el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*
- Analizar el nivel de efectividad de biocaptación de dióxido de carbono de la microalga *Scenedesmus sp.*

II. MÉTODO

2.1. Tipo y Diseño de investigación

La presente tesis fue de tipo aplicada ya que la teoría lo ha definido como un método de decisión la cual tuvo como fin aludir ciertas alternativas, es por ello que se emplearon magnitudes numéricas que permitieron la utilización de herramientas estadísticas, por lo cual la investigación es cuantitativa y se genera por la causa y efecto.

Según su tiempo de ocurrencia la presente tesis fue de tipo prospectivo debido a que este tipo de investigación empleo como base métodos científicos y empíricos, teniendo como fin realizar análisis en distintas áreas y por último se pudo determinar o tener una idea cercana de lo que puede ocurrir en el futuro.

Según periodo y secuencia la presente tesis fue de tipo longitudinal ya que fue un estudio de carácter observacional, cuyo fin fue el de investigar al mismo grupo de manera repetida en un determinado período de tiempo, también en investigaciones científicas que requirió el manejo de datos estadísticos sobre varias variables.

Diseño:

Antes	Después		
GE =	O1	X	O2

GE = Grupo experimental

O1 = Análisis del medio de cultivo de la muestra antes de la inyección de dióxido de carbono

X = Aplicación del estímulo (Aplicación de concentraciones de dióxido de carbono en los fotobiorreactores).

O2 = Análisis del medio de cultivo de la muestra después de la inyección de dióxido de carbono

2.2. Operacionalización de las Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSI ONES	INDIC ADOR ES	ESCALA DE MEDICIÓN
V. Independien te Cultivo de microalga biocaptador a de dióxido de carbono	Un cultivo es la forma en la que se hacen crecer los microorganismos (colonias) en una superficie solida (agar) o en medio líquido (caldo) e incluso en células (línea celular) y es utilizado como el método principal para poder estudiar a los agentes causales de enfermedades, y saber si se trata de bacterias, hongos, virus, parásitos o algas	Los cultivos de microalgas son considerados una tecnología de mediana complejidad. El cultivo de microalgas es un sistema biológico eficiente de utilización de la energía solar para producir materia orgánica. Las microalgas crecen más rápido que las plantas terrestres y es posible obtener mayores rendimientos anuales de biomasa	Medio de cultivo Sepa de alga	Nutrien tes Cantida d de nutrient es Cantida d de muestra Biocapt acion de CO ₂	Razón Intervalo Intervalo Intervalo

V.	La biocaptacion	La biocaptacion de	Inyección	Concen	Razón
Dependiente	de dióxido de	dióxido de carbono	de CO ₂	tración	
:	carbono (CO ₂) es	es una de los	puro	de CO ₂	
Biocaptacion	un proceso	métodos más		Tiempo	
de dióxido	biológico que	ecológicos,		de	
de carbono a	consiste en	utilizados en la		perman	Intervalo
nivel de	separar	lucha contra la		encia	
laboratorio	biológicamente el	reducción de las	Emisión	Concen	
	dicho compuesto,	emisiones de	de oxigeno	tración	
	de fuentes	CO ₂ de origen		de O ₂	Razón
	industriales y	antrópico. Este		emitido	
	energéticas,	método se puede		Tiempo	
	capturándolo en	aplicar en		de	Intervalo
	una localización	emisiones cuyo		emisión	
	en la que será	origen sea de			
	almacenado, y	centrales eléctricas			
	biotratado.	o plantas			
		industriales,			
		logrando			
		contrarrestar el			
		calentamiento			
		global.			

2.3. Población, muestra y muestreo

La población de estudio estuvo compuesta por 450 ml de microalgas del género *Scenedesmus sp.* por su gran capacidad de biocaptación de dióxido de carbono. La población de microalgas fue obtenida de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

La muestra estuvo conformada por el 10% de microalgas que equivale a 45 ml. de microalgas del género *Scenedesmus sp.* esta fue recolectada para realizar el cultivo en el fotobiorreactor.

El estudio se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo, Filial Chiclayo, ubicada en el distrito de Pimentel, Provincia de Chiclayo – Región Lambayeque.

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

En la presente investigación se utilizó la técnica de campo (observación y laboratorio) así como técnica de gabinete para la recopilación de datos.

A. Técnica de campo

Observación

Esta técnica nos permitió observar el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*, antes y después de la aplicación de las concentraciones de dióxido de carbono en el cultivo como de microalga, como los cambios que se evidenciaron después de dicha aplicación para luego obtener información y ser registrada para el análisis de datos correspondiente.

Recolección de muestras

La recolección de muestras de microalga *Scenedesmus sp.* se realizó en la Universidad Nacional Agraria La Molina – La Molina, Lima, mediante tubos falcón, además de utilizar un cooler para mantener en condiciones óptimas las muestras recolectadas para su posterior cultivo.

Análisis de laboratorio.

Los análisis y biocaptación de CO₂ se realizaron en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo, mediante los equipos Multiparámetro, Turbidímetro y fotobiorreactor.

B. Trabajo de gabinete

En esta técnica se presentó la revisión bibliográfica obtenida de textos e Internet. Así mismo se interpretaron los datos obtenidos después de los análisis correspondientes, a su vez se compararon estos datos con los que se obtuvieron de fuentes bibliográficas como: libros, informes, artículos y tesis; que nos ayudará a generar la discusión y las conclusiones en la investigación.

C. Validez y confiabilidad

Las muestras fueron analizadas por expertos que laboran en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo Filial Chiclayo, mediante el instrumento Multiparámetro debidamente calibrado.

2.5. Método de análisis de datos

Para el análisis de los datos utilizamos la Estadística Descriptiva e Inferencial teniendo en cuenta el Programa Excel para presentar los cuadros, gráficos de barras.

2.6. Aspectos éticos

Los investigadores se comprometen a respetar el derecho de autor, al citar debidamente todo aporte de investigaciones externas mencionadas en la presente investigación.

Esta investigación fue citada de acuerdo a la Norma ISO 690 tal y como lo recomienda la Universidad César Vallejo en su reglamento para su aplicación.

III. RESULTADOS

3.1. Análisis del medio de cultivo de la especie de microalga *Scenedesmus sp.* a antes de la inyección de dióxido de carbono en el fotobiorreactor

Tabla 1. Análisis fisicoquímicos del medio de cultivo

	TURBIDEZ	PH	TEMPERATURA	COLOR	CONDUCTI VIDAD ELÉCTRIC A	SÓLIDOS TOTALES DISUELT OS
MUES		7.8		9		
TRA	122 NTU	9	24.6 °C	UCV/esc	7831 Us/cm	3.83 ppt
N° 01		pH		Pt		

Fuente: Elaboración del equipo investigador.

Interpretación:

Los análisis de estos parámetros nos ayudaron a crear un perfil de cómo se encuentra el cultivo de la microalga antes de la incorporación el dióxido de carbono por medio del fotobiorreactor, así mismo se evidencio en la tabla los resultados de cada parámetro, en el parámetro de turbidez el resultado fue de 122.00 NTU (Unidad de Turbidez Nefelometrica), en el de pH el resultado fue de 7.89 pH (potencial de hidrogeno), en el de temperatura fue de 24.60 °C (grados centígrados), en el parámetro de color fue de 9.00 UCV/escPt (Unidad de Color Verdadero a escala Platino), en el de conductividad eléctrica fue de 7831 Us/cm (Conductividad Especifica/siemens por metro) y por último en el de solidos totales disueltos el resultado fue de 3.83 ppt (partes por millar), cabe recalcar que la muestra tomada fue de un litro de medio de cultivo.

3.2. Aplicación de concentraciones de dióxido de carbono en el fotobiorreactor para la especie de microalga *Scenedesmus sp*

Las concentraciones de dióxido de carbono que fueron inyectadas al medio de cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* fueron de tres litros por minuto (3L/min) con una presión de 0.02Mpa (mega pascales), cabe mencionar que el dióxido de carbono inyectado al medio de cultivo es el dióxido de carbono presente en el ambiente.

Tabla 2. *Valores de dióxido de carbono inyectado por semana.*

PROMEDIO DE CONCENTRACIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO INYECTADO POR SEMANA EN EL MEDIO DE CULTIVO DE MICROALGA SCENEDESMUS SP.						
SEMAN A 01	SEMAN A 02	SEMAN A 03	SEMAN A 04	SEMAN A 05	SEMAN A 06	SEMAN A 07
21,600	21,600	21,600	17,280	21,600	21,600	17,280
litros de CO ₂	litros de CO ₂	litros de CO ₂	litros de CO ₂	litros de CO ₂	litros de CO ₂	litros de CO ₂

Fuente: Elaboración del equipo investigador.

Interpretación: Los resultados del dióxido de carbono que se inyectaron, fue de un promedio de 21,600 litros de dióxido de carbono inyectado en las semanas 01, 02, 03, 05 y 06, este valor vario en la semana 04 y 07 debido a que la inyección de dióxido de carbono fue interrumpida por el periodo de 24 horas.

3.3. Evaluación del efecto del dióxido de carbono inyectado en el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp*

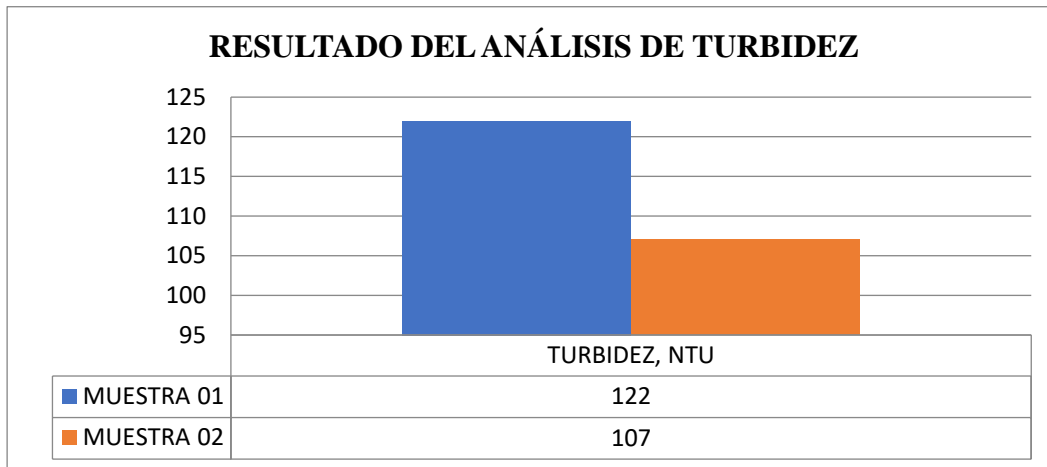


Figura 01. Evaluación del efecto del CO_2 en el parámetro de turbidez.

Interpretación: El dióxido de carbono fue inyectado en el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* dentro del fotobiorreactor. Se obtuvieron los resultados mediante los parámetros con una muestra antes de la inyección del dióxido de carbono y otra después de realizarse la inyección del dióxido de carbono.

Los resultados que se expresaron fueron de 122 NTU (Unidad de Turbidez Nefelométrica), de la muestra 01, fue antes de aplicar el dióxido de carbono y de 107 NTU (Unidad de Turbidez Nefelométrica), de la muestra 02, después de haberse aplicado el dióxido de carbono.

