

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



MANEJO Y APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LA ZONA SUJETA A
CONSERVACIÓN ECOLÓGICA “SIERRA ZAPALINAMÉ”

EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO EN EL
CRECIMIENTO DE LA MICROALGA *Chlorella sorokiniana*

Reporte de Estancia

Que presenta GUADALUPE PONCE MARTÍNEZ

Como requisito parcial para obtener el Diplomado como
ESPECIALISTA EN MANEJO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES
DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO EN EL
CRECIMIENTO DE LA MICROALGA *Chlorella sorokiniana*

Reporte de Estancia

Que presenta GUADALUPE PONCE MARTÍNEZ

Como requisito parcial para obtener el Diplomado como
ESPECIALISTA EN MANEJO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES
DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

Saltillo, Coahuila

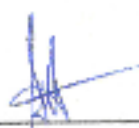
Julio 2017

MANEJO Y APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LA ZONA SUJETA A
CONSERVACIÓN ECOLÓGICA "SIERRA ZAPALINAMÉ"

EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO EN EL
CRECIMIENTO DE LA MICROALGA *Chlorella sorokiniana*

Reporte de Estancia

Elaborado por GUADALUPE PONCE MARTÍNEZ como requisito parcial para
obtener el Diplomado como Especialista en Manejo Sustentable de Recursos
Naturales de Zonas Áridas y Semiáridas con la supervisión y aprobación del
Comité de Asesoría.



Dra. Silvia Yudith Martínez Amador
Asesor principal



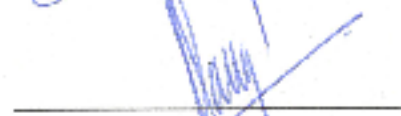
Dr. Luis Samaniego Moreno
Asesor



Dra. Rosa María Garza Quiñones
Asesor



Dr. Jesús Valdés Reyna
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Postgrado
LIAAAN

Agradecimientos

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial a la Dra. Marcia Guadalupe Morales Ibarria, profesora investigadora del departamento de Procesos y Tecnologías en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de este proyecto, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo mi estancia en el laboratorio que dirige.

Especial reconocimiento merece el interés mostrado por mi trabajo y las sugerencias recibidas de los profesores que conforman mi comité de asesoría, Dra. Silvia Yudith Martínez Amador, Dr. Luis Samaniego Moreno, Dra. Rosa María Garza Quiñones y al Dr. Jesús Valdés Reyna, con los que me encuentro en deuda por el ánimo infundido y la confianza en mí depositada.

Quisiera hacer extensiva mi gratitud a las secretarias de Postgrado en especial a Cony, por su apoyo incondicional, compromiso y orientación durante todo el periodo escolar.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de mi familia y amigos.

A todos ellos, muchas gracias.

Dedicatoria

Es mi deseo como sencillo gesto de agradecimiento dedicarle mi trabajo de grado, plasmado en el siguiente informe a mis seres queridos quienes han depositado su confianza en mí.

Y a quienes sin rendirse siguen en la lucha por salvar a éste nuestro único hogar, nuestro planeta.

Índice General

Agradecimientos	iv
Dedicatoria	v
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	3
JUSTIFICACIÓN	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
• Gases de efecto invernadero	5
• Papel del CO ₂ en la atmósfera	5
• Fijación biológica del CO ₂	6
• Usos y aplicaciones de las microalgas.	7
• Aplicaciones ambientales	7
• Sistemas de cultivo de microalgas.....	8
• Fotobiorreactores utilizados en la fijación de CO ₂	8
DESARROLLO DE ACTIVIDADES	9
• Sistema experimental	9
• Limpieza del sistema	10
• Medio de cultivo (2x)	10
• Determinación de pH.....	11
• Cuantificación de biomasa	11
• Curva estándar de nitratos	12
• Determinación de nitratos.....	12
• Extracción de proteínas.....	13
RESULTADOS	14
CONCLUSIONES	16
REFERENCIAS	17

INTRODUCCIÓN

El aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera supone un problema ambiental y económico a nivel mundial. Una de las tecnologías disponibles para combatir este problema consiste en la fijación de CO₂ con microalgas, es idónea para la reducción del dióxido de carbono en emisiones como los gases de combustión, para tal fin es necesaria su instalación cerca del foco emisor. Por eso es necesario que dichos sistemas funcionen en las condiciones ambientales similares al del foco emisor y de preferencia se utilicen se basen en cultivos de microalgas autóctonas en vez de introducir otras especies no adaptadas al medio.

