

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A TRAVÉS DE ALGAS *Chlorophyceas*

POR:

YETLANEZI BADILLO JUÁREZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA. SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

MAYO 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A TRAVÉS DE ALGAS *Chlorophyceas*

POR:
YETLANEZI BADILLO JUÁREZ

Que somete al H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el
título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada
El Presidente del Jurado

Dra. Manuela Bolívar Duarte
Asesora Principal

Ph.D. Vicente De Paul Alvarez Reyna
Coasesor

MC. Isaias López Hernández
Coasesor
Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Dr. Luis Samaniego Mofeno
Coordinador de la División de Ingeniería



Coordinación de
Ingeniería

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.
MAYO 2016

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por permitirme realizar mis estudios en ella y formarme como profesionista.

A mis padres Juan y Martha por creer en mí y darme su apoyo por hacer lo imposible posible para que yo pudiera estudiar en esta universidad, gracias por todos sus sacrificios y esfuerzos.

Mis hermanas Ariadna, Cerena y mi hermano Juan ustedes han sido mis mejores compañeros y amigos, gracias a sus grandes enseñanzas me han convertido en lo que ahora soy, siempre han sido mi gran ejemplo y fortaleza para seguir a delante. Ari gracias por tu gran esfuerzo y apoyarme todos estos años, sé que no han sido fáciles para ti, las quiero mucho hermanas.

A la Dra. Manuela Bolívar Duarte mi gran ejemplo a seguir como mujer, gracias por considerarme para la elaboración de esta tesis y apoyarme en todo momento que necesite de su apoyo, gracias por su buenos consejos, por su confianza y amistad.

Quiero agradecer a todos los profesores del Departamento de Riego y Drenaje que me impartieron clases, por compartir sus experiencias, conocimientos, brindarme su valiosa amistad y su inmensa paciencia a lo largo de la carrera.

A la Q. F. B. Ana Paola Moreno Garza por su ayuda, tiempo y paciencia en las prácticas para poder realizar esta tesis.

A todos mis compañeros y amigos de la generación de la carrera Ingeniero Agrónomo en Irrigación e Ingeniero Forestal, por todos los buenos momentos que pasamos durante todos estos años que duró la carrera.

DEDICATORIAS

A mis padres, hermanas y hermano:

Quiero agradecerles por siempre darme su incondicional apoyo, tenerme mucha paciencia y nunca dejarme sola, por guiarme por el camino correcto y enseñarme que siempre es mejor hacer las cosas correctas aún que cuesten más trabajo. Ustedes han sido mi mejor ejemplo de que las cosas se pueden lograr si uno quiere y de que se pueden rebasar las barreas y fronteras si uno se lo propone, gracias por esta oportunidad, gracias por creer en mí.

“Siempre los llevo en mi mente y en mi corazón”.

A César Jesús Maya Martínez mi compañero, amigo y el gran amor de mi vida, gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas, escucharme y apoyarme todo este tiempo “Te amo flaco”.

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	1
1.2. Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Las algas	3
2.2. Microalgas	10
2.2.1. Importancia de las microalgas.....	11
2.2.2. Cultivos de microalgas	11
2.2.3. Producción de biocombustibles a partir de microalgas.....	12
2.3. Biogás.....	13
2.3.1. Historia del biogás.....	13
2.3.2. Composición del biogás	14
2.3.3. Producción de biogás.....	14
2.4. Sistemas de biodigestión.....	16
2.4.1. Digestión anaerobia.....	17
2.5. Condiciones ambientales que determinan la producción de biogás.	20
2.5.1. Factores químicos	20
2.5.1.1. Sustrato o tipo de materia prima	20
2.5.1.2. Adición de grasas.....	21
2.5.2. Factores físicos	21

2.5.2.1. Temperatura	21
2.5.2.2. El pH	23
2.4.2.3. Tiempo de retención hidráulica	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS	¡Error! Marcador no definido. 28
3.1. Recolección de muestras	27
3.2 Procedimiento de Muestreo	29
3.3. Preparación de muestras y métodos empleados para el análisis.	30
3.3.1. Materiales y metodología.	30
3.3.2. Parámetros de observación.....	31
3.3.3. Descripción de parámetros de observación.	32
3.3.3.1. Contenido de agua y materia seca parcial.	32
3.3.3.2. Materia seca total.....	33
3.3.3.3. Cenizas.	33
3.3.3.4. Proteína cruda o bruta.	34
3.3.3.5. Extracto etéreo o grasa.....	34
3.3.3.6. Fibra cruda.....	35
3.3.3.7. Extracto libre de nitrógeno.	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
4.1. Identificación de algas	36
4.2. Parámetros de observación	37
4.2. Observación de lecturas	39
V. CONCLUSIONES.....	¡Error! Marcador no definido.
VI. LITERATURA CITADA.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2. 1. Estructuras celulares; a) célula eucariótica, b) célula procariótica.....	3
Figura 2. 2. Tipos de flagelos en las células algales.....	4
Figura 2. 3. Tipos de cloroplastos en las algas.....	6
Figura 2. 4. Niveles de organización celular.....	8
Figura 2. 5. Ciclos de vida.....	9
Figura 2. 6. Producción de gas natural en México.....	15
Figura 2.7. Esquema de descomposición anaeróbica.....	19
Figura 2.8. Composición del biogás en función del pH.....	25
Figura 3.1. Localización del estanque de agua.....	28
Figura 3.2. Localización del sitio de muestreo en la planta tratadora.....	29
Figura 3.3. Muestras de microalgas y macroalgas.....	31
Figura 4.1. Macroalga <i>Rhizoclonium tortuosum</i>	36
Figura 4.2. Especies de microalgas.....	37
Figura 4.3. Producción de biogás diaria de macroalgas 37°C y microalgas a 37°C y 45°C.....	39
Figura 4.4. Comparación en la producción de biogás diaria de macroalgas 37°C y micro algas a 37°C y 45°C.....	40
Figura 4.5. Ajuste polinomial de producción de biogás con macroalgas a 37°C.....	41
Figura 4.6. Ajuste polinomial producción de biogás con microalgas a 45°C.....	42

Figura 4.7. Ajuste polinomial producción de biogás con
microalgas a 37°C.....43

Figura 4.8. Comparación de producción de biogás con
microalgas 45°C vs 37°C.....44

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2. 1. Características del biogás.	14
Cuadro 2. 2. Tiempo de retención hidráulica de estiércol de ganado en distintas regiones.	26
Cuadro 4. 1. Parámetros de microalgas chlorophyceas.	38
Cuadro 4. 2. Parámetros de macroalgas chlorophyceas.	38

RESUMEN

Hoy en día las fuentes de hidrocarburos de origen fósil se han ido agotando, el uso de estos han ido perjudicado el ecosistema de nuestro planeta al paso de tiempo por las emisiones de gases antropogénicos, es por eso que se busca nuevas fuentes de energía puras y limpias para la sustentabilidad de energía de las actividades cotidianas.