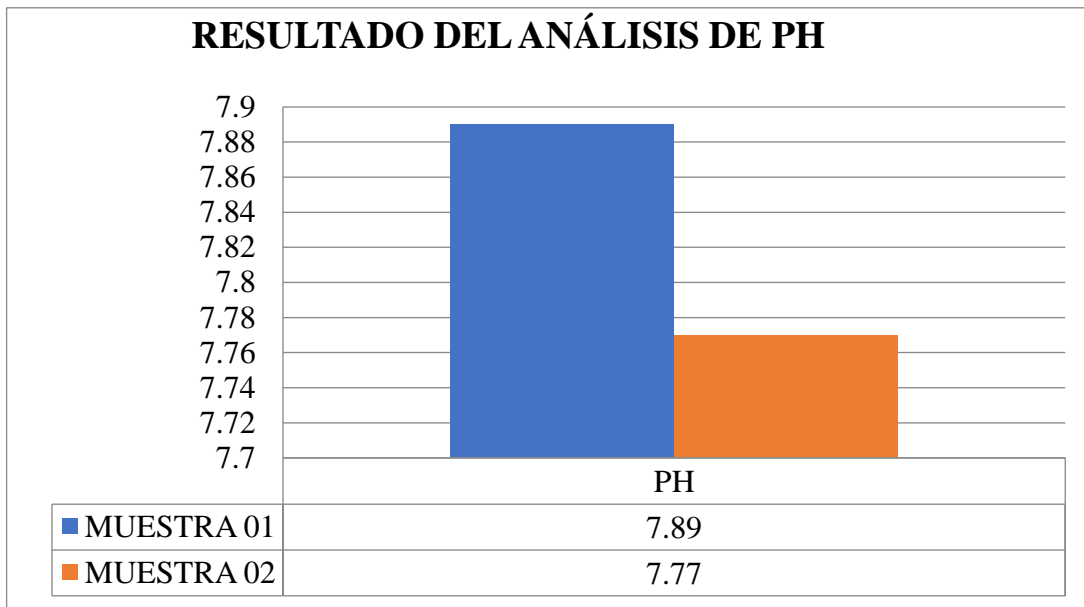


Figura 02. Evaluación del efecto del CO₂ en el parámetro de pH

Interpretación: El pH (potencial de hidrogeno) es un parámetro cuyo análisis tiene como objetivo determinar la presencia de los iones de hidrogeno e hidroxilo, para evidenciar de esta forma si la muestra es acida o básica.

Por lo cual se expresaron los resultados en la Figura 2. siendo estos de, 7,89 pH (potencial de hidrogeno), de la muestra 01, antes de aplicar el dióxido de carbono de 7.77 pH (potencial de hidrogeno), en la muestra 02, después de aplicar el dióxido de carbono, evidenciando que el cultivo de microalga posee un pH ligeramente básico.

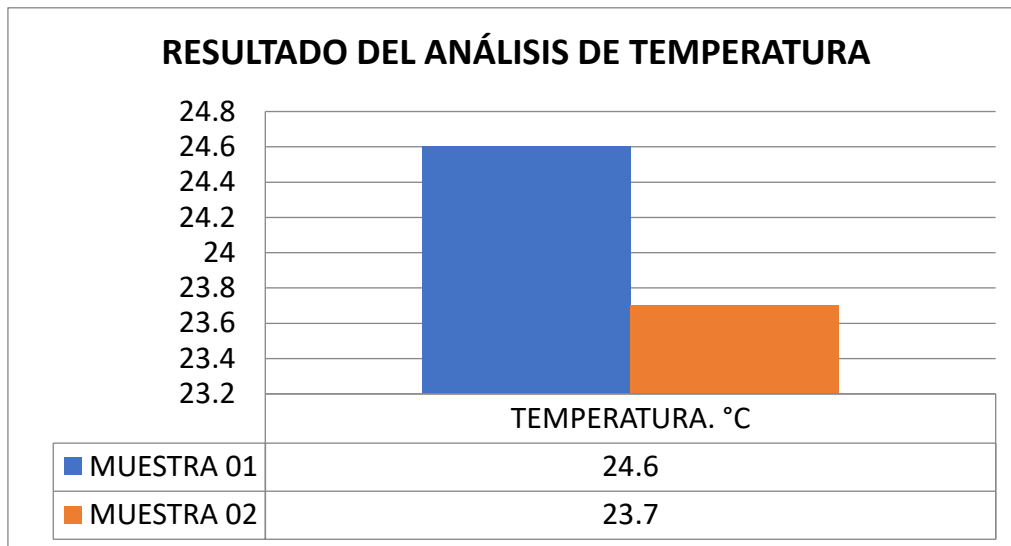


Figura 03. *Evaluación del efecto del CO₂ en el parámetro de grados centígrados.*

Interpretación: Los resultados que se expresaron en la Figura 3 son de, 24.6 °C (grados centígrados), de la muestra 01, antes de la aplicación del dióxido de carbono y de 23.7 °C (grados centígrados) de la muestra 02, siendo esta después de aplicarse el dióxido de carbono, teniendo como ultimo resultado ligeramente inferior al primero.

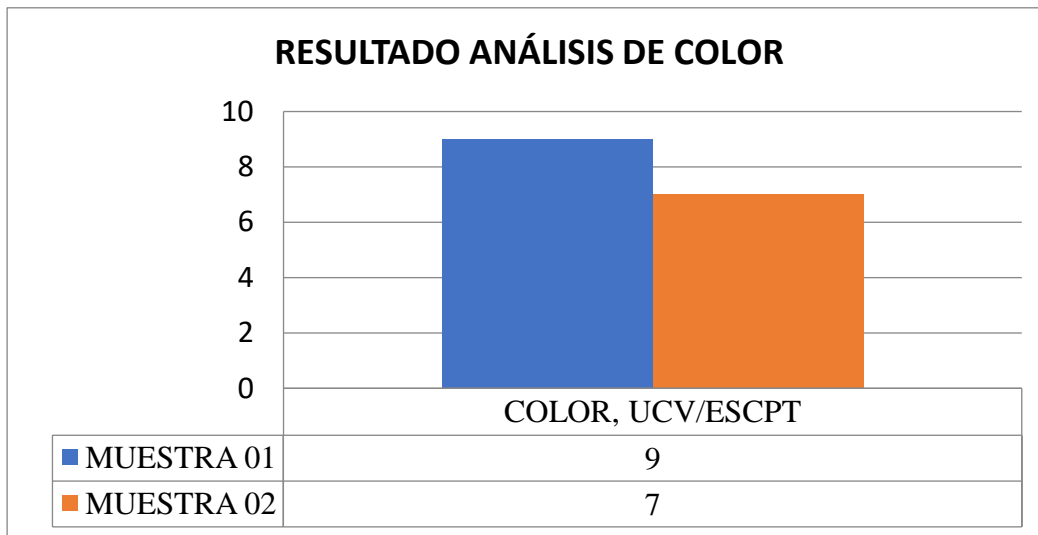


Figura 04. Evaluación del efecto del CO₂ en el parámetro de color.

Interpretación: El color es un parámetro comúnmente utilizado en análisis de agua potable cuyo principal objetivo de su análisis fue el de determinar el valor del color aparente o del color real del medio acuoso.

Los resultados que se expresaron la Figura 4, en el parámetro color son de, 9 color, UCV/escPt (Unidad de Color Verdadero a escala Platino), de la muestra 01 antes de aplicar el dióxido de carbono y 7 color, UCV/escPt, (Unidad de Color Verdadero a escala Platino), de la muestra 02.

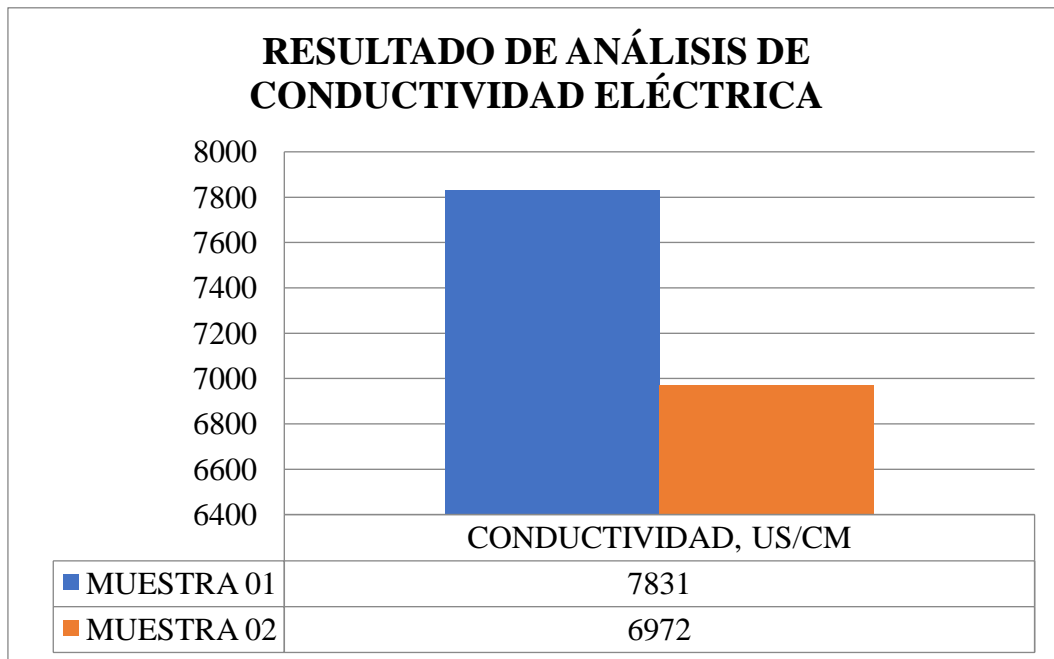
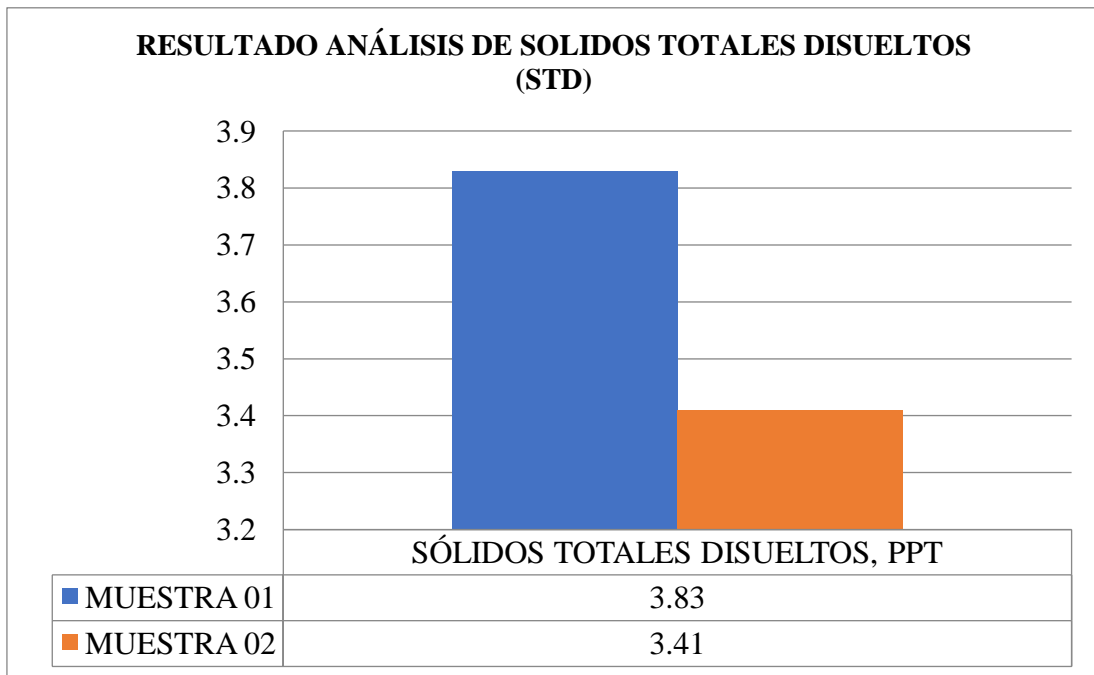


Figura 05. Evaluación del efecto del CO₂ en el parámetro de conductividad eléctrica.