Las microalgas y cianobacterias son organismos microscópicos que crecen suspendidas en agua y realizan los mismos procesos fotosintéticos que las plantas superiores terrestres: la conversión de agua y la fijación de CO₂, utilizando la energía de la luz solar para transformarlos en oxígeno y biomasa. Sin embargo, de todos los organismos capaces de fijar o acumular CO₂, las microalgas y las cianobacterias cobran una importancia especial debido a que presentan ciertas ventajas únicas (*Benemann, 1992*): Ellas son los únicos organismos fotosintéticos capaces de utilizar directamente el CO₂ de una corriente de gases de combustión, como puede ser la proveniente de centrales térmicas (a base de carbón, fuel o metano), sin necesidad de tratamientos previos, ya que son resistentes a altas concentraciones de CO₂.

La posibilidad disponer de una fuente de carbono económica hace que se esté valorando el cultivo de microalgas a escala industrial con el doble objetivo de reducir sus emisiones y de generar productos con diversas aplicaciones. Sin embargo, algunas de estas fuentes emisoras producen un gas con altas concentraciones de dióxido de carbono, así como de compuestos oxidados de nitrógeno y azufre, que no son adecuados para su aplicación directa al cultivo de microalgas (*Barker et al., 2009; Douskova et al., 2009; Van Den Hende et al., 2012*).

Una de las microalgas con mayor potencial biotecnológico es *Chlorella sorokiniana* (clorofícea) que se caracteriza por tener células esféricas (5µm de diámetro), con un cloroplasto en forma de copa y un pirenoide. El género *Chlorella* es cosmopolita y por tanto se adapta a diversas condiciones ambientales y nutricionales (Wehr y Sheath, 2003), pudiéndose encontrar en el fitoplancton de estanques y lagos, colonizando el suelo o como simbiote en protozoos ciliados. *C. sorokiniana* ha sido ampliamente estudiada con respecto a su fisiología, genética y por su producción de biomasa con alto contenido de lípidos, específicamente ácidos grasos insaturados omega 3, 6 y 9, empleados en la obtención de suplementos nutricionales, cosméticos, farmacéuticos y biocombustibles (Ugwu *et al.*, 2005; Spolaore *et al.*, 2006; Sing y Goyal, 2007). En la actualidad existen instituciones cuyas líneas de investigación están orientadas al aprovechamiento de los microorganismos para abordar los problemas y desafíos actuales, un ejemplo de ello es el Laboratorio de Bioprocesos del Departamento de Procesos y Tecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Cuajimalpa, en el cual existe interés en la investigación de biotratamientos de efluentes gaseosos.

Por lo anterior poder participar en el proyecto activamente permite ampliar el conocimiento formativo académico de la bioenergía, como una alternativa sustentable que permite aprovechar los recursos biológicos de diversas entidades para abatir la problemática de contaminación ambiental, donde las opciones se pensarían ser limitadas como las zonas áridas y semiáridas.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Adquirir conocimiento y participar activamente en el proyecto “Efecto de la concentración de CO₂ sobre el crecimiento de la microalga *Chlorella sorokiniana*” como parte de la estancia académica.

Objetivos Específicos

- Familiarizarse con la operación de los fotobiorreactores
- Aprender técnicas analíticas para la caracterización del sistema (peso seco, nitratos del medio y extracción de proteínas)
- Conservar cepa en condiciones controladas en fotobiorreactores de columna de burbujeo ante diferentes concentraciones de CO₂

JUSTIFICACIÓN

Ante el efecto negativo que tiene en los ecosistemas las elevadas emisiones de CO₂, se hace necesaria la búsqueda de alternativas sustentables que permitan combatir este problema.