El biogás está considerado como una de las fuentes de energía que podría desplazar el uso de combustibles convencionales no renovables.

En este proyecto se presenta la evaluación de producción de biogás con macroalgas y microalgas de tipo *Chlorophyceas*, las cuales resaltan su importancia al producirlo ya que ellas son fijadoras de millones de toneladas de Carbono en el planeta, pueden transformar el Nitrógeno en Amonio y en condiciones anaerobias el H₂ lo utiliza como un donador de electrones en el proceso de CO₂ en la fase oscura o puede evolucionar en H₂ en fase lumínica. Tienen gran impacto ambiental ya que ayudan a reducir gases de efecto invernadero ya que utilizan grandes cantidades de CO₂.

Palabras clave: **digestión anaeróbica, temperatura, microorganismos, biogás y alga.**

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día las demandas energéticas de los seres humanos se ha incrementado de una forma exponencial, estas necesidades han sido cubiertas con fuentes de energía fósiles. Sin embargo, es preocupante el gran poder contaminante que ha causado el uso de este tipo de combustibles y su agotamiento, esto conlleva a buscar nuevas alternativas de energía que sean sustentables y puras.

El biogás está considerado como una de las fuentes renovables que presenta un alto potencial para sustituir las energías convencionales no renovables. El biogás es producido durante la biodegradación de la materia orgánica.

Como fuente de energía se puede utilizar para diversos fines, como la generación de electricidad y calor.

Este proyecto nace con la finalidad de evaluar la producción y obtención de biocombustibles a partir de micro algas *Chlorophyceas*, que es presentada como una opción energética sustentable.

1.1. Objetivos

- Cuantificar el volumen de biogás producido por algas del tipo *Chlorophyceas*
- Comparar la producción de biogás con microalgas y macroalgas del tipo *Chlorophyceas*

1.2. Hipótesis

Las algas en condiciones anaeróbicas varían la producción de biogás cuando la temperatura se incrementa gracias a los microorganismos que intervienen en la descomposición de materia orgánica (bacterias metanogénicas).

I. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Las Algas

Dreckmann *et al.* (2013) comenta que las algas son un grupo de organismos acuáticos con metabolismo autótrofo que presentan como pigmento fotosintético primario a la clorofila a, característica que comparten las plantas superiores y describe algunas características generales de las algas dentro de las cuales destaca las siguientes:

a). Organización celular

Las algas presentan una organización celular de tipo eucariota, con excepción de los representantes de las algas verde azules, presentan núcleo delimitado por una doble membrana, mitocondrias, cloroplastos, retículo endoplasmático, complejo de Golgi y lisoma. En contraste, las algas verde-azules, presentan una organización celular de tipo procariota; no tienen organelos celulares y su ADN se encuentra en una sola molécula circular en el citoplasma (Figura 2. 1).

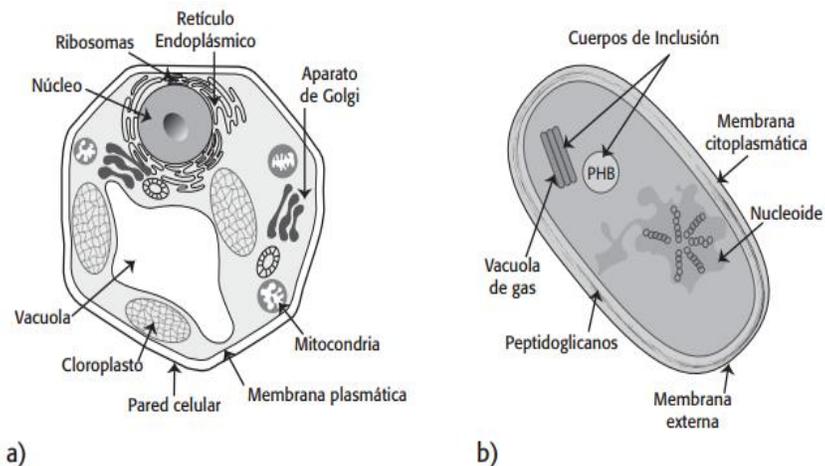


Figura 2. 1. Estructuras celulares; a) Célula eucariótica, b) Célula procariota.

b). Estructuras de locomoción

Las algas, con excepción de las algas verde azules y las algas rojas, presentan en algún momento de su ciclo de vida estructuras de locomoción denominados flagelos. En los diferentes grupos de algas, estos órganos varían tanto en número como en forma. Sin embargo, típicamente presentan dos flagelos o múltiplos de dos, los cuales pueden ser isocontos (e, f) anisocontos (c, d) o heterocontos (a, b) (Figura 2. 2).

Algunas especies en ciertos grupos de algas presentan solamente un flagelo por célula (h) y otras presentan múltiples flagelos organizados de manera de corona en el ápndice de las células, arreglo que se denomina estefanoconto (g).

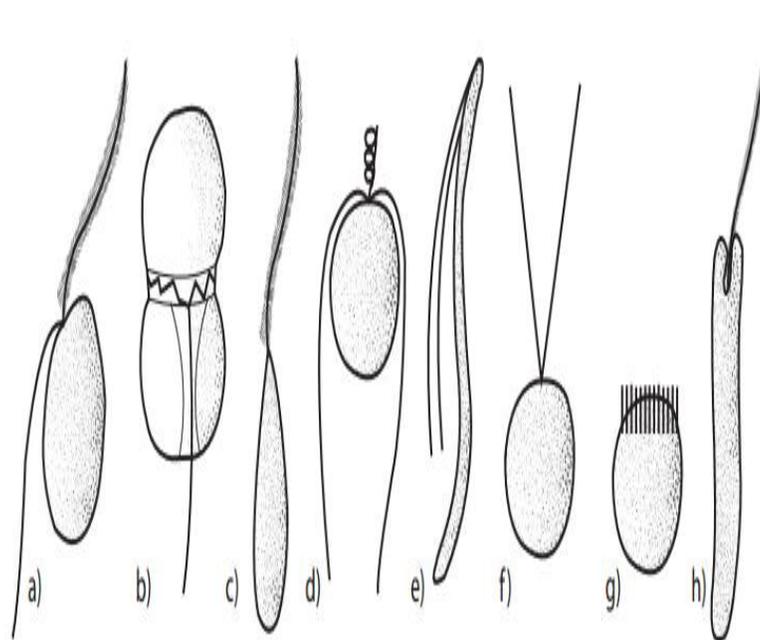


Figura 2. 2. Tipos de flagelos en las células algales.

c). Pared celular

La mayoría de las algas presentan una pared celular conformada principalmente de celulosa y glicoproteínas. Las diatomeas presentan una pared celular de sílice y las algas verde azules presentan una pared celular

de mureína. Algunos otros grupos pueden presentar incrustaciones de carbonatos y de calcio. Las euglenoideos carecen de pared celular, sin embargo, presentan un periplasto o película semirrígida alrededor de la célula, este hecho les da la apariencia como de células desnudas.