Interpretación: La conductividad eléctrica es un parámetro que tuvo como objetivo el de medir la capacidad que posee una sustancia o material de permitir el paso de corriente eléctrica en su sistema, que en nuestro caso fue el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* dentro de nuestro fotobiorreactor manual.

Los resultados que se expresaron en la Figura 5, en el parámetro de conductividad eléctrica fueron de 7831 Us/cm (Conductividad Especifica/siemens por metro), en la muestra 01, antes de la inyección del dióxido de carbono y 6972 Us/cm (Conductividad Especifica/siemens por metro), de la muestra 02.



***Figura 06.** Evaluación del efecto del CO₂ en el parámetro de Sólidos Totales Disueltos.*

Interpretación: Los resultados que se expresaron la Figura 6 en el parámetro sólidos totales disueltos fueron de 3.83 ppt (partes por millar), en la muestra, antes de aplicar el dióxido de carbono y de 3.41 ppt (partes por millar) en la muestra 02, después de la aplicación del dióxido de carbono, por lo que se obtuvo como último resultado ligeramente inferior al primero.

3.4. Análisis del nivel de efectividad de biocaptación de dióxido de carbono de la microalga *Scenedesmus sp*

La determinación de humedad es un método comúnmente utilizado en los análisis de control de calidad de alimentos, sin embargo, el principal objetivo fue el de determinar el porcentaje de humedad que estuvo presente en una muestra, teniéndose como muestra la biomasa que fue generada por el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* recolectada en el fotobiorreactor.

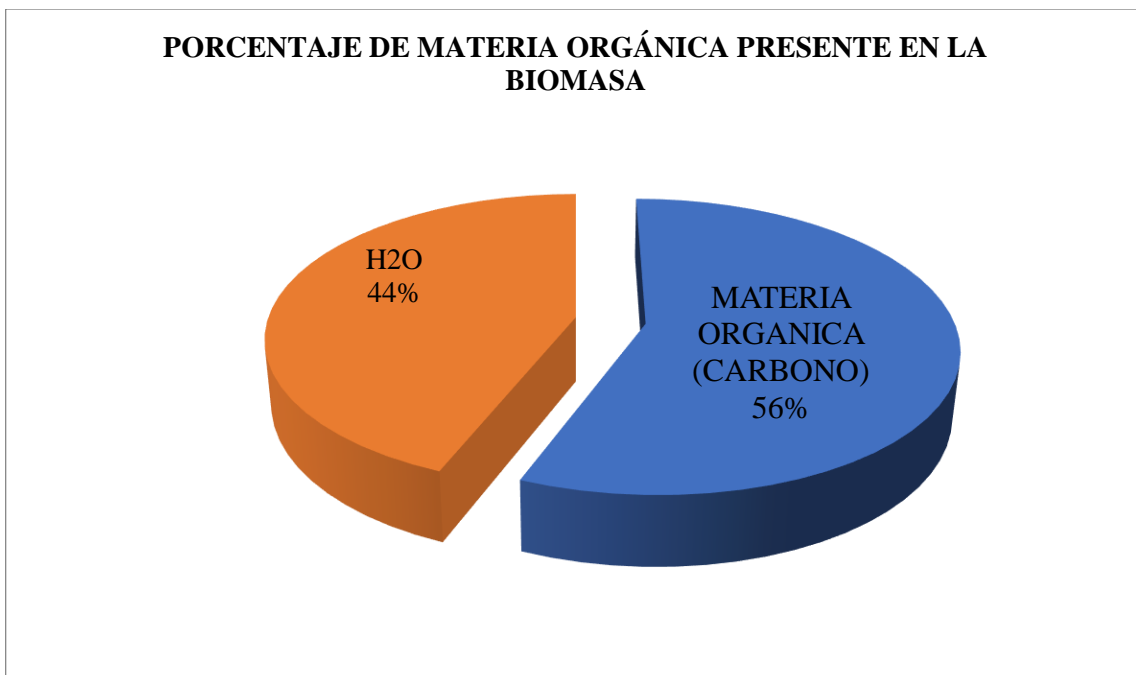


Figura 07. Análisis en porcentaje de materia orgánica (carbono) en la biomasa.

Interpretación: Los resultados que se expresaron en la Figura 7, fueron análisis del método de humedad que dieron como resultado 56.2 % (Materia Orgánica – Carbono), de la muestra de biomasa, obteniéndose como porcentaje restante 43.8 % (H₂O – agua), estos porcentajes correspondieron de los 17.76 ml. de biomasa que fueron recolectados después de aplicar el dióxido de carbono al cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en el fotobiorreactor manual.

Tabla 3. Análisis fisicoquímicos del medio de cultivo

	CANTIDAD	% DE MATERIA ORGÁNICA (CARBONO)	% DE HUMEDAD – H₂O	% DE MATERIA ORGÁNICA (CARBONO) EN ML.
Muestra de biomasa	17.76 ml.	56.2%	43.8%	9.98 ml.

Fuente: Elaboración del equipo investigador.

Interpretación: Los resultados que se expresaron en la Tabla 3, fueron de los porcentajes de Materia Orgánica – Carbono, de la muestra de biomasa, H₂O – agua y el de porcentajes de Materia Orgánica – Carbono que fueron expresados en mililitros, estos porcentajes fueron de 56.2 % (Materia Orgánica – Carbono), 43.8 % (H₂O – agua) y de 9.98 ml. de (Materia Orgánica – Carbono), obtenidos de la biomasa recolectada después de aplicarse el dióxido de carbono al cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en el fotobiorreactor.

Tabla 4. Datos del cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* en la biocaptación de CO₂

	CANTIDAD	% DE MATERIA ORGÁNICA (CARBONO)	% DE HUMEDAD – H₂O	% DE MATERIA ORGÁNICA (CARBONO) EN ML.
Muestra de biomasa	17.76 ml.	56.2%	43.8%	9.98 ml.

Fuente: Elaboración del equipo investigador.

Interpretación: Los resultados que se expresaron en la Tabla 4, fueron de los datos y valores que se tomaron en cuenta en el proceso de biocaptación de dióxido de carbono por parte del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en el fotobiorreactor, teniéndose como datos que el cultivo utilizado es de 2 litros del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*, el tiempo de cultivo fue de 7 semanas, la cantidad de biomasa producida fue de 17.76 mililitros y por último la cantidad de materia orgánica-carbono biocaptada fue de 9.98 mililitros.

Tabla 5. Valores de dióxido de carbono biocaptado según el tiempo expuesto

CULTIVO DE MICROALGA	CANTIDAD DE CULTIVO	TIEMPO DE CULTIVO	CANTIDAD DE BIOMASA PRODUCIDA	CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA (CARBONO) BIOCAPTADA.
Especie				
<i>Scenedesmus sp.</i>	2 litros	7 semanas	17.76 mililitros	9.98 mililitros

Fuente: Elaboración del equipo investigador.

Interpretación: Los resultados que se expresaron la Tabla 5, fueron de los valores que se tomaron en cuenta en el proceso de biocaptación de dióxido de carbono por parte del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en el fotobiorreactor manual, obteniéndose como resultado la cantidad de dióxido de carbono biocaptado en las siete semanas fue 9.98 mililitros.

Tabla 6. Valores de dióxido de carbono biocaptado según el tiempo expuesto

VALORES PRECISOS DE DIÓXIDO DE CARBONO BIOCAPTADO SEGÚN EL TIEMPO EXPUESTO				
7 semanas	1 semana	1 día	1 hora	1 mes
9.98	1.43 mililitros	0.28 mililitros	0.01 mililitros	5.72 mililitros
mililitros	de	de	de	de
de	CO ₂ biocaptado	CO ₂ biocaptado	CO ₂ biocaptado	CO ₂
CO₂				biocaptado
biocaptado				

Fuente: Elaboración del equipo investigador.

Interpretación: Para la obtención de los resultados más precisos se procedió a aplicar la fórmula de conversión la cual dio como resultado que en una semana se biocapto 1.43 mililitros de dióxido de carbono, en un día 0.28 mililitros, en una hora 0.01 mililitros y en un mes 5.72 mililitros. Estos valores de biocaptación correspondieron a la especie de microalga *Scenedesmus sp.* que fue la que se utilizó en este presente proceso.

IV. DISCUSIÓN

En el siguiente apartado se discutieron los resultados expresados en los análisis realizados a las respectivas muestras, comenzando con la muestra de medio de cultivo, que fue cultivada en el laboratorio de físico-química ambiental de la Universidad Cesar Vallejo. Esta muestra estuvo aislada y en constante monitoreo por un tiempo de seis meses, cabe destacar que en todo ese tiempo no se le inyectó dióxido de carbono al cultivo, después de transcurrir el tiempo el equipo investigador decidió incorporar el cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* en un fotobiorreactor convencional ensamblado en el laboratorio de físico-química ambiental de la Universidad Cesar Vallejo.

Por lo cual antes de inyectar el dióxido de carbono al fotobiorreactor se procedió a realizar la toma de un litro de muestra del medio de cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* para su posterior análisis físicoquímicos, los parámetros a tomarse en cuenta para estos análisis fueron los de Turbidez, pH, Temperatura, Color, Conductividad Eléctrica (C.E) y Sólidos Totales Disueltos (STD), estos parámetros nos indicaron las condiciones en las que se encuentra el medio de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* antes de inyectarle concentraciones de dióxido de carbono.

Los parámetros analizados nos permitieron crear un perfil de cómo se encontraba el cultivo de la microalga antes de la inyección de dióxido de carbono en el fotobiorreactor, estos datos se tuvieron en consideración como antecedentes, de esta forma lo pudimos comparar con los resultados de los análisis del medio de cultivo después de la aplicación del dióxido de carbono.

Los resultados de la muestra, indicaron que el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* estuvo en condiciones óptimas ya que tuvieron un valor de turbidez dentro del rango aceptable, 122.00 NTU (Unidad de Turbidez Nefelométrica) esto demostró que el metabolismo de la microalga había sido estimulado de forma correcta con los nutrientes que se le administró durante el tiempo de cultivo, siendo estas las partículas en suspensión que se encontraron en el análisis.

El pH que se obtuvo como resultado es de 7.89 pH, siendo considerado dentro de un rango aceptable, un pH óptimo en un medio de cultivo de microalga es entre 8,2–8,7, sin

embargo, por lo general la mayoría de antecedentes de cultivos de microalgas dieron un promedio de pH entre 7 y 9.