Conocer las innovaciones que actualmente se ejecutan en diversas instituciones con microalgas u otros microorganismos que ayudan a mitigar los efectos de los gases de efecto invernadero, es de suma importancia ya que significa poder aprovechar un recurso natural de una forma sustentable.

Por lo anterior poder participar en proyectos que tengan como objetivo disminuir las concentraciones de CO₂ atmosférico utilizando microalgas permite adquirir conocimiento y formación como especialista, capaz de aprovechar los recursos naturales para mitigar los efectos de la contaminación en zonas áridas y semiáridas industrializadas.

REVISIÓN DE LITERATURA

Gases de efecto invernadero.

El oxígeno (O_2) y el nitrógeno (N_2) son los principales componentes de la atmósfera: el O_2 constituyendo el 21 % y el N_2 , 78%. Los gases de efecto invernadero corresponden al 1% restante de la composición atmosférica y en general están constituidos por tres o más átomos; los más importantes son el vapor de agua (H_2O) y el CO_2 ; los demás gases como el metano (CH_4), los NO_x y los compuestos clorofluorocarbonados (CFCs) son gases traza en la atmósfera. Aquéllos que forman moléculas diatómicas o monoatómicas (O_2 y N_2) son transparentes a la radiación terrestre. El efecto invernadero es resultado de que la atmósfera deje pasar los rayos solares y parte de ellos sean absorbidos por la superficie terrestre, que entonces se calienta y en consecuencia emite radiación terrestre que es absorbida por la atmósfera. El efecto invernadero siempre ha existido y gracias a ello existe la vida en la Tierra tal y como la conocemos, sin embargo, en los últimos siglos este balance, ha sido alterado como consecuencia del desarrollo humano, ya que la industrialización ha inyectado a la atmósfera CO_2 y gases traza. El incremento del CO_2 se da por la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón mineral) y la deforestación. Los gases traza son emitidos por artefactos y actividades industriales, domésticas, agropecuarias, etc. Con excepción de los CFCs, los gases de efecto invernadero se han encontrado de forma natural en el aire, sin embargo, el hombre ha provocado el incremento en las concentraciones de tales gases debido a sus diferentes actividades, causando un incremento en la temperatura atmosférica, debido al calentamiento global o cambio climático (Martínez y Fernández, 2004).

Papel del CO_2 en la atmósfera.

Los dos átomos de oxígeno en el CO_2 vibran junto con el átomo de carbono y la frecuencia de esta vibración coincide con algunas de las longitudes de onda del infrarrojo de la radiación de onda larga. Cuando la frecuencia de la radiación

emitida por la superficie de la Tierra y la atmósfera coinciden con la frecuencia de vibración del CO₂, la radiación es absorbida por el CO₂ y convertida en calor por la colisión con otras moléculas de aire y después es devuelta a la superficie. Como resultado de esta captura, la radiación saliente se reduce por el aumento del CO₂, y como éste se ha incrementado con el tiempo, se ha acumulado en exceso la energía en el planeta. Dado que la vida media de una molécula de CO₂ en la atmósfera es de un siglo o más, actualmente miles de millones de toneladas de CO₂ antropogénico cubren de manera uniforme al planeta (Ramanathan y Feng, 2009).

Fijación biológica del CO₂

Los sumideros naturales de CO₂, que son parte del ciclo natural del carbono constituyen el sistema más eficiente de control de este gas en la atmósfera. El ciclo global del carbono consta de tres principales reservas de carbono: la atmosférica, la oceánica y la terrestre. El ciclo comienza con la fijación del CO₂ atmosférico a través de los procesos de fotosíntesis, realizados por plantas y algas. Estos organismos incorporan el CO₂ atmosférico a los procesos metabólicos para la formación de materia orgánica y oxígeno, a la larga esta materia orgánica es degradada e incorporada de nuevo al ciclo del carbono. Una parte importante del ciclo es el fenómeno de sustracción de cierta parte del carbono por trastornos geológicos, las obras de minería o perforación realizadas por el hombre que llevan a la superficie el carbón o petróleo, que será quemado y convertido en CO₂. La mayor parte del carbono del planeta, se encuentra en forma de carbonatos, como, por ejemplo: la piedra caliza y el mármol. Al desgastarse las rocas con el tiempo los carbonatos vuelven al ciclo del carbono. Sin embargo, en el fondo del mar se forman otras rocas debido a los sedimentos de animales y plantas muertas, así la cantidad de carbono en el ciclo deberá permanecer prácticamente constante.