En las macroalgas, es posible encontrar otros compuestos polisacáridos tales como alginatos, agares y carragenanos, propiedad que les confiere importancia en la industria.

d). Cloroplastos

Los caracteres ultra-estructurales de los cloroplastos de las algas han sido de los más importantes a considerar para la separación de las divisiones que conforman al grupo (Figura 2. 3). Por su origen evolutivo, observamos que algunos grupos presentan la típica doble membrana, mientras que otros presentan tres o cuatro membranas, siendo generalmente la última membrana continua con el retículo endoplasmático. De estos cloroplastos algunos presentan tilacoides aislados o en bandas apiladas de 2, 4 ó 6, denominado este arreglo como grana. En algunos casos, como en las algas rojas, uno o dos tilacoides se agrupan paralelos a la membrana interna del cloroplasto semejanado una membrana más.

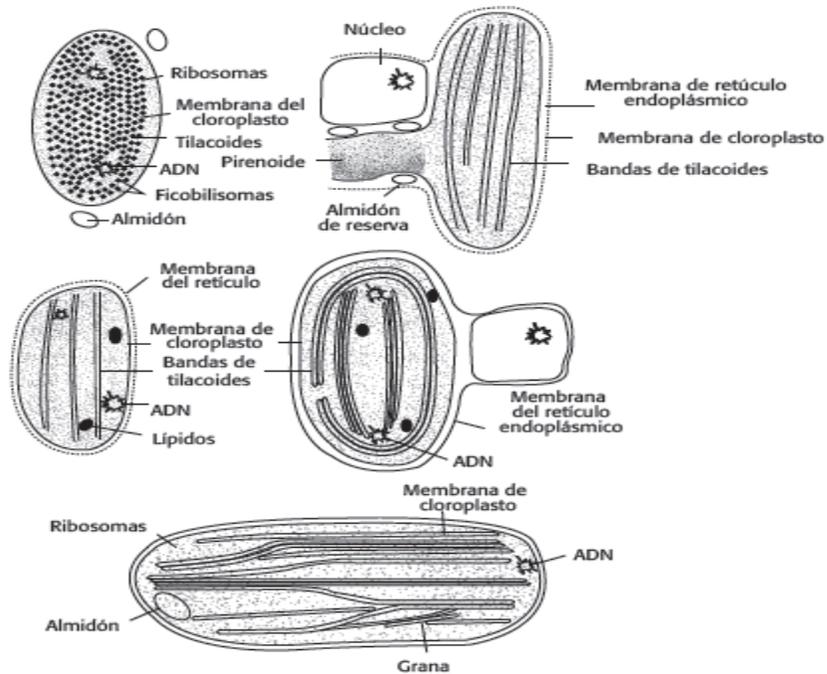


Figura 2. 3. Tipos de cloroplastos en las algas.

e). Pigmentos fotosintéticos

La clorofila “a” es el pigmento fotosintético común en todas las algas y plantas embriofitas, alcanza un espectro de absorción de luz de 663-430 nm. Sin embargo, las algas presentan también otro tipo de clorofilas y pigmentos accesorios que les permite un espectro de absorción mayor de la luz, de esta manera pueden abarcar una distribución más profunda en la columna de agua y realizar de manera óptima la fotosíntesis. Encontramos además de la clorofila “a”, “b”, “c” y la “d”. Esta última de origen bacteriano presenta el rango de absorción más amplio.

Los pigmentos accesorios son los principales responsables de la coloración externa que presentan las algas. Al igual que las clorofilas, se encuentran en la membrana de los tilacoides en los cloroplastos, desde ahí captan los fotones de luz y los transportan al sitio activo (fotosistemas) para iniciar la fotosíntesis. Los pigmentos accesorios más comunes en las

algas son: las ficobilinas (ficocianinas y ficoeritrinas, solubles en agua), presentes sólo en algas verde azules y algas rojas, las fucoxantinas, las xantofilas y el más común y abundante, los carotenos.

f). Sustancias de reserva

En las células de las algas podemos encontrar diferentes sustancias de reserva producto del metabolismo. Las sustancias de reserva que podemos encontrar son principalmente el almidón, aunque también encontramos crisolaminaria, laminaria, manitol y paramilion en los diferentes grupos. Estas sustancias forman gránulos que se encuentran dispersos en el citoplasma celular, en los cloroplastos o en los pirenoides.

g). Nutrición

Las algas son organismos principalmente autótrofos (fotoautótrofos o quimioautótrofos). La fotosíntesis es su principal vía de nutrición, sin embargo, existen grupos que presentan también una forma de nutrición heterótrofa (osmotrófica, fagotrófica o saprobiótica). Algunos organismos presentan un tipo de nutrición mezclada de autótrofa y heterótrofa, la cual se denomina mixotrofia y a los organismos que la presentan se les denomina mixótrofos.

h). Niveles de organización

El nivel de organización se define como el grado de complejidad morfológica de un organismo. En las algas se reconocen diferentes tipos de organización, comenzando desde el nivel unicelular que es el más sencillo hasta el pseudoparénquima de las algas que es el más complejo (Figura 2. 4).