El valor de la temperatura que dio el resultado fue de 24.60 °C, encontrándose dentro de lo normal ya que es el rango de temperatura de ambiente, lo cual se evidencio que no existió ningún tipo de alteración en el cultivo de la microalga. El resultado del parámetro de color fue de 9.00 UCV/escPt (Unidad de Color Verdadero a escala Platino) encontrándose dentro del rango promedio óptimo de un cultivo de la microalga.

Los resultados de conductividad eléctrica fueron de 7831 Us/cm (Conductividad Especifica/siemens por metro) siendo un valor aceptable en el medio de cultivo ya que se demostró que los nutrientes administrados fueron metabolizados de forma correcta, al igual que los resultados de solidos totales disueltos que fueron de 3.83 ppt (partes por millar) también encontrándose dentro del rango promedio óptimo de un cultivo de la microalga por la misma explicación que se le dio al parámetro de conductividad eléctrica.

4.1. Aplicación de concentraciones de dióxido de carbono en el fotobiorreactor para la especie de microalga *Scenedesmus sp*

La aplicación de concentraciones de dióxido de carbono se realizó mediante el fotobiorreactor, el fotobiorreactor fue modificado físicamente durante el ensamblado en la cual se le adiciono una manguera de aquarium y un motor de aquarium, este motor tenía las características de 220V, 60Hz, Power 2.5W, Output 3L/min y Pressure 0.02Mpa, estas características permitió tener un control óptimo de las concentraciones de dióxido de carbono que se le inyectó al medio de cultivo de microalga *Scenedesmus sp*.

Las concentraciones de dióxido de carbono que fueron inyectadas al medio de cultivo de microalga *Scenedesmus sp*. fueron de tres litros por minuto (3L/min) con una presión de 0.02Mpa (mega pascales), cabe mencionar que el dióxido de carbono inyectado al medio de cultivo fue el dióxido de carbono presente en el ambiente, se adoptó esta medida ya que el dióxido de carbono de combustión puede ocasionar el deceso del cultivo de microalga *Scenedesmus sp*.

Se realizó una constante observación al fotobiorreactor con el fin de poder garantizar la correcta inyección del dióxido de carbono, el motor de aquarium encargado de inyectar el dióxido de carbono permaneció encendido todo los días de la semana, dicho motor fue encendido por personal encargado del Laboratorio de Físicoquímica Ambiental, todos los días lunes a las ocho en punto de la mañana y era apagado los días viernes a las seis de la tarde, según declaraciones de la encargada de laboratorio, sin embargo en la Tabla 2 evidenciado líneas arriba se indicó el promedio de las cantidades de dióxido de carbono inyectado .

4.2. Evaluación del efecto del dióxido de carbono inyectado en el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

Para tener en cuenta la evaluación del efecto del dióxido de carbono inyectado en el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en el fotobiorreactor, se realizó una evaluación de los análisis físicoquímicos del medio de cultivo antes y después de la inyección del dióxido de carbono, de esta forma se pudo contrastar los resultados de los análisis del medio de cultivo con la teoría consultada donde se pudo evaluar el efecto del dióxido de carbono biocaptado por el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

En primer lugar, se realizó la evaluación de los resultados físicoquímicos realizados a las muestras del medio de cultivo antes y después de inyectar el dióxido de carbono, teniendo en cuenta los parámetros de turbidez, pH, temperatura, color, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos, se escogieron estos parámetros teniendo como referencia la literatura que fue consultada, así como recomendaciones de expertos en el tema.

El parámetro de Turbidez tuvo como objetivo determinar la presencia de partículas en suspensión presentes en la muestra y la claridad de la misma, este parámetro fue importante de realizar debido a que los resultados evidenciaron la presencia del consorcio de microalgas presentes en la muestra, según los análisis realizados a las muestras antes y después de inyectar el dióxido de carbono demostraron que antes de aplicar el dióxido de carbono que es visualizado en la Figura 1, en la muestra 01, dio como resultado 122 NTU (Unidad de Turbidez Nefelométrica), demostrando la

presencia de partículas en la muestra y la presencia del consocio de la microalga *Scenedesmus sp.*

Por otro lado el resultado de la muestra después de la realización de la inyección del dióxido de carbono, que es visualizado en la Figura 1, en la muestra 02 se obtuvo como resultado 107 NTU (Unidad de Turbidez Nefelométrica), demostrado de la misma forma que el análisis anterior, por lo que existía presencia de partículas en la muestra, que fueron el consorcio microalgal, sin embargo en esta muestra el resultado disminuyó considerablemente, por lo que explica que según las múltiples teorías consultadas, la presencia de dióxido de carbono en grandes cantidades en un determinado consorcio de microalgas pueden ser saturarlas, ocasionando la muerte de estas, por lo que guarda relación con el resultado de la muestra 02 en comparación de la muestra 01, sin considerar la extracción de la biomasa de la muestra 02, que fue producida por el cultivo que también le disminuyó valor .

De esta forma se demuestra la presencia de dióxido de carbono presente en el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* y su efecto que causó en el mismo, por lo cual los resultados de este parámetro evidenciaron los efectos causados en el proceso de biocaptación del dióxido de carbono.

El potencial de hidrógeno o simplemente pH es un parámetro cuyo análisis tuvo como objetivo determinar la presencia de los iones de hidrógeno e hidróxido, pudiendo de esta forma evidenciarse si la muestra es ácida o básica, en nuestro caso se consideró este parámetro puesto que la bibliografía específica que el análisis de pH puede evidenciar si un cultivo de microalgas se encontró realizando una óptima biocaptación de dióxido de carbono presente en el ambiente, ya que cuando estos microorganismos biocaptan el dióxido de carbono obtienen como resultado la acumulación de hidróxido.

Un pH óptimo en un medio de cultivo de microalga es de entre 8,2–8,7, sin embargo por lo general la mayoría de antecedentes de cultivos de microalgas indicaron un promedio entre 7 y 9, en nuestro caso esta constante no fue la excepción, ya que los resultados indicaron que antes de la aplicación del dióxido de carbono fue de 7,89 pH y después de

la aplicación del dióxido de carbono el resultado fue de 7.77 pH, evidenciando que el cultivo de microalga posee un pH ligeramente básico.

Tomando en cuenta lo expuesto líneas arriba según la teoría que fue consultada, nos indicó que cuando se realiza un óptimo proceso de biocaptación de dióxido de carbono el pH puede ser básico ya que estos microorganismos acumulan iones de hidróxido en el medio de cultivo por lo que quedó demostrado de esta forma en los resultados, que el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* realizó biocaptación del dióxido de carbono dentro del fotobiorreactor y el efecto que causó este en el cultivo.

La temperatura es una magnitud física cuyo análisis tuvo como objetivo la determinación de la energía interna de un cuerpo que en este caso fue el medio de cultivo, antecedentes indicaron que la temperatura no resulta significativamente e influyente siempre y cuando se demuestre que el dióxido de carbono o la luz sean limitantes en el medio cultivo, sin embargo el dióxido de carbono y la luz no han sido limitantes en el medio de cultivo, por el contrario fueron elementos indispensables en el proceso de biocaptación de dióxido de carbono, ya que el cultivo estuvo en constante presencia de luz natural en el espacio en donde se encontraba y por otro lado el dióxido de carbono fue incorporado mecánicamente al fotobiorreactor.

Sin embargo los resultados de las muestras no indicaron mayor diferencia una de la otra, ya que el resultado de la muestra de antes de la inyección de dióxido de carbono fue de 24.6°C y después de la inyección fue de 23.7°C, siendo el último resultado ligeramente inferior al primero, por lo que se demuestra que el efecto de la biocaptación del dióxido de carbono presente en el ambiente ante el medio de cultivo, no significó mayor cambio, en la temperatura del medio, ya que la temperatura fue igual a la de la temperatura ambiente, esto se pudo explicar debido a que según la literatura consultada, la temperatura suele ser alta siempre y cuando el dióxido de carbono sea de combustión y no el que se encuentre presente en el ambiente.

El parámetro de color es un parámetro comúnmente utilizado en análisis de agua potable cuyo principal objetivo de su análisis fue el de determinar el valor del color aparente o del color real del medio acuoso, en este caso se decidió realizar este análisis con el fin

de determinar el valor de la unidad de color verdadero a escala platino (UCV/escPt), la teoría nos indicó que este parámetro es similar al de el parámetro de turbidez sin embargo este parámetro fue mucho más preciso y nos permitió obtener valores más exactos.

Los resultados de la muestra 01 fueron de 9 color, UCV/escPt, evidenciándose la presencia de microorganismos en la muestra analizada, estos análisis indicaron el color real que estuvo presente en la muestra, esta presencia de color real se le atribuyo a la presencia del consorcio de la microalga *Scenedesmus sp.* que en comparación de los resultados de la muestra 02 es mayor, cabe mencionar que la muestra 01 fue la muestra analizada antes de la inyección de dióxido de carbono al cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* .La muestra 02 se tomó después de la aplicación de dióxido de carbono, obtenido como resultado el valor de 7 color, UCV/escPt, siendo inferior al resultado de la muestra 01, esta explicación fue la misma que se le dio al resultado del parámetro de turbidez, la explicación con respecto a la adición de dióxido de carbono al medio de cultivo en grandes concentraciones termino saturándolas haciendo que estas mueran y disminuyan el consorcio de la microalga *Scenedesmus sp.* que se tenía inicialmente, sin considerar la extracción de la biomasa de la muestra 02, producida por el cultivo, que también le resto valor.

La conductividad eléctrica es un parámetro que tuvo como objetivo el de medir la capacidad que posee una sustancia o material de permitir el paso de corriente eléctrica en su sistema, este parámetro fue importante ya que los resultados demostraron presencia de sales disueltas o solidos disueltos en el cultivo de microalga *Scenedesmus sp.*, esto pudo evidenciar un buen metabolismo de estas, lo que a su vez demostró que el dióxido de carbono fue biocaptado y metabolizado.

Los resultados de la muestra 01, de este parámetro son de 7831 Us/cm (Conductividad Especifica/siemens por metro) demostrando que el medio de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* antes de la inyección del dióxido de carbono, produjo su propia biomasa producto de los nutrientes que se le administro meses antes con el objetivo de preservar para posteriormente inyectar el dióxido de carbono en el fotobiorreactor.

Los resultados de la muestra 02 son de 6972 Us/cm (Conductividad Especifica/siemens por metro) este valor fue ligeramente menor a comparación de los resultados de la muestra 01, esto se explicó debido a que la muestra 02 fue recolectada extrayéndole la biomasa producida, por lo cual se explicó que este valor fue ligeramente menor al primero ya que las sales disueltas o solidos disueltos fueron extraídos, sin embargo también se explicó que la saturación de estas por las grandes cantidades de dióxido de carbono que se le inyecto al cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

Los sólidos totales disueltos o STD es un parámetro fisicoquímico cuyo análisis tuvo como objetivo el de determinar la presencia de concentraciones totales de sustancias disueltas en un medio acuoso, en el caso particular de un cultivo de microalgas este parámetro ayudo a determinar el óptimo metabolismo de un cultivo de microalga, ya que esto determino que fueron efectivos los nutrientes que se les administro al cultivo de microalga.