El cultivo de macroalgas en estanques, lagos u océanos, ha sido propuesto como otro método de reducción de las emisiones de CO₂, ya que es difícil optimizar el crecimiento en cultivos abiertos, porque resultan en una baja

productividad. Sin embargo, tienen como ventaja que puede ser utilizado en conjunto con el tratamiento de aguas residuales. Las microalgas han recibido mucha más atención con respecto a las macroalgas en la fijación de CO₂, debido a que se adaptan fácilmente a crecer en biorreactores y por el conocimiento que se tiene sobre muchas cepas usadas en acuicultura (Aresta *et al.*, 2005; Evans y Furlong 2003).

Usos y aplicaciones de las microalgas

La variedad de metabolitos producidos por las microalgas es muy amplia y muchos tienen valor comercial. El primer uso de las microalgas por humanos data de hace 2000 años en China, donde utilizaban a la cianobacteria *Nostoc* sp. como alimento. Sin embargo, la biotecnología algal empezó a desarrollarse hasta la mitad del siglo pasado. Hoy en día, hay numerosas aplicaciones para las microalgas. Por ejemplo, 1) pueden ser utilizadas para incrementar el valor nutricional de los alimentos para humanos y animales, 2) juegan un papel crucial en la acuicultura 3) pueden ser incorporadas en los cosméticos y 4) industrialmente son cultivadas para la obtención de moléculas de alto valor agregado, como: fármacos, ácidos grasos poliinsaturados (agregados a las fórmulas de alimentos infantiles y suplementos nutricionales) y pigmentos (utilizados como tintes naturales). Las microalgas pueden servir como materia prima para la obtención de diferentes tipos de biocombustibles renovables, esto incluye al metano producido por digestión anaeróbica de la biomasa algal, el biodiesel derivado del aceite de las microalgas y la producción fotobiológica de biohidrógeno (Spolaore *et al.*, 2006).

Aplicaciones ambientales

Los gobiernos y compañías energéticas de todo el mundo han mostrado interés en la fijación biológica del CO₂, por ejemplo, investigadores en Noruega, Japón, Italia y Estados Unidos se esfuerzan por encontrar un proceso económicamente factible, para la aplicación de microalgas en la protección del medio ambiente. En Alemania desarrollaron un proyecto para utilizar el efluente gaseoso y el

agua condensada de una industria para producir biomasa microalgal. Este proceso fue escalado a un fotobiorreactor de 6 m³ y mostró ser viable, aunque no económicamente atractivo (Pulz y Gross, 2004).

Sistemas de cultivo de microalgas

Los sistemas para producción de microorganismos fototróficos son llamados fotobiorreactores, estos sistemas se evalúan en términos de su configuración, productividad y viabilidad económica. La más importante y obvia diferencia en los sistemas de producción de microalgas es la exposición del cultivo al ambiente, por ello se clasifican en dos diseños básicos. Los sistemas abiertos, en los que el cultivo está expuesto a la atmósfera y los sistemas cerrados, en los que el cultivo tiene poco o ningún contacto con la atmósfera. Los sistemas abiertos pueden dividirse en aguas naturales (lagos, lagunas y estanques) y lagunas artificiales o contenedores diseñados en distintas formas, los cuales son mucho más simples que los sistemas cerrados. Los sistemas cerrados consisten en fotobiorreactores en diversas formas, tamaños, longitudes y materiales de construcción, los cuales permiten el mejor control del cultivo. En todos los casos el crecimiento óptimo es el objetivo biotecnológico, para lo cual la clave del éxito son factores como la luz, nutrientes y turbulencia (Pulz, 2001).