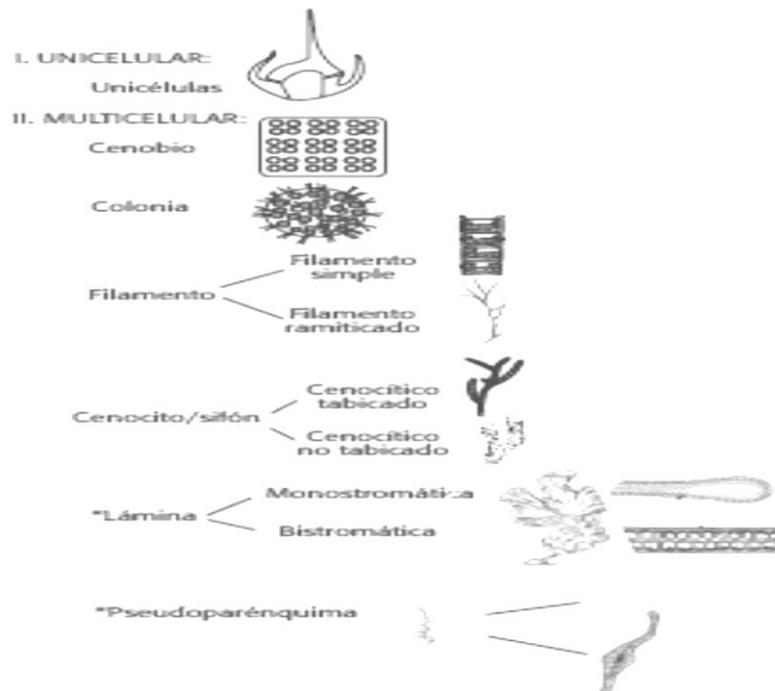


Figura 2. 4. Niveles de organización celular.

i). Reproducción y ciclos de vida

Las algas pueden reproducirse por dos vías, la asexual (división repetida de un mismo organismo resultando en el incremento de la biomasa en una población, no implica recombinación genética) que en el caso de las algas verde azules es típicamente fisión binaria y en otras algas unicelulares es mitosis y la sexual (implica la recombinación genética y con ella el aumento de la variabilidad genética en una población) en donde podemos observar hologamia, isogamia o anisogamia.

El proceso de alternancia entre reproducción sexual y asexual o entre fases somáticas y fases nucleares de un organismo, se denomina ciclo de vida. En las algas podemos diferenciar tres tipos de ciclo de vida, que de acuerdo al sitio donde ocurre la meiosis, se denominan cigótico, gamético o esporico. También, dependiendo del número de fases adultas

de vida libre que participan en el ciclo de vida, se denominan monofásicos, difásicos y trifásicos. La carga genética o número cromosómico que presentan las fases adultas, también juegan un papel en la nomenclatura de los ciclos de vida, estas pueden ser haploides (n) o diploides ($2n$).

Bajo estos conceptos y dependiendo de la predominancia genética, se denominan: a). Ciclo de vida cigótico (haplobiéntico haploide); b). Ciclo de vida gamético (haplobiéntico diploide) y c). Ciclo de vida espórico o alternancia de generaciones (diplobiéntico haplo-diploide) (Figura 2. 5). En la mayoría de algas rojas, el ciclo de vida esporofítico, presenta una segunda fase espórica parásita del gametofito (carposporofito), por lo que se denomina ciclo de vida espórico trifásico.

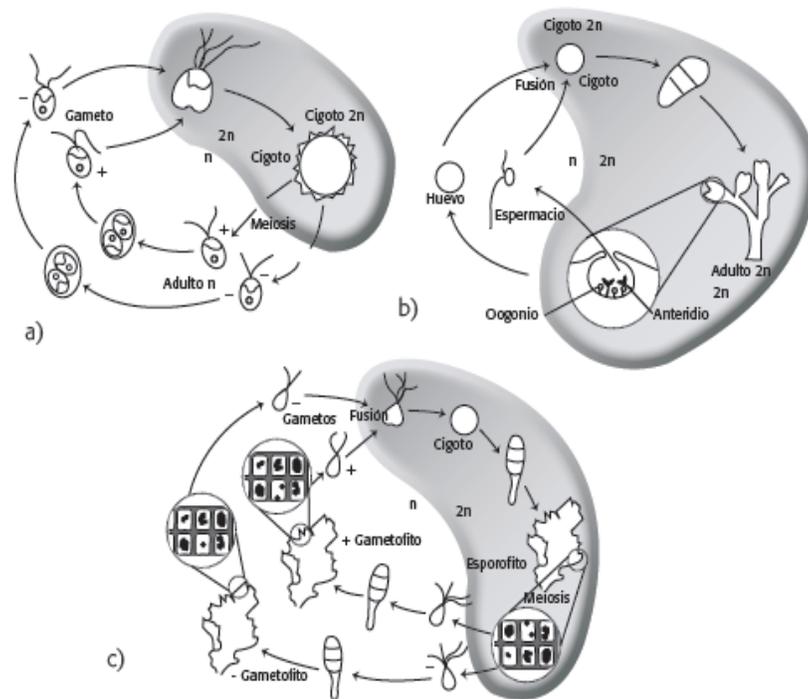


Figura 2. 5. Ciclos de vida.

j). Ambiente

Las algas habitan en ambientes acuáticos o bentónicos (asociadas a un sustrato) aunque también es posible encontrarlas en el aire, en el suelo o en hielos por lo que su distribución es cosmopolita. El hecho de

que las algas compartan el ambiente acuático, explica la emergencia evolutiva de los diferentes grupos, ya que se encuentran sujetas a las mismas presiones de selección.

Una especie de las más comunes que podemos encontrar en estanques, ríos y lagos es la especie de macroalga *Rhizoclonium Tortuosum* se distingue por tener células alargadas formadas por cadenas de filamentos no ramificados de estructura blanda y flácida, a simple vista parecen un conjunto de cientos de hilos, distinguiéndose también por su vigoroso color verde. La cual crece sobre fango, arena, rocas y grietas de acantilados, en la zona supra litoral y en ocasiones aparece asociado a condiciones salobres (Menéndez, 2006).

2.2. Microalgas

Las microalgas son microorganismos fotosintéticos con requerimientos simples de crecimiento (luz, CO₂, N, P y K) que producen lípidos, proteínas y carbohidratos en cantidades grandes en periodos de tiempo corto. Estos productos pueden ser procesados a biocombustibles o co – productos de mayor valor agregado (Palomino, *et al.*, 2010).

López y Catzim (2011) determinan que las microalgas son un recurso importante en la naturaleza pues constituyen los productores primarios más importantes de la biósfera. Se estima que sólo las microalgas que componen el fitoplancton fijan varios miles de millones de toneladas de carbono al año en las masas de aguas continentales y oceánicas, lo cual implica que la generación de oxígeno que sustenta la vida se genera principalmente por estos organismos. Por otro lado, algunas especies de microalgas juegan un papel fundamental en la fertilidad de los suelos, por ejemplo las cianofitas transformaran el nitrógeno

molecular en amonio de una forma similar a las bacterias; otras son útiles en la recuperación de los suelos salino y calcáreo; otras aprovechadas como alimento

tanto para animales como para el hombre en una diversidad de productos y suplementos alimenticios.