En la muestra 01 se obtuvo como resultado el valor de 3.83 ppt (partes por millar) esto evidencio el óptimo estado del cultivo de la microalga antes de la incorporación del dióxido de carbono por medio del fotobiorreactor debido a los nutrientes que se le administro previamente.

Los resultados de la muestra 02 son de 3.41 ppt (partes por millar) este valor fue ligeramente menor a comparación de los resultados de la muestra 01, teniendo la misma explicación de la muestra 02 del parámetro de conductividad eléctrica, debido a que a la muestra se le extrajo la biomasa producida, por lo cual el valor fue ligeramente menor al primero ya que los sólidos disueltos fueron extraídos, sin embargo también se explicó que en la saturación de estas, por las grandes cantidades de dióxido de carbono se le inyecto al cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

4.3. Análisis del nivel de efectividad de biocaptación de dióxido de carbono de la microalga *Scenedesmus sp.*

Durante el proceso de análisis del nivel de efectividad de un cultivo de microalga en la biocaptación de dióxido de carbono, existieron muchos procesos y análisis de laboratorio que ayudaron a la determinación de la cantidad de dióxido de carbono biocaptado, entre ellas se tuvo la determinación de carbono en la biomasa producida, análisis de materia orgánica a la biomasa producida, métodos indirectos de relación a carbono y la que se aplicó en este caso la determinación de humedad.

La determinación de humedad es un método comúnmente utilizado en los análisis de control de calidad de alimentos, sin embargo, su principal objetivo en este caso fue el de determinar el porcentaje de humedad presente en la muestra de biomasa que fue generada por el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* recolectada en el fotobiorreactor.

La biomasa fue derivada del proceso de biocaptación de dióxido de carbono, por lo que fue sumamente importante al momento de determinar la eficiencia de un cultivo de microalga en la biocaptación de dióxido de carbono, ya que en la biomasa se encontró la cantidad de carbono metabolizado, fijado o biocaptado por parte del cultivo de la microalga presente en el fotobiorreactor. Cabe mencionar que el fotobiorreactor fue uno de los instrumentos utilizados en el proceso de biocaptación de dióxido de carbono, debido a que permitió la aplicación directa del dióxido de carbono.

Por lo que el equipo investigador decidió realizar la recolección de la biomasa producida por el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en el fotobiorreactor, después de transcurrir siete semanas de aplicar el dióxido de carbono, este proceso se realizó aplicando el método de filtrado con papel filtro, por lo cual se filtró los dos litros del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* obteniendo como resultado 17.76 mililitros de biomasa que fue producida por la microalga *Scenedesmus sp.*, este proceso fue realizado en el laboratorio de Físicoquímica Ambiental de la Universidad César Vallejo.

Después de realizarse el proceso de filtrado de la biomasa, se procedió a realizar los análisis de humedad obteniendo como resultado que el 56.2 % de la muestra de biomasa recolectada que estuvo compuesta por (Materia Orgánica – Carbono), siendo el

porcentaje restante 43.8 % de (H₂O – agua), cabe recalcar que estos porcentajes correspondieron a los 17.76 mililitros de biomasa que fue recolectada después de aplicar el dióxido de carbono al cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en el fotobiorreactor.

Los resultados obtenidos de los análisis de humedad fueron expresados en porcentajes por lo que fue necesario aplicar la fórmula de conversión, para obtener el resultado expresado en mililitros, ya que de esta forma se pudo obtener resultados más precisos de la cantidad de carbono biocaptado por parte del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en el fotobiorreactor, en el cual se obtuvo que los 56.2% de (Materia Orgánica – Carbono) obtenidos en la biomasa correspondió a los 9.98 mililitro de carbono biocaptado.

Para la obtención de resultados más exactos y precisos fue necesario evidenciar los datos y valores obtenidos durante todo el proceso de biocaptacion de dióxido de carbono, es por eso que de esta forma se determinó que la especie de microalga utilizada en el proceso de biocaptacion de dióxido de carbono es de especie *Scenedesmus sp.*, esta especie fue considerada debido a su alta efectividad y tolerancia a concentraciones de dióxido de carbono según la literatura consultada.

La cantidad de cultivo utilizada en el proceso de biocaptacion de dióxido de carbono fue de dos litros, se decidió poseer esta cantidad debido a la poca muestra que se nos permitió conservar en las instalaciones del Laboratorio de Fisicoquímica Ambiental de la Universidad Cesar Vallejo, tomándose en cuenta también la capacidad del fotobiorreactor implementado, ya que el fotobiorreactor poseía una capacidad de dos litros y medio, por estas razones la cantidad determinada fueron de dos litros de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en el proceso de biocaptacion de dióxido de carbono.

El tiempo utilizado en el proceso de biocaptacion de dióxido de carbono fueron de siete semanas, dos meses aproximadamente, se consideró este tiempo tomando en cuenta las recomendaciones brindadas por varios expertos en el tema al cual se le fue consultada por su experiencia, estos expertos fueron en su mayoría de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ya que estos manifestaron que en solo una semana cualquier especie de microalga puede ya estar produciendo biomasa, por lo cual el equipo investigador

decidió solo considerar siete semanas de tiempo necesario en el proceso de biocaptación de dióxido de carbono.

La biomasa que fue producida y recolectada durante las siete semanas de proceso de biocaptación de dióxido de carbono fue de 17.76 mililitros, esta biomasa resultante fue producto del metabolismo del consorcio de la microalga *Scenedesmus sp.* esta biomasa estuvo compuesta de todos los nutrientes que se le administró durante el proceso de biocaptación de dióxido de carbono, también se encontró presencia de carbono según los análisis indirectos que se le realizó a la muestra de biomasa.

De los 17.76 mililitros de biomasa generada por el consorcio de la microalga *Scenedesmus sp.* se determinó que 9.98 mililitros fue carbono, el restante es solo presencia de agua o humedad estos datos nos ayudaron a poder determinar la capacidad de captación de dióxido de carbono de un determinado consorcio de microalga.

Según todos los datos expuestos se pudo determinar que en un tiempo de siete semanas un cultivo de dos litros de microalga de la especie *Scenedesmus sp.* pudo llegar a generar 17.76 mililitros de biomasa de la cual el 56.2% estuvo compuesta de carbono-materia orgánica resultante del proceso de biocaptación de dióxido de carbono que se realizó en un fotobiorreactor de capacidad de dos litro y medio, estos datos obtenidos nos ayudó a calcular valores más preciso de biocaptación de dióxido de carbono.

Por otro lado tomamos en cuenta los valores recopilados en el proceso de biocaptación de dióxido de carbono por parte del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en el fotobiorreactor se obtuvo como resultado que la cantidad de dióxido de carbono biocaptado en las siete semanas fueron 9.98 mililitros, sin embargo en la obtención de resultados más precisos se aplicó la fórmula de conversión la cual dio como resultado que en una semana se biocaptó 1.43 mililitros de dióxido de carbono, en un día 0.28 mililitros, en una hora 0.01 mililitros y en un mes 5.72 mililitros.

Estos valores obtenidos son valores que fueron expuesto y nos ayudaron a la verificación y la efectividad de dióxido de carbono biocaptado por el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

V. CONCLUSIONES

1. Se concluyo que los análisis de los parámetros realizados al cultivo de la microalga antes de incorporarle el dióxido de carbono por medio del fotobiorreactor, dio como resultado en el parámetro de turbidez 122.00 NTU (Unidad de Turbidez Nefelometrica), en el de pH el resultado fue de 7.89 pH (potencial de hidrogeno), en el de temperatura fue de 24.60 °C (grados centígrados), en el de color fue de 9.00 UCV/escPt (Unidad de Color Verdadero a escala Platino), en el de Conductividad Eléctrica fue de 7831 Us/cm (Conductividad Especifica/siemens por metro) y por último en el de solidos totales disueltos el resultado fue de 3.83 ppt (partes por millar), cabe mencionar que la muestra tomada fue de un litro de medio de cultivo.
2. Con respecto a las concentraciones de dióxido de carbono que fueron inyectadas al medio de cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* fueron de tres litros por minuto (3L/min), 180 litros por hora, 4320 litros por día y 21.600 litros por semana, esto con una presión de 0.02Mpa (mega pascales), cabe mencionar que el dióxido de carbono inyectado al medio de cultivo fue el dióxido de carbono presente en el ambiente.
3. Tomándose en cuenta los resultados de los análisis de humedad realizados a la biomasa recolectada arrojó que un 56.2 % (Materia Orgánica – Carbono) de la muestra de biomasa, siendo el porcentaje restante 43.8 % (H₂O – agua) estos porcentajes correspondieron de los 17.76 ml. de biomasa recolectada después de la aplicación del dióxido de carbono al cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en el fotobiorreactor.
4. Por último, se concluyó que un cultivo de 2 litros de microalga *Scenedesmus sp.*, en un tiempo de cultivo de 7 semanas, fue capaz de producirse 17.76 mililitros de biomasa que biocaptando la cantidad de 9.98 mililitros de carbono- materia orgánica en 7 semanas, 1.43 mililitros de dióxido de carbono en una semana, en un día 0.28 mililitros, en una hora 0.01 mililitros y en un mes 5.72 mililitros, en un fotobiorreactor a nivel de laboratorio.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar análisis de los parámetros en el cultivo de la microalga durante el proceso de biocaptación del dióxido de carbono, estos parámetros deben ser distintos a los realizados como turbidez, pH, color, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos, pero sin desestimar dichos parámetros mencionados, los parámetros extra a analizar pueden ser los de análisis cualitativos de microalgas, carbono, oxígeno disuelto y sólidos sedimentados suspendidos, esto con el fin de obtener datos relevantes en el proceso de la biocaptación, pero tomando en cuenta los análisis del antes y después de la inyección del dióxido de carbono.
2. Las concentraciones de dióxido de carbono inyectadas al medio de cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* deberán ser mayores a tres litros por minuto y de un dióxido de carbono de combustión, incrementando a su vez la cantidad de cultivo de la microalga, esto con el fin de obtener datos sobre dicho procedimiento y que tan efectivo es realizarlo.
3. Las muestras de la biomasa recolectada deberán ser analizadas con un método directo de determinación de carbono, esto con el fin de obtener datos precisos del carbono biocaptado por parte del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en un fotobiorreactor.
4. Se recomienda realizar el cultivo de microalga de la especie *Scenedesmus sp.* en prototipos de fotobiorreactores dinámicos, dentro de las instalaciones de la Universidad César Vallejo con el objetivo de purificar el aire presente en la universidad, esto debido a que la universidad se encuentra dentro de una zonificación industrial, por lo cual el aire presenta contaminación por partículas de dióxido de carbono perjudicando de esta forma a la comunidad universitaria y a la población aledaña, posteriormente este método puede aplicarse a la ciudad de Chiclayo, determinando puntos críticos en las cuales se puedan instalar dichos fotobiorreactores.

REFERENCIAS

ARIAS, Martha, MARTÍNEZ, Alfredo y CAÑIZARES, Rosa. Biodiesel Production from Microalgae: Cultivation Parameters that Affect Lipid Production. Acta Biológica Colombiana [en línea]. Abril 2013, n°1. [Fecha de consulta: 08 de abril de 2019].

Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2013000100004

ISSN: 0120-548X

ARROYO Bruno. Utilización de Residuos Sólidos y Líquidos de un Sistema Biofloc como medio de cultivo para la producción de *Scenedesmus sp.* Tesis (Magister Scientiae en Acuicultura). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Postgrado, 2016.

Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2775/M12-A77-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

BARAJAS, Lizbeth y SIERRA, Emerson. Evaluación de procesos necesarios para captación y/o almacenamiento de CO₂ como una medida de reducción al impacto ambiental. Revista Fuentes, el Reventón Energético, [en línea]. Diciembre 2017, n° 2. [Fecha de consulta: 08 de Abril 2019].

Disponible en <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/7685>

ISSN: 1657- 6527

BIOTRATAMIENTO de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas: Efecto del pH, nutrientes (C,N y P) y enriquecimiento con CO₂ por Julio Beltrán [et al]. Revista de biología marina y oceanografía [en línea]. Diciembre de 2017, n°2. [Fecha de consulta: 11 de octubre del 2019].

Disponible en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-19572017000300001

ISSN: 0718-1957

BOHÒRQUEZ, Lorena. Efecto de la Espirulina en el manejo de las alteraciones metabólicas relacionadas a la obesidad. Tesis (Magíster en Gestión de Negocios de Nutrición). Lima: Universidad San Ignacio de Loyola, Escuela de Postgrado de la Universidad San Ignacio de Loyola, 2017.

Disponible en http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/2711/1/2017_Bohorquez_Efecto-de-la-espirulina.pdf

CÁCERES, Scarlett. Aislamiento y Caracterización de las Principales Microalgas Presentes en el Sistema Hidropónico del Tipo Raíz Flotante. Tesis (Para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo). Chile: Universidad de Chile, Escuela de Agronomía, 2009.

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

CULTIVO de microalgas marinas potenciales para la acuicultura del litoral entre Puerto Salaverry y Puerto Chicoma por Alina Zafra [et al]. Revista Arnaldoa [en línea], 2017, n°2. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2019].

Disponible en http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992017000200009&script=sci_abstract

ISSN: 2413-3299

DÌAZ Claudia. Revisiòn de antecedentes de microalgas en el uso de biocombustibles y proyección para la región de Arica y Parinacota. Proyecto. Documento Temático [en línea]. Septiembre 2014.

Disponible en <http://repositoriodigital.corfo.cl/bitstream/handle/11373/9122/REVISION%20DE%20ANTECEDENTES%20BIOCOMBUSTIBLES%20VF.pdf?sequence=13>

ESTIMACIÓN cuantitativa preliminar de índices de producción de biomasa a partir de la reacción de fotosíntesis por Yanet Boffill [et al]. Revista Tecnología Química [en línea]. Enero-Abril 2012, n°2. [Fecha de consulta: 01 de mayo de 2019].

Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543775004.pdf>

ISSN: 0041-8420

FOLLANO Franco. Obtención de microalgas y producción de biodiesel mediante simulación, como estrategia de mitigación del CO₂ de la atmosfera. Tesis (Para obtener el grado de Ingeniero Químico). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de Procesos, 2014.

Disponible en <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3975>

GARCÍA, Agustín y HERNÁNDEZ, Juan. Conceptual Design System for the Intensive Cultivation of Seaweeds. Revista Tecnología Química [en línea]. 2012, n°2. [Fecha de consulta: 11 de Abril de 2019].

Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852012000200005&lng=en&nrm=iso

ISSN: 2224-6185.

GIRALDO, Alejandra. Evaluación de cepas de microalgas para captura de CO₂. Tesis (Magister en Ingeniería). Medellín: Universidad EAFIT. Escuela de Postgrado de la Universidad EAFIT, 2013.

Disponible en https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7377/Alejandra_GiraldoRave_2013.pdf?sequence=4

IMPACTO del CO₂ sobre la densidad celular en seis cepas de microalgas marinas por Alberto Oscanoa [et al]. Revista ION [en línea]. 31 de Marzo, n° 2. [Fecha de consulta: 02 Mayo 2019].

Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3420/342043860003.pdf>

ISSN 0120-100

MALGAS. Aplicaciones de las microalgas: Estado de la técnica. Documento Temático [en línea]. Diciembre 2013.

Disponible <http://proyectomalgas.com/wp-content/uploads/2014/04/guiamalgas.pdf>

MARTÍNEZ Lorena. Eliminación de CO₂ con Microalgas Autóctonas. Tesis (Para el grado de Doctor). España: Universidad de León, Instituto de Recursos Naturales, Área de Ingeniería Química, 2009.

Disponible en <https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/1414/2008ONMART%25CDNEZ%20GARC%25CDA%2C%20LORENA.pdf?sequence=1>

OBTENCIÓN de biomasa de microalga *Chlorella vulgaris* en un banco de prueba de fotobiorreactores de columna de burbujeo por Pedro Rodríguez [et al]. Revista Química Teórica y aplicada [en línea]. Octubre 2014, n° 2. [Fecha de consulta: 10 de Septiembre de 2019].

Disponible en <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/312011>

ISSN: 0001-9704.

PRODUCCION de biomasa de *Scenedesmus Obliquus* en diferentes medios de cultivo por Verónica Martínez [et al]. Revista CENIC. Ciencias Biológicas [en línea]. 2005, n°2. [Fecha de consulta: 15 Abril de 2019].

Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181220525007.pdf>

ISSN: 0253-5688.

PRODUCCIÓN de la Microalga *Nannochloropsis oculata* (Droop) Hibberd en medios enriquecidos con ensilado biológico de pescado por Heidi Sanchez Torres [et al]. Revista de Ecología Aplicada [en línea]. 2008, n°2. [Fecha de consulta: 01 mayo de 2019].

Disponible en http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162008000100018&script=sci_abstract

ISSN: 1726-2216

QUEVEDO, Catalina, MORALES, Sonia P y ACOSTA, Alejandro. Crecimiento de *Scenedesmus* sp en diferentes medios de cultivo para la producción de proteína microalgal. Revista Vitae, [en línea]. Marzo 2008, n°2. [Fecha de consulta 05 de Abril 2019].

Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v15n1/v15n1a04.pdf>

ISSN: 0121-4004.

RUIZ Ana. Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente. Tesis (Magíster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2011.

Disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12831/Ruiz%20Martinez%20Ana%20-%20Tesina%20Fin%20Master%20-%202011.pdf?sequence=1>

RUIZ Jessica. Estudio de Fotobiorreactor de Microalgas: Sistema de Monitoreo y Simulación de Estrategias de Control. Tesis (Para el grado en Ingeniería Mecánica-Eléctrica). Piura: Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Mecánica-Eléctrica, Facultad de Ingeniería, 2015.

Disponible en https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2733/IME_190.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SANTAELLA, Eladio. Producción y desarrollo de cultivo de algas para la captación de Anhídrido Carbónico y la producción de biocombustibles. Trabajo de investigación Proyecto de Microalgas. Madrid: Instituto Español de Oceanografía, Ministerio de Economía y Competividad, 2013.

Disponible en <http://www.repositorio.ieo.es/e-ieo/bitstream/handle/10508/1603/ProyMicroalgResu.pdf?sequence=2>

TAFUR, Valdano y FIERRO, Evelyn. Respuesta de Col China (*Brassica rapa* L. ssp. *Pequinensis* (Lour.) Hanelt.,) y Culantro (*Coriandrum sativum* L.) a la aplicación al suelo del consorcio de microalgas (*Chlorella* sp.) y (*Scenedesmus* sp). Tesis (Para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo). Quito: Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, 2015.

Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6402/1/T-UCE-0004-26.pdf>

VARGAS, Araceli y YÁÑEZ, Armando. La captura de carbono en bosques ¿una herramienta para la gestión ambiental? Revista Gaceta Ecológica [en línea]. Enero-Marzo 2004, n°2. [Fecha de consulta: 17 de Noviembre de 2019].

Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/539/53907001.pdf>
ISSN: 1405-2849.

VÁSQUEZ, Elizabeth y ZAVALETA, Tatiana. Crecimiento poblacional y contenido de lípidos de la microalga *Scenedesmus acutus* cultivada con diferentes concentraciones de aguas residuales municipales en condiciones de laboratorio. Tesis (Para obtener el grado de Biólogo Acuicultor). Nuevo Chimote: Universidad Nacional del Santa, Escuela Académico Profesional de Biología en Acuicultura, 2017.

Disponible en <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2577/42733.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VENEGAS, Josué, JÍMENEZ, Donaji y HÉRNANDEZ, Abigail. Comparación de crecimiento de *Scenedesmus sp.* y *Berrocodesmus Sp.* mediante la adición de CO₂ de la fermentación alcohólica. Revista de Energía Química y Física [en línea]. Marzo 2018, n°3. [Fecha de consulta: 20 de Junio de 2019].

Disponible

en

http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol5num14/Revista_de_Energ%C3%ADa_Qu%C3%ADmica_y_F%C3%ADsica_V5_N14_3.pdf

ISSN: 2410-3934

ANEXOS

PLAN DE ACCIÓN

I. DATOS GENERALES

1.1. Ubicación : Laboratorio de fisicoquímica de la Universidad Cesar Vallejo

1.2. Duración : 6 meses

1.2.1. Inicio : 01 de Julio del 2019

1.2.2. Término : 29 de Noviembre del 2019

1.3. Responsables : Renzo Peña Cordero, Yackeyn Peña Cordero

II. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

Efecto del cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* para la biocaptación de dióxido de carbono a nivel de laboratorio, Chiclayo.

III. JUSTIFICACIÓN

Asimismo, la Justificación del problema de la investigación es el siguiente: Los motivos que nos llevaron a realizar esta presente tesis, es el incremento de concentraciones de dióxido de carbono CO₂ presentes en la atmósfera, afectando principalmente al ambiente, salud y el aspecto económico. El compromiso de muchos países en reducir sus emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) en los últimos tiempos aun no evidencia mejoras. La capacidad y la característica que tienen los cultivos vegetales como son las algas, son una opción más óptima, debido a que estos son organismos fotosintéticos, muchos de ellos con la capacidad de tolerar concentraciones de dióxido de carbono y aumentar su productividad.

Es por este motivo que una de las medidas adoptadas hoy en día en la reducción de emisiones es la biofijación de CO₂ por microalgas, este proceso se lograra con la inyección de dióxido de carbono en medios de cultivos de microalgas, esta medida se presenta como la más sólida y con resultados ya demostrados como la alternativa natural y eco amigable con el ambiente.

Por otro lado, los cambios evidenciados en el ambiente han llevado a pensar que el calentamiento global es uno de los principales responsables de la polución atmosférica, sin embargo, las distintas industrias relacionadas con la creación de energía, gas natural, cemento, hierro y fabricación de acero, contribuyen al incremento de dióxido de carbono en la atmósfera, esto debido a su dependencia de fuentes como el petróleo, el carbón y el gas natural.

IV. OBJETIVOS

4.1. General

Determinar el efecto del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* para la biocaptación de dióxido de carbono a nivel de laboratorio.