Fotobiorreactores utilizados en la fijación de CO₂

En los reactores de columna de burbujas, la aireación y la mezcla se alcanza mediante la inyección del gas, lo cual requiere de menor energía que la agitación mecánica. Las columnas son estructuras muy sencillas consisten generalmente en un recipiente cilíndrico y a parte del difusor del aire comprimido no presentan estructuras internas. Las ventajas de estos reactores incluyen los bajos costos de producción, la ausencia de partes móviles y la adecuada transferencia de materia y calor. La hidrodinámica y transmisión de calor dependen por completo del comportamiento de las burbujas formadas por el difusor.

DESARROLLO DE ACTIVIDADES

Como parte de la estancia académica se eligió colaborar en el proyecto “Efecto de la concentración de CO₂ sobre el crecimiento de la microalga *Chlorella sorokiniana*” que actualmente se ejecutan en el laboratorio de bioprocesos de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa, Ciudad de México.

Dentro de las primeras actividades realizadas fueron:

- Familiarizarse con las instalaciones del laboratorio de bioprocesos

Sistema experimental:

El sistema experimental con el que se trabajó tiene instalado cuatro fotobiorreactores de burbujeo, con un volumen de operación de 2.5 L, mediante flujo de aire de 1vvm. Colocado dentro de una cámara con 16 lámparas de luz de día de 40 W, a una temperatura de incubación de 35°C e iluminación constante de 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, de acuerdo a los óptimos encontrados.



Fig. 1 Fotobiorreactor de columna de burbujeo.

Limpieza al sistema:

Se vaciaron los reactores cuidadosamente por separado y recuperando la biomasa para su posterior análisis, desconectando el flujo de aire al sistema y se retiraron las columnas para su posterior lavado.

Se enjuagan y desinfectan para eliminar el resto de microalgas vivas evitando se viertan así en el drenaje ya que existe la probabilidad de proliferación por los altos contenidos de contaminantes y materia orgánica que tienen las aguas residuales, mismos con los que podría proliferar la microalga vertida convirtiéndose en un problema ecosistémico.

Una vez libres de microorganismos de las paredes del fotobiorreactor se realizó un enjuague con agua destilada para su esterilización.

Medio de cultivo (2x):

Se preparó 5L de medio de cultivo BG-11 (2X) cuya composición se muestra en la Tabla 1.

Se pesaron las cantidades calculadas de cada reactivo vertiendo en una botella Weathon, aforando a 5L con agua destilada. Para posteriormente colocarla en una autoclave para su esterilización.

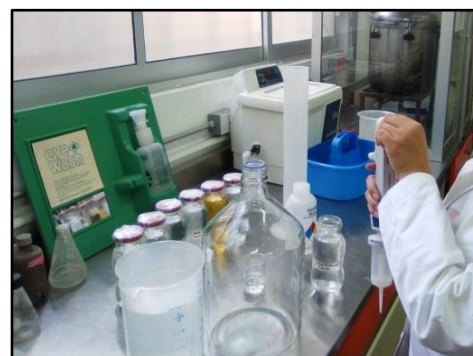


Fig. 2. Elaboración de medio de cultivo

Tabla. 1. Composición del Medio de Cultivo

Medio de cultivo BG-11			
NaNO ₃	1.5 g L ⁻¹	Metales traza A5+Co	
K ₂ HPO ₄ 2H ₂ O	0.04 g L ⁻¹	H ₃ BO ₃	2.86 g
MgSO ₄ 7H ₂ O	0.075 g L ⁻¹	MnCl ₂ 4H ₂ O	1.81 g
EDTA disódico de magnesio	0.001 g L ⁻¹	ZnSO ₄ 7H ₂ O	0.222 g
CaCl ₂ 2H ₂ O	0.036 g L ⁻¹	NaMoO ₄ 2H ₂ O	0.39 g
Acido cítrico	0.006 g L ⁻¹	CuSO ₄ 5H ₂ O	0.079 g
Citrato de amonio férrico	0.006 g L ⁻¹	Co(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	49.4 mg
Na ₂ CO ₃	0.02 g L ⁻¹	Agua destilada	1.0 L
Metales traza A5+Co	1 mL		

Determinación de pH:

Para determinar el pH de las muestras, se utiliza un potenciómetro portátil, previamente calibrado. El cual se sumerge en la muestra y se espera a que la lectura se estabilice. Tomando cada lectura al momento de retirar muestra del fotobiorreactor.