2.2.1. Importancia de las Mlicroalgas

Se considera responsable del material orgánico que se encuentra en los ecosistemas acuáticos, así como el 40 por ciento de la fotosíntesis total del planeta (Margalef, 1981 citado por López y Catzim, 2011).

Melis y Happe (2004) relata que el científico Hans Graffron entre 1939 y 1940, descubre que el hidrógeno en la algas verdes pueden modificar el mecanismo de la fotosíntesis por medios fisiológicos para producir cantidades a granel de H_2 y la clonación del (Fe) – hidrogenase en varias especies de algas verdes. También descubre que el metabolismo de hidrógenos en las algas unicelulares, en condiciones anaeróbicas puede utilizar H_2 como donador de electrones en el proceso de CO_2 en la fase oscura o evolucionar H_2 en fase lumínica.

2.2.2. Cultivos de Microalgas

Los cultivos de microalgas pueden realizarse en áreas sumergidas, tierras infértiles e incluso con agua de mar. El cultivo de biomasa algal aparte de proveer materia prima de biocombustibles, tiene impacto ambiental favorable al reducir la concentración de gases de efecto invernadero, debido a que utiliza grandes cantidades de CO_2 durante su cultivo. Para su cultivo existen dos principales tipos de fotobiorreactores: sistemas cerrados y sistemas abiertos. Los sistemas abiertos presentan menor productividad comparados con los sistemas cerrados. Sin embargo, su operación, limpieza, construcción y estabilidad son aspectos más económicos a comparación de los sistemas cerrados (Fernández *et al.*, 2012).

2.2.3. Producción de Biocombustibles a partir de Microalgas

Para Fernández *et al.* (2012) el uso de microalgas para la producción de biocombustibles ha surgido como una opción promisorio debido a que presentan mayor eficiencia fotosintética, son más eficaces en la asimilación de CO₂ y otros nutrientes con respecto a las plantas, acumulan entre 20 y 80 por ciento de triglicéridos, no requieren tierras cultivables, demandan menor consumo de agua renovable y pueden cultivarse en agua salobre. La composición del medio de cultivo y las condiciones de crecimiento de microalgas tienen un efecto importante en el rendimiento de biomasa y en el contenido de lípidos.

En el Manual de Biología de Algas por Dreckman (2013) describe la formología de estas y asu ves menciona las siguientes especies como las principales para la producción de biocombustibles;

Dunaliella tertiolecta caracterizada por su color amarillo y naranja. Esta especie puede producirse en medios limitados de Nitrógeno. López *et al.* (2013) resalta que una característica importante del género *Dunaliella* es la acumulación de β-caroteno como una respuesta fisiológica a condiciones estresantes durante su cultivo los cuales dichos factores incluyen aumento de la salinidad, intensidad luminosa, temperatura y/o limitación de nutrientes.

Dunaliella salina distinguidas por un color verde y amarillo fluorescente en forma circular. Se dice que esta especie puede tolerar altas tasas de salinidad e incluso llegar hasta un punto de saturación. Según Cifuentes *et al.* (1996) es capaz de tolerar un amplio rango de condiciones ambientales, incluyendo alta intensidad luminosa, alta temperatura, un amplio rango de pH y deficiencia de nitrógeno y/o fósforo. Por otra parte pueden producir grandes cantidades de β-caroteno en condiciones subóptimas y bajo estrés se cree que puede aumentar su capacidad de producir carotenos.

Scenedesmus obliquus estas son verdes y de tamaño pequeño de forma oval, se cree que esta especie puede eliminar altas concentraciones de cromo,

son sensibles a concentraciones acidas y por lo regular pueden encontrarse en aguas residuales.

2.3. Biogás

El biogás es el producto de una fermentación anaerobia de la materia orgánica, el cual ha sido sometido a un proceso de purificación para elevar la calidad de este como biocombustible, Gutiérrez *et al.* (2012).

2.3.1. Historia del Biogás

Molina (2008) reporta que en el año 1776 el científico italiano Alessandro Volta, descubrió que el principal compuesto del gas natural era metano, haciendo una observación en los pantanos de formaciones de burbujas y al reventar desprendían un olor fétido y también que estas eran flamables con el fuego. Pero solo hasta 100 años después se descubrió el origen microbiológico que causaba la formación de metano. Para 1906 el científico Soehngen descubre que el metano estaba formado de hidrógeno y dióxido de carbono y a su vez, describe los primeros organismos que participan en la formación de metano. Durante 1920 Imhoff puso en práctica el primer biodigestor en Alemania, este consistía en un estanque hermético, el cual era alimentado con un material fermentable para obtención de biogás.

En 1940, se construyen las primeras plantas de biogás por familias prósperas en China, después de 1945, finalizando la segunda Guerra Mundial se construyeron cerca de 40 biodigestores, pero su desarrollo se frenó por los

bajos precios de los combustibles fósiles. Sin embargo, para la década de los 70's se vuelve a reiniciar la construcción de biodigestores debido a la crisis de petróleo, pero por problemas técnicos, baja producción de gas y alta inversión este desarrollo se frenó bruscamente a fines de los 80's (Ostos, 2013).

2.3.2. Composición del Biogás

El biogás se compone aproximadamente de 55 por ciento metano (CH₄) y 45 por ciento dióxido de carbono (CO₂) y además también contiene pequeñas cantidades de nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y otros gases traza (Deutsches, 2010).

La composición depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45 por ciento es flamable. El biogás tiene propiedades específicas que se indica en el Cuadro 2.1. (Varnero, 2011).

Cuadro 2. 1. Características del biogás (Varnero, 2011).

Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12% de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

2.3.3. Producción de Biogás

En el Diario Oficial de la Federación (2013) se expone que en 1997 el gas natural era prácticamente autosuficiente, pues sólo se importaba el 3 por ciento del consumo nacional. En la actualidad se importa el 30 por ciento del gas natural que se consume en el país (Figura 2. 6.). Esto se debe a que el gas natural que necesita el país y que no produce la empresa PEMEX no podía ser producido por

ninguna otra empresa debido a que la constitución impedía la participación de empresas privadas en la producción de este energético. Como consecuencia se ha tenido que importar el gas natural a precios superiores de los que costaría producirlos en México.