4.2. Específicos

- Analizar el medio de cultivo para la especie de microalga *Scenedesmus sp.* antes de la inyección de dióxido de carbono en el fotobiorreactor en el Laboratorio.
- Aplicar concentraciones de dióxido de carbono en el fotobiorreactor para la especie de microalga *Scenedesmus sp.*
- Evaluación del efecto del dióxido de carbono inyectado en el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*
- Analizar el nivel de efectividad de biocaptación de dióxido de carbono de la microalga *Scenedesmus sp.*

V. DESCRIPCIÓN DEL PLAN

El presente plan de acción correspondiente al crecimiento y biocaptación de dióxido de carbono de la microalga *Scenedesmus sp.*, se basa en las siguientes acciones:

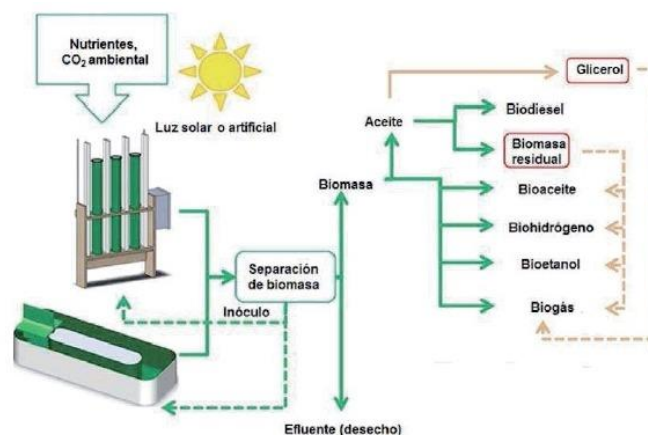


Figura 08. Cultivo de microalgas

Fuente: Malgas.

ACCIÓN 01.

Visita a la Universidad Nacional Agraria la Molina – La Molina – Lima – Lima

Fecha: 25 de agosto del 2018

Descripción de la acción:

En esta acción el equipo investigador ejecuto una visita a la Universidad Nacional Agraria La Molina, por lo cual se realizó un viaje a la ciudad de Lima, el objetivo de nuestra visita se justifica en la de solicitar información en el cultivo masivo de la microalga *Scenedesmus sp*, así como su mantenimiento, también en la de solicitar información en el proceso de armado de un biorreactor convencional a nivel de laboratorio.

Para lo cual la facultad de pesquería de la Universidad Nacional Agraria La Molina, acepto a realizar la exposición de información solicitada permitiéndonos el ingreso al Centro de Investigación Piscícola CINPIS, Centro de Investigación de Química, Toxicología y Biotecnología Ambiental y por último a su Laboratorio de Biología Ambiental, permitiendo al equipo investigador poder receptionar esta información para ser aplicada posteriormente.

Materiales:

- Cooler
- Tubos falcón
- Guantes
- Guardapolvo
- Mascarilla
- Matraz de Erlenmeyes 250 ML.

Evidencia fotográfica



Sistema abierto de cultivo de microalga a gran escala.



Observación del cultivo de microalga a media escala.



Fotobiorreactores manuales en el Laboratorio de Biología Ambiental de la UNALM



Centro de Investigación en Química, Toxicología y Biotecnología Ambiental.



Laboratorio de Biología Ambiental de la UNALM

ACCIÓN 02.

Ejecución del cultivo de dos litros de microalga *Scenedesmus sp.* en laboratorio de fisicoquímica Universidad Cesar Vallejo – Pimentel – Chiclayo – Lambayeque

Fecha: 9 de septiembre del 2019

Descripción de la acción:

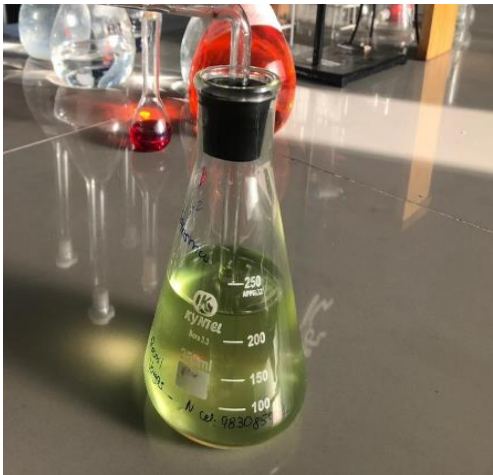
En esta acción el equipo investigador ejecuto el cultivo de dos litros de microalga *Scenedesmus sp.* a partir de la muestra de 240 ml. conservada en el laboratorio de fisicoquímica de la Universidad Cesar Vallejo, con el objetivo de lograr obtener un cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* destinada para la aplicación en un biorreactor para la biocaptacion de CO₂.

Para lo cual el equipo investigador realizo cálculos correspondientes para realizar el cultivo de la microalga, el cultivo se realizó en dos probetas de 1000 ml c/u en el laboratorio de fisicoquímica de la Universidad Cesar Vallejo

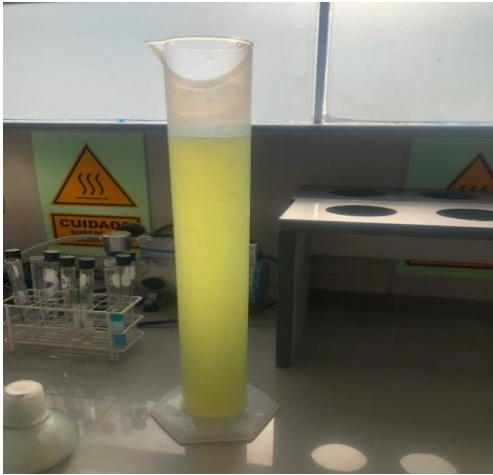
Materiales

- Muestra de microalga *Scenedesmus sp.* – 240 ml.
- Agua destilada estéril – 2000 ml.
- 02 probetas de 1000 ml c/u.
- Guantes
- Guardapolvo
- Mascarilla

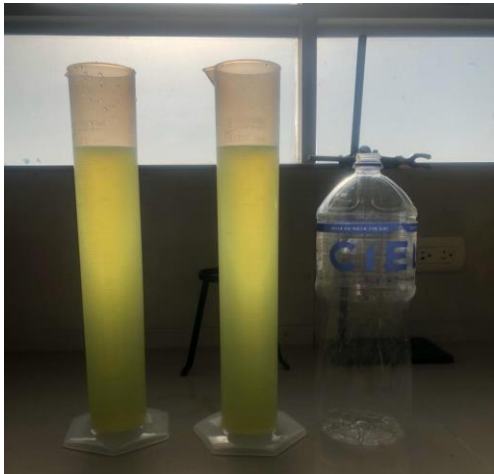
Evidencia fotográfica



Muestra de microalgas
Scenedesmus sp



Microalga *Scenedesmus sp* en
probetas de 1LT .



Muestra de 2 LT microalgas
Scenedesmus sp

ACCIÓN 03.

Preparación de los nutrientes para el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en laboratorio de fisicoquímica Universidad Cesar Vallejo – Pimentel – Chiclayo – Lambayeque

Fecha: 12 de septiembre del 2019

Descripción de la acción

En esta acción el equipo investigador realizó la preparación de los nutrientes a utilizarse en el crecimiento del cultivo de 2000 ml. de la microalga *Scenedesmus sp.* en el laboratorio de fisicoquímica de la Universidad Cesar Vallejo, con el objetivo de poder obtener un cultivo en óptimas condiciones para posteriormente incorporarlo al biorreactor de biocaptación de dióxido de carbono.

Por lo cual el equipo investigador realizó cálculos de disolución de nutriente y la utilización de estos nutrientes que son los siguientes, urea, cloruro de potasio, limadura de hierro y ácido fosfórico, estos insumos fueron adquiridos en el laboratorio de fisicoquímica de la Universidad Cesar Vallejo.

Materiales:

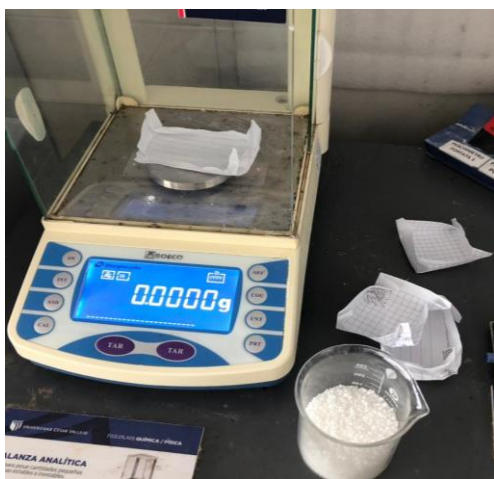
- Agua destilada estéril – 1000 ml.
- Urea
- Cloruro de Potasio (KCl)
- Limadura de hierro
- Guantes quirúrgicos
- Guardapolvo
- Mascarillas

Tabla 1. Preparación y Dosificación de nutrientes.

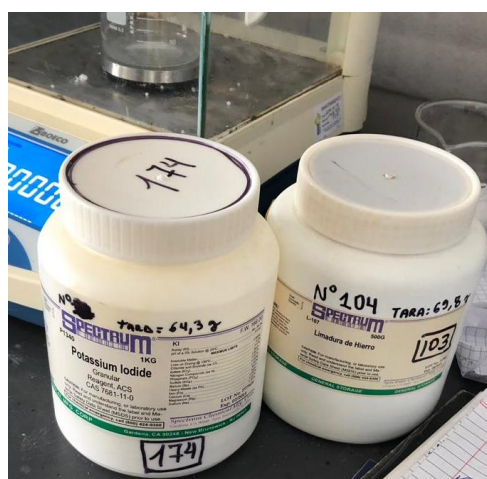
PREPARACIÓN DE MEDIO DE CULTIVO		
INSUMOS	MEDIDA	DISOLUCIÓN
Urea	2.06 gr	10 ml
Limadura de hierro	1.00 gr	10 ml
Ácido fosfórico	0.35 ml	10 ml
Cloruro de potásico	0.19 gr	10 ml
Cultivo de <i>Scenedesmus sp</i>	2000 ml	40 ml

Fuente Elaboración propia

Evidencia fotográfica:



Peso del nutriente Cloruro de Potasio



Peso del nutriente Cloruro de Potasio

ACCIÓN 04.

Aplicación de las dosis de los nutrientes en el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* en laboratorio de Físicoquímica de la Universidad Cesar Vallejo – Pimentel – Chiclayo – Lambayeque

Fecha: 13 de setiembre del 2019

Descripción de la acción:

En esta acción el equipo investigador ejecuto la aplicación de dosis de los nutrientes antes preparados para el cultivo de 2000 ml. de la microalga *Scenedesmus sp.* en el laboratorio de fisicoquímica de la Universidad Cesar Vallejo, con el objetivo de poder realizar un seguimiento del crecimiento optimo del cultivo.

Por lo cual el equipo investigador realizo el peso de los nutrientes y los cálculos para poder obtener la dosis optima de nutrientes que se van a emplear en el cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* siendo estos los siguientes nutrientes, urea, cloruro de potasio, limadura de hierro y ácido fosfórico, cabe recalcar que estos insumos fueron adquiridos en el laboratorio de fisicoquímica de la Universidad Cesar Vallejo.

La aplicación de la dosis se realizó en un tiempo establecido de siete semanas por lo que se evidencia en los cuadros y fotografías.

Materiales:

- Agua destilada estéril – 1000 ml.
- Urea
- Cloruro de Potasio (KCl)
- Limadura de hierro
- Guantes quirúrgicos
- Guardapolvo
- Mascarillas

Tabla 2. Cantidad de dosis suministrada de nutrientes por semanas.

Semanas	INSUMOS			
	Urea	Limadura de hierro	Ácido fosfórico	Cloruro de potasio
Semana 01	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.
Semana 02	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.
Semana 03	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.
Semana 04	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.
Semana 05	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.
Semana 06	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.
Semana 07	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.	0.04 ml.