Cuantificación de la biomasa:

Se realizó con el método gravimétrico donde se utilizó una membrana con diámetro de poro de $0.8 \mu\text{m}$, se colocó la membrana en una termobalanza (fig. 3) para llevarla a peso constante. Después se colocó en un desecador y finalmente se tomó el peso final de dicha membrana. Se colocó la membrana en el sistema de filtración al vacío y se vació la muestra líquida de cultivo microalgal, después de unos minutos se drenó totalmente el sobrenadante.

Para finalizar el proceso se colocó la membrana que contenía la biomasa en una estufa de secado y por diferencia de peso se obtuvo el peso seco.



Fig. 3. Termobalanza

Curva estándar de nitratos:

Solución madre de 1.5 g/L de NaNO_3 . Para 50 ml se usaron 0.075 g.

De la solución madre se realiza una disolución 1:50. Con la disolución previa se hicieron las siguientes disoluciones

Tabla 2. Disoluciones para la curva estándar

Concentración	Solución 1:50	Agua MQ
Blanco	0 ml	10 ml
0.006 g/L	2 ml	8 ml
0.012 g/L	4 ml	6 ml
0.018 g/L	6 ml	4 ml
0.024 g/L	8 ml	2 ml
0.03 g/L	10 ml	0 ml

De las disoluciones anteriores se tomaron 2 mL y se adicionó 1 mL de HCl 1N, agitando ligeramente. Se realizó lectura de absorbancias en celda de cuarzo a 220 nm en espectrofotómetro. Los resultados fueron graficados.

Determinación de nitratos:

Se hizo una disolución 1:50 con 200 μL de muestra (previamente filtrada) en 9800 μL de agua Mili-Q. Se tomaron 2 mL de la solución y se adicionó 1 mL de HCl 1N, agitándose inmediatamente.

Por último, se realizó lectura de la absorbancia de las muestras en el espectrofotómetro en una celda de cuarzo a 220 nm.

Extracción de proteínas:

Para la extracción de proteínas a partir del cultivo de microalgas:

Se utilizó 1 mL de medio de cultivo con una concentración conocida de biomasa la cual se colocó en tubos para centrifuga. Se centrifugó a 14000 rpm por 5 min, posteriormente se desechó el sobrenadante. Al pellet se adicionaron 2 mL de NaOH (0.2 N) y se agito mediante vortex.

Después la muestra se calentó en baño maría a 100°C durante 20 minutos.

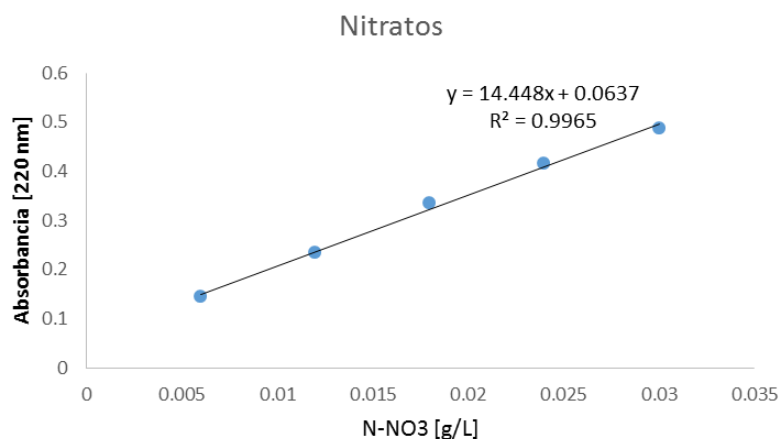
Para terminarse centrifugaron a 14000 rpm durante 5 minutos.