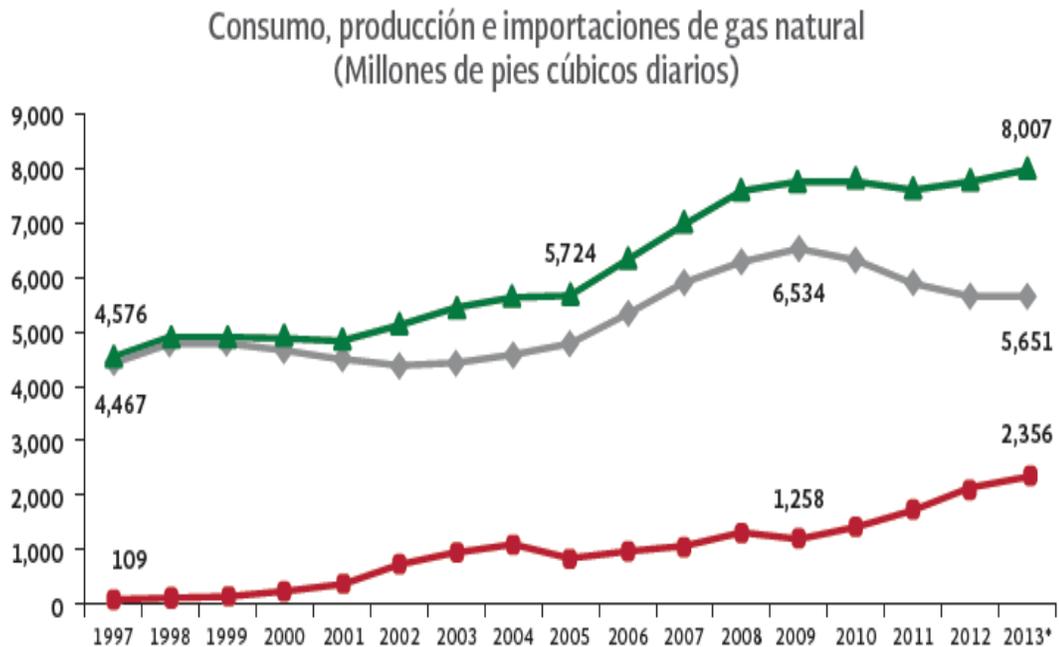


Figura 2. 6. Producción de gas natural en México (Diario Oficial de la Federación, 2013).

La producción de biogás ayuda a reducir las emisiones de CH_4 a la atmósfera, el cual es 21 veces más dañino que el CO_2 como gas invernadero, la transacción de estas emisiones se transforman en contratos de compra-venta en los cuales la parte interesada le paga a otra por la reducción de estas emisiones de gases para mitigar el cambio climático (Rivas, 2010).

En la producción de biogás ocurre la degradación de materia orgánica vía anaerobia por determinadas bacterias. Ésta se realiza de manera anóxica, ya que las bacterias encargadas de realizar este proceso son estrictamente anaeróbicas y por lo tanto sólo podrán sobrevivir en ausencia total de oxígeno atmosférico.

2.4. Sistemas de Biodigestión

Según Samayoa *et al.* (2012) el biogás se produce de manera natural o puede ser generado en ambientes controlados en equipos o tecnologías denominadas sistemas de biodigestión.

Menciona que estos sistemas pueden generar una gran mejoría en el desarrollo de las comunidades y de las empresas que los implementen. Describe que los beneficios que se producen con la digestión anaeróbica son a nivel económico, ambiental y social; entre estos beneficios están:

- Aumento de las condiciones higiénicas y de salud: reduce patógenos; reduce la transmisión de enfermedades por mala disposición de los residuos; evita los problemas gastrointestinales por reducción de contaminación en las aguas residuales; económicamente el hecho de tener una población más sana implica un mayor desarrollo; la nutrición puede incrementarse por la disponibilidad de energía y el mayor rendimiento de los campos.
- La sustitución de energía y/o calor que se realiza con el uso del biogás genera una disminución en los costos de producción y facilita la capacidad de inversión en diferentes áreas de una empresa.
- El uso de biogás disminuye considerablemente la presión sobre el recurso bosque, ya que se reduce la tala de árboles, evitando la deforestación.
- La instalación de sistemas de biodigestión da lugar a la creación de fuentes de empleo local, por muestras necesidades de construcción y mantenimiento, así como de aprovechamiento del biogás y del fertilizante.
- La disponibilidad de energía mejora el entorno empresarial. El uso del biogás permite que niños y mujeres sientan mejora en sus condiciones de

vida, pueden realizar nuevas tareas con el tiempo que asignaban a la recolección de leña.

- El efluente de los biodigestores es un excelente biofertilizante que se puede aplicar a los cultivos, proviniendo la agricultura orgánica y la disminución del uso de agroquímicos.
- El uso de biogás disminuye la dependencia de los combustibles fósiles y la biomasa, lo cual se traduce en reducción de los emisores de los gases de efecto invernadero (GEI) responsables del calentamiento global.
- La tecnología utilizada para la producción de biogás permite el tratamiento de las aguas residuales mejorado la calidad en las descargas, lo que disminuye la contaminación del recurso hídrico y reduce el impacto negativo a la biodiversidad existente en los cuerpos receptores.
- Permite incrementar en más de 25 por ciento el rendimiento de las cosechas o huertos, con el empleo del material o lodo que se extrae del biodigestor (biofertilizante), después del proceso de fermentación y producción de biogás.
- El material extraído del biodigestor, sea el biofertilizante, se puede aprovechar como componente nutritivo importante para la alimentación de aves de corral, peces, ganado, etcétera.

2.4.1. Digestión Anaerobia

Para Lorenzo y Obaya (2005), la digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono) conocido como “biogás” y a una suspensión acuosa o “lodo” que contiene los microorganismos responsable de la degradación de la materia orgánica. Comenta que en la digestión anaerobia más del 90 por ciento de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose solo un 10 por ciento de la energía en el crecimiento bacteriano frente a un 50 por ciento consumido en el proceso aerobio. Fundamenta las bases microbiológicas del proceso anaerobio en el cual resalta

que un gran número de microorganismos en serie o en serie- paralelo, degradan la materia orgánica en sucesivas etapas, para los residuos sólidos o lodos considera tres etapas (hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis) y dos para residuos líquidos (acidogénesis y metanogénesis); el enfoque más novedoso lo constituye el de las cuatro etapas o niveles tróficos hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Figura 2.7).