Fuente Elaboración propia

ACCIÓN 05.

Armado de un fotobiorreactor para la biocaptación de CO₂ utilizando a la especie de microalga *Scenedesmus sp.* en el laboratorio de Físicoquímica de la Universidad Cesar Vallejo – Pimentel – Chiclayo – Lambayeque

Fecha: 01 de octubre del 2019

Descripción de la acción:

En esta acción el equipo investigador realizó el armado de un fotobiorreactor de biocaptación de CO₂ utilizando la especie de microalga *Scenedesmus sp.* en el laboratorio de físicoquímica de la Universidad Cesar Vallejo, con el objetivo de realizar la inyección de CO₂ en un instrumento piloto.

Por lo cual el equipo investigador realizó la solicitud correspondiente al personal encargado para poder hacer uso de manera responsable de los instrumentos empleados en el armado de un fotobiorreactor de biocaptación de CO₂, el armado del fotobiorreactor fue de diseño tubular ya que estos fotobiorreactores consisten esencialmente en tubos transparentes de vidrio o material plástico, con el fin de poder recolectar la luz solar.

Materiales:

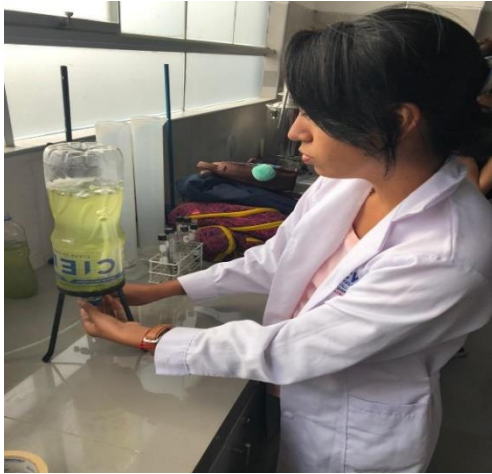
- Botella de plástico transparente de 2L de capacidad
- Manguera de aquarium
- Motor de aquarium de 220V / 60Hz / Power 2.5W / Output 3L/min / Pressure 0.02Mpa
- Guardapolvo.

Tabla 3. Instrumentos utilizados para la elaboración de un fotobiorreactor convencional.

Cantidad	Instrumento	Medida
01	Botella de plástico transparente	2000 ml.
01	Manguera de aquarium	20 cm
01	Motor de aquarium	220V / 60Hz / Power 2.5W / Output 3L/min / Pressure 0.02Mpa

Fuente Elaboración propia

Evidencia fotográfica



Microalga *Scenedesmus sp* en fotobiorreactor manual con capacidad de 2.5 ltrs.c



Implementación del motor para el bombeo e inyección de CO₂ a la muestra algal.



Observación del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp* en el laboratorio de la UCV.



Microalga *Scenedesmus sp* en fotobiorreactor manual con capacidad de 2.5 ltrs.c

ACCIÓN 06.

Visita a la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque S. A. EPSEL Chiclayo – Chiclayo – Lambayeque

Fecha: 01 de octubre del 2019

Descripción de la acción:

En esta acción el equipo investigador ejecuto una visita a la **Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque S. A. EPSEL**, el objetivo de nuestra visita se justificó en la de solicitar información sobre los servicios de análisis fisicoquímicos que realizo la empresa, con el fin de realizar los análisis requeridos por el equipo investigador.

La oficina de control de calidad de la **Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque S. A. EPSEL** decidió acceder a realizar los análisis de agua tomando en cuenta los siguientes parámetros pH, temperatura, color, turbiedad, Solidos Totales Disueltos (STD) y conductividad eléctrica, permitiendo al equipo investigador poder seleccionar esta información para ser aplicada posteriormente.

Evidencia fotográfica:



Visita a la Oficina de Control de Calidad de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque S.A EPSELChiclayo.

ACCIÓN 07.

Ejecución de filtrado de la biomasa obtenida por el cultivo de la de la microalga *Scenedesmus sp* en el laboratorio de Química de la Universidad César Vallejo

Fecha: 12 de noviembre del 2019

Descripción de la acción:

En esta acción el equipo realizo la visita al laboratorio de Química de la Universidad César Vallejo cuyo objetivo fue realizar el proceso de filtración de la muestra para obtener la biomasa la cual fue posteriormente analizada en un laboratorio certificado, el cual nos permitió determinar el porcentaje de dióxido de carbono biocaptado por la microalga *Scenedesmus sp*.

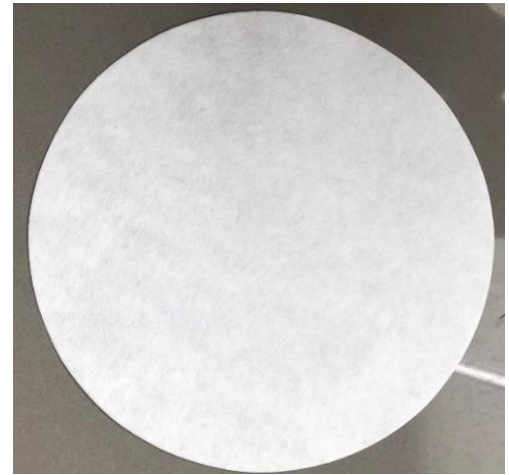
Materiales:

- Muestra de la microalga *Scenedesmus sp*.
- Papel Filtro
- (2) Matraz de Erlenmeyer de 250 ml
- (2) Embudos de Laboratorio
- Recipiente

Evidencia fotográfica:



Muestra de microalga
Scenedesmus sp.



Papel filtro



Muestra de microalga
Scenedesmus sp.



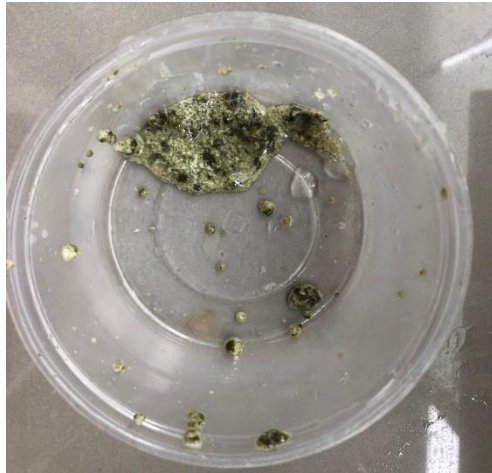
Matraces y embudos para el
proceso de filtración.



Remoción de la muestra de *Scenedesmus sp* para el proceso de filtración.



Agregado de muestra de *Scenedesmus sp* para la filtración.



Filtración de la muestra de microalga para la obtención de biomasa

ACCIÓN 08.

Visita al Laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo

Fecha: 13 de Noviembre del 2019

Descripción de la acción:

En esta acción el equipo realizo la visita al laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo con el objetivo de realizar la identificación a través de la vista microscópica de la muestra de microalga *Scenedesmus sp.*

Materiales:

- Muestra de la microalga *Scenedesmus sp.*
- Microscopio
- Portaobjeto
- Cubreobjeto
- Aceite de inmersión
- Gotero

Evidencia fotográfica:



Visualización de la muestra de la microalga *Scenedesmus sp.*



Presencia de microalga *Scenedesmus sp.*

ACCIÓN 09.

Visita al Laboratorio de Servicio de Investigación Biológica E.I.R.L (SINBIOL)

Fecha: 15 de Noviembre del 2019

Descripción de la acción:

En esta acción se realizó la visita al laboratorio, el cual se le entrego la biomasa filtrada para que posteriormente el laboratorio pueda determinar la concentración de carbono que biocapto la microalga *Scenedesmus sp.*

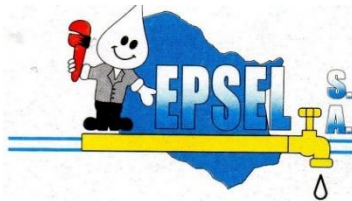
Materiales:

- Biomasa de la microalga *Scenedesmus sp.* 17.76 ml.

Evidencia fotográfica



Visita al Laboratorio SINBIOL para la entrega de biomasa después de la inyección de CO₂.



**EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.**

**“ TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE
LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICIE ”**

EPSEL S.A.
GERENCIA GENERAL
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS QUÍMICOS

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

PARAMETROS	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Fecha de Análisis:	23/10/2019	19/10/2019
Código	LCC 3589.19	LCC 3938.19
Turbidez, NTU	122.00	107.00
pH	7.89	7.77
Temperatura, °C	24.60	23.70
Color, UCV/escPt	9.00	7.00
Conductividad, Us/cm	7831	6972
Sólidos Totales Disueltos, ppt	3.83	3.41

OBSERVACIÓN: Las muestras fueron colectadas por personal interesado.



OFICINAS: Av. Carlos Castañeda Iparraguirre N° 100 - Av. Sáenz Peña N° 1860 (Planta de Agua Potable) Chiclayo
Telf.: 252291 (Central de Telefónica) - 253479 (G.G) - Gerencia Operacional Telf.: 254132
Gerencia Comercial - Av. Miguel Grau N° 451 - Telf.: 273609 (G.C.) - 235751 (Central Telefónica)
Emergencias: Telf.: 238363 - 326747 - 0-800-27092

Resultados de Análisis fisicoquímicos al medio de cultivo por parte de EPSEL S.A



SINBIOL
SERVICIOS DE INVESTIGACIÓN BIOLÓGICA E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYOS

N° 01371 -2019

SOLICITANTE: Yackelyn Peña Cordero y Renzo Peña Cordero
DIRECCIÓN: Av. Salaverry N° 1350 - Chiclayo
TIPO DE MUESTRA: Concentrado de biomasa originada por la inyección de CO₂ sobre el Cultivo de la microalga Scenedesmus spp
CÓDIGO CLIENTE: OT 461-1
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Biomasa-Materia orgánica, cantidad recibidarecibida 17.76
FECHA Y HORA DE MUESTREO: _____
RECOLECTOR DE LA MUESTRA: Solicitante
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN: 22/11/2019 H:16:00
FECHA Y HORA DE ANÁLISIS: 23/11/2019 H: 8.30
NUMERO DE SUB-MUESTRAS: 1
ANALISIS SOLICITADO: **Determinación de Biomasa - materia orgánica**

RESULTADOS:

ANALISIS	RESULTADO	UNIDAD
1. Determinación de Biomasa -Materia orgánica	56.2	%

MÉTODOS USADOS:

Humedad NTP 206.011. 1981 (Rev. 2011) Bizcochos, galletas, pastas y fideos. Determinación de Humedad.

OBSERVACIONES

1. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
2. El informe es válido si lleva las firmas oficiales del personal autorizado y cualquier enmienda en el documento lo invalida.
3. El informe de ensayo es válido sólo para la cantidad recibida y objeto de analizado.
4. Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por el INACAL – DA .
5. Queda absolutamente prohibida toda reproducción parcial del presente informe sin la autorización previa y expresa de SINBIOL E.I.R.L.



[Firma]
JEFE DE LABORATORIO - SINBIOL EIRL

Lic. Graciela Albino Cornejo

CBP 2452

SIB-PT-10 F1 Rev. 01 31/01/2019

Lambayeque, 04 de diciembre de 2019

Pág. 1 de 1

Resultados de determinación de materia orgánica/carbono a biomasa por parte de SINBIOL.