Fig. 4. Extracción de proteínas

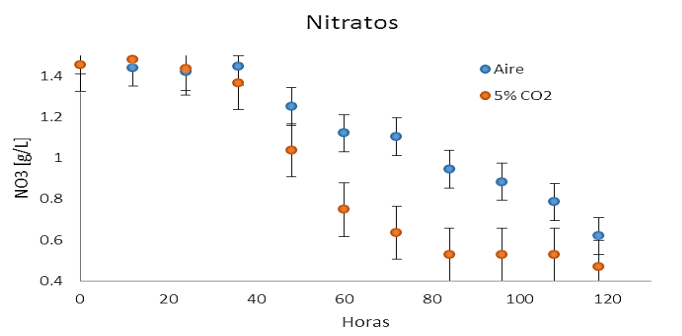
RESULTADOS

En la gráfica 1 se muestra la linealidad hasta valores de absorbancia iguales a 0.5 este valor corresponde a una concentración igual a 0.03 g/L, el coeficiente de correlación de la curva considerando estos cinco puntos es igual a 0.9965.



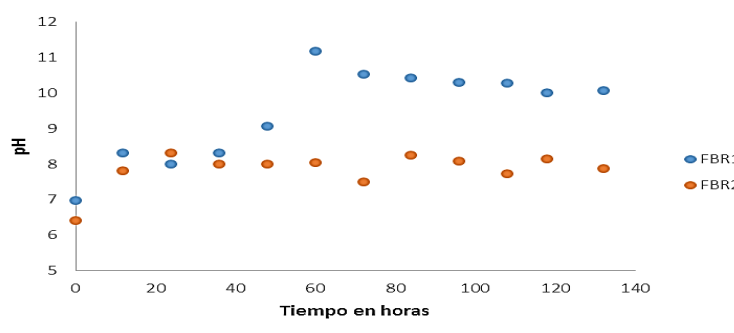
Gráfica 1. Curva estándar de nitratos

En la gráfica 2, se observa el comportamiento en los valores obtenidos de nitrato presente en el medio de cultivo en el fotobiorreactor al que se le suministró 5% de CO₂ y al que solo se mantuvo con aire. Existe una remoción mayor en el fotobiorreactor con suministro de CO₂ a lo largo del periodo de tiempo. Esto se debe a que los compuestos nitrogenados son nutrientes esenciales en la formación de proteínas y por tanto de la biomasa, lo que significa mayor crecimiento de las microalgas. En ausencia de CO₂ se muestra una remoción menor.



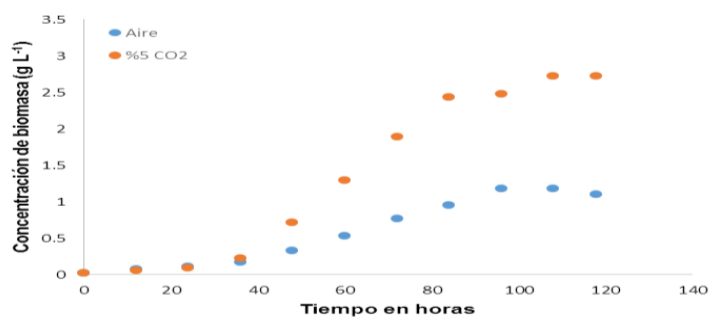
Gráfica 2. Comportamiento de nitratos en un fotobiorreactor con suministro de aire y un fotobiorreactor con suministro de CO₂ en un periodo de 120 horas.