- Hidrólisis: los compuestos complejos del material inicial (carbohidratos, proteínas y grasas) se dividen en compuestos orgánicos más simples (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos). Las bacterias hidrolíticas que participan en esta etapa liberan enzimas que descomponen el material por medios bioquímicos.
- Acidogénesis: los productos intermedios formados anteriormente por la hidrólisis se dividen luego durante este proceso (la fase de acidificación) por medio de bacterias fermentadoras (que forman ácidos) para formar ácidos grasos más bajos (acético, prebiótico y butírico junto con dióxido de carbono e hidrógeno). Además, también se forman pequeñas cantidades de ácido láctico y alcoholes. La naturaleza de los productos formados en esta etapa es influenciada por la concentración del hidrógeno intermedio.
- Acetogénesis: se forma ácido acético los productos de la acidogénesis se convierten por medio de bacterias acetogénicas en precursores de biogás (ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono).
- El ácido acético, pero también el hidrógeno y el dióxido de carbono se convierten en metano por medio de arqueas metanogénicas estrictamente anaeróbicas. Los metanógenos hidrógeno tróficos producen metano a partir del hidrógeno y del dióxido de carbono, mientras que las bacterias acetoclásticas que forman metano lo producen por división del ácido acético.

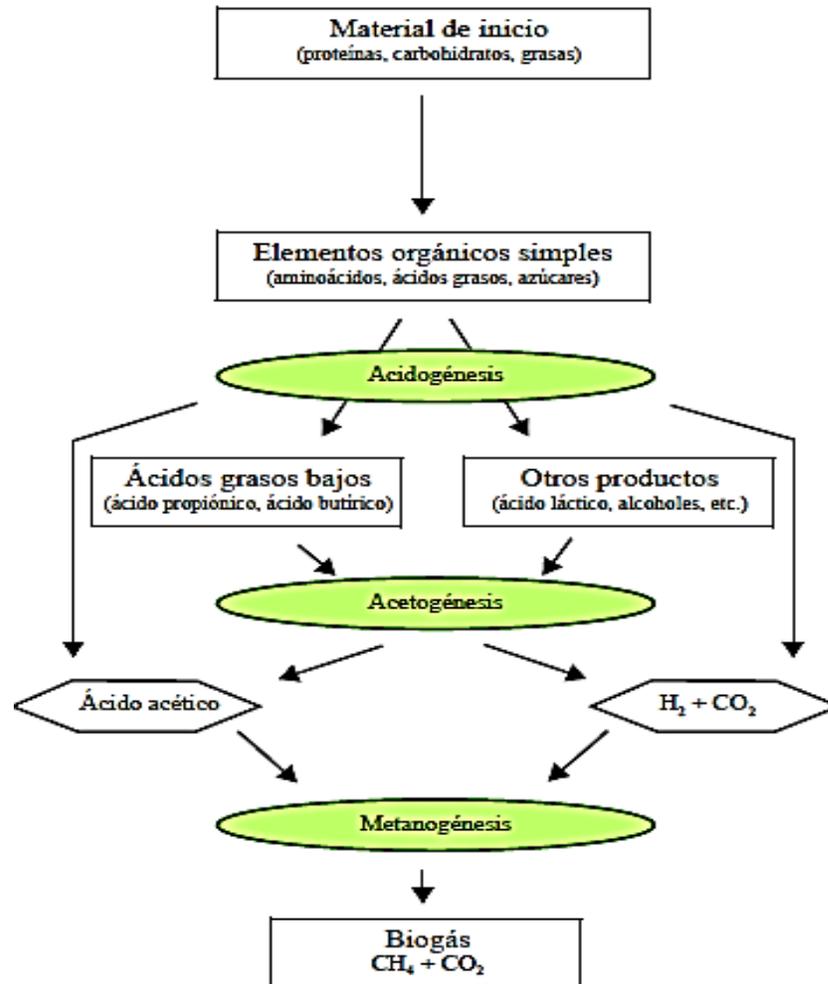


Figura 2.7. Esquema de descomposición anaeróbica (Lorenzo y Obaya, 2005).

2.5. Condiciones Ambientales que Determinan la Producción de Biogás

Las bacterias como seres vivos, se ven afectadas por las condiciones ambientales del entorno. Las bacterias metanogénicas serán las que determinen los rangos adecuados para el proceso de digestión, debida a su lento crecimiento y a su alta sensibilidad a la variación de los parámetros (Ocaña, 2011).

Para Varnero (2011) los organismos especialmente los metanogénicos, son altamente susceptibles a los cambios en las condiciones ambientales. Algunas de estas condiciones son: temperatura, tipo de materias primas,

nutrientes y concentración de minerales traza, pH, toxicidad y condiciones óptimas.

2.5.1. Factores Químicos

2.5.1.1. Sustrato o Tipo de Materia Prima. Los sustratos ideales para la digestión anaerobia en biodigestores son los desechos orgánicos húmedos de origen agrícola, industrial, doméstico y municipal, así como las excretas de origen humano y animal. Los residuos de la industria alimentaria y las actividades agrícolas en particular son excelentes sustratos para la digestión anaerobia, ya que no contienen contaminantes, patógenos, ni metales pesados (Rivas et al., 2010).

Los microorganismos involucrados en la degradación anaeróbica según Deutsches (2010) tienen necesidades específicas a su especie en términos de macronutrientes, micronutrientes y vitaminas. La concentración y disponibilidad de estos componentes afecta la tasa de crecimiento y las actividades de las distintas poblaciones. Para obtener tanto metano como sea posible de los sustratos se debe asegurar un suministro óptimo de nutrientes a los microorganismos. La cantidad de metano que se puede obtener finalmente de los sustratos dependerá de las proporciones de proteínas, grasas y carbohidratos que contengan.

Rivas *et al.* (2010) comenta que la presencia de nutrientes como carbono, nitrógeno y azufre, así como algunos elementos traza, es necesaria para el desarrollo de las comunidades microbianas encargadas de la producción de biogás. La relación C/N debe estar en una porción de entre 20 y 30 partes del primer elemento por cada parte del segundo. Si la proporción aumenta la producción de biogás puede disminuir debido a la formación de amonio, el cual se genera durante la degradación de urea o proteínas.

Según Varnero (2010) prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás al ser sometida a la fermentación anaeróbica. La calidad y cantidad del biogás producido dependerán de la composición y la naturaleza del residuo utilizado. Los niveles de nutrientes deben de estar por encima de la concentración óptima para las metanobacterias, ya que ellas se inhiben severamente por falta de nutrientes. El carbono y el nitrógeno son principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células.