En la gráfica 3, se muestra el comportamiento del pH en un periodo de 140 horas, se evidencia que hay un mayor control en el fotobiorreactor con suministro de CO₂ (FBR2) esto se debe a que las microalgas alimentadas únicamente con el CO₂ presente en el aire, están limitadas por su disponibilidad; y siendo un pH de 8 el valor óptimo para el crecimiento al suministrar CO₂ se obtiene la estabilización o control requerido. Mientras que en ausencia de CO₂ el pH se encuentra en valores elevados (alcalinos) por lo que bajo esta condición se puede presentar un descenso en la productividad, que no solo afecta el crecimiento microalgal, sino también la capacidad de remover el nitrógeno y captura de CO₂.



Gráfica 3. Comportamiento del pH en un fotobiorreactor con suministro de aire y un fotobiorreactor con suministro de CO₂ en un periodo de 140 horas.

En la gráfica 4, se puede observar una mayor generación de biomasa en presencia de CO₂ en comparación del fotobiorreactor con suministro de aire únicamente, esto se debe a que el CO₂ es un factor que aumenta la productividad de las microalgas, por lo que al tener disponible al CO₂ se observa mayor crecimiento en menor tiempo.



Gráfica 4. Comportamiento de la concentración de biomasa en un fotobiorreactor con suministro de aire y un fotobiorreactor con suministro de CO₂ en un periodo de 120 horas.

CONCLUSIÓN

Considerando el potencial de las microalgas en la biorremediación, más los múltiples usos que tiene su biomasa, se sugiere que su cultivo es ambientalmente atractivo. Por los resultados obtenidos en este trabajo se demuestra que para la captura del CO₂ en zonas con altas concentraciones de este contaminante, es un tratamiento con gran potencial para el abatimiento de la contingencia ambiental sobre todo en zonas industrializadas.

Por lo tanto, se cumplió con el objetivo general el cual fue adquirir conocimiento al poder participar en actividades de laboratorio en el proyecto “Efecto de la concentración de CO₂ sobre el crecimiento de la microalga *Chlorella sorokiniana*” como una alternativa sustentable para disminuir las concentraciones de CO₂ con la microalga, permitiendo comprender la importancia de realizar este tipo de investigaciones dada la problemática ambiental en la que se encuentra el planeta

BIBLIOGRAFÍA

- Aresta, M., Dibenedetto, A. & Barberio, G. (2005). Utilization of macro-algae for enhanced CO₂ fixation and biofuels production: Development of a computing software for an LCA study. *Fuel Process Technol*, 86,1679-1693.
- Barker, D. J., Turner, S. A., Napier-Moore, P. A., Clark, M. & Davison J. E. (2009). "CO₂ Capture in the Cement Industry." *Energy Procedia*, 1(1), 87-94.
- Benemann, J. R. (1993). "Utilization of carbon dioxide from fossil fuel-burning power plants with biological systems.". *Energy Conversion and Management*, 34, 9-11.
- Douskova, I., Doucha, J., Livansky, K., Machat, J., Novak, P., Umysova, D., Zachleder, V. & Vitova, M. (2009). "Simultaneous flue gas bioremediation and reduction of microalgal biomass production costs". *Applied Microbiology and Biotechnology*, 82(1), 179-185.
- Martínez, J. & Fernández, B. A. (2004). Cambio climático una visión desde México. INE-SEMARNAT. México.
- Pulz, O. (2001). Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. *Appl Microbiol Biotechnol*, 57, 287-293.
- Pulz, O. & Gross, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Appl Microbiol Biotechnol*, 65, 635-648.
- Ramanathan, V. & Feng, Y. (2009). Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives. *Atmos Environ*, 43, 37-50.
- Singh S, & Goyal D. (2007). Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. *Bioresources Technology*, 98, 2343-2357.
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E. & Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Biosciences and Bioengineering*, 101, 87-96.
- Ugwu, C., Ogbonna, J. & Takana, H. (2005). Characterization of light utilization and biomass yields of *Chlorella sorokiniana* in inclined outdoor tubular photobioreactors equipped with static mixers. *Proceeds on Biochemistry*, 40, 3406-3411.

Van Den Hen, S., Vervaeren, H. & Boon, N. (2012). "Flue gas compounds and microalgae: (bio-)chemical interactions leading to biotechnological opportunities". *Biotechnology advances*, 30(6), 1405-1424.