2.5.1.2. Adición de Grasas. Las grasas vegetales poseen un alto potencial energético debido a su composición química elevado contenido de lípidos degradables por bacterias anaeróbicas. Cuando se agregan a los biodigestores pueden aumentar en hasta 24 veces la producción de biogás (Días, et al., 2007).

Para Martínez *et al.* (2008) el empleo de grasas de origen animal podría aumentar el riesgo de transmitir enfermedades. Se recomienda un tratamiento de pasteurización a 70°C durante una hora, para eliminar los gérmenes patógenos. De esta manera la utilización de grasas vegetales junto con la combinación de sustratos ricos en nitrógeno y abundantes en carbono permite elevar la productividad de los biodigestores.

2.5.2. Factores Físicos

2.5.2.1. Temperatura. Los microorganismos involucrados en el proceso metabólico tienen distintas temperaturas óptimas, si la temperatura está por encima o por debajo de su rango óptimo, los microorganismos relevantes pueden inhibirse o, en los casos extremos, sufrir un daño irremediable.

Los microorganismos que participan en la descomposición se pueden dividir en tres grupos según sus temperaturas óptimas. Se distingue entre

organismos psicrófilicos, mesófilicos y termófilicos de acuerdo a Deutsches (2010):

- Psicrófilicos: estos organismos se encuentran por debajo de los 25 °C. A estas temperaturas aunque no hay necesidad de calentar los sustratos o el digestor, sólo se puede lograr un bajo desempeño de degradación y producción de gas. Por lo tanto, como regla no es factible la operación económica de las plantas de biogás.
- Mesófilicos: se encuentran entre los 37 y 42°C. Las bacterias que forman metano tienen su crecimiento óptimo en este rango. Las plantas de biogás que operan en el rango mesófilico son más generalizadas en la práctica debido a su rendimiento de gas relativamente alto ya que se obtiene una buena estabilidad del proceso en este rango de temperatura.
- Termófilicos: su rango óptimo de temperatura se sitúa entre 50 y 60°C. La elevada temperatura del proceso ocasiona una tasa más alta de descomposición y una menor viscosidad. En estas condiciones hay menos especies diferentes de microorganismos metanogénicos presentes.

También el mismo autor menciona que los cambios bruscos de temperatura son los que dañan los microorganismos, si la temperatura cambia lentamente los microorganismos metanogénicos pueden ajustarse a diferentes niveles de temperaturas.

La temperatura del proceso actúa también sobre aspectos fisicoquímicos del mismo. La solubilidad de los gases generados desciende al aumentar la temperatura, favoreciéndose la transferencia líquido – gas. Esto supone un efecto positivo para gases tales como NH_3 , H_2 , y H_2S , dada su toxicidad sobre el crecimiento de los microorganismos anaeróbicos. Una posible desventaja de este fenómeno es que el descenso de la solubilidad del CO_2 provocaría un aumento del pH, lo que generaría, en lodos de elevada concentración de amonio, posibles situaciones de inhibición por NH_3 (Varnero, 2011).

Según Ocaña (2011) debido a las variaciones de temperatura es posible que las tres etapas del proceso biológico se desequilibren, siendo así que también aumente la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) la concentración de gas se vea disminuida rápidamente y el pH sea reducido bruscamente.

2.5.2.2. El pH. Silva (2002) menciona que las bacterias metanogénicas son muy sensibles a las variaciones en acidez/alcalinidad (pH) de la mezcla del digestor. Para un funcionamiento óptimo, el valor del pH de la mezcla debe mantenerse dentro del rango de 6.8 a 7.5, esto es neutral a ligeramente alcalino. El pH puede ser determinado con bastante precisión con una prueba de papel litmus o una muestra de agua. Durante el proceso de digestión, se producen ácidos orgánicos y si no se controlan, la mezcla en el tanque puede gradualmente tornarse ácida, lo que puede inhibir los procesos bacterianos y enzimáticos en el biodigestor. La regulación del pH en el rango deseado se logra agregado regularmente a la mezcla materiales alcalinos, tales como cal o cenizas.

El pH óptimo de las bacterias de hidrólisis y que forman ácidos según Deutsches (2010) está en un rango que va de pH 5.2 a pH 6.3. Un valor de pH en el rango neutral de 6.5 a 8 es absolutamente esencial para las bacterias que forman ácido acético y para las arqueas metanogénicas. Si el proceso de fermentación ocurre en un solo biodigestor, debe mantenerse este rango de pH. El valor de pH se establece automáticamente dentro del sistema gracias a los productos metabólicos alcalinos ácidos formados el en curso de la descomposición anaeróbica. Normalmente, el valor de pH se establece en el rango neutral gracias al tampón de carbono y amoníaco. Si se agota la capacidad tampón del sistema, es decir si se van acumulando demasiados ácidos orgánicos, cae el valor de pH. El valor de pH puede elevarse si se libera amoníaco como resultado de la división de compuestos del nitrógeno orgánico. El amoníaco reacciona con el agua para formar hidróxido de amonio. El efecto inhibitorio del amoníaco incrementa rápidamente.

Según Ocaña (2011) un digestor con alta concentración de ácidos grasos volátiles precisará de alguna sustancia que incremente el valor del pH, que no deberá caer por debajo de 6.2 puesto que crea un medio tóxico para las bacterias metanogénicas que inhiben el proceso y así mismo comenta la influencia que tiene en el proceso de producción.

Aumento del pH

- Inhibición del proceso biológico
- Aumenta rápidamente la presencia de AGV
- La producción de biogás disminuye rápidamente
- El pH aumenta rápidamente

Reducción de pH

- Inhibición del proceso biológico
- Aumenta rápidamente la presencia de AGV
- La producción de gas disminuye rápidamente
- El pH se reduce rápidamente

Varnero (2011) observa que los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaerobia presentan unos niveles de actividad óptima en entorno a la neutralidad. El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para ácido génicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. El pH óptimo para cultivos mixtos se encuentra en el rango entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro ideal.

Así mismo el mismo autor menciona que para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0. el valor de pH en el digestor no solo determina la producción de biogás si no también su composición (Figura 2.8). Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano, y por tanto, tiene menores cualidades energéticas. Debido a que la metanogénesis se considera la etapa limitante del proceso, es necesario mantener el pH del sistema cercano a la neutralidad.

También comenta que los valores de pH bajos reducen la actividad de los microorganismos metanogénicos, provocando la acumulación de ácido acético y H₂. EL pH afecta a los diferentes equilibrios químicos existentes en el medio, pudiendo desplazarlos hacia la formación de un determinado componente que tenga influencia en el proceso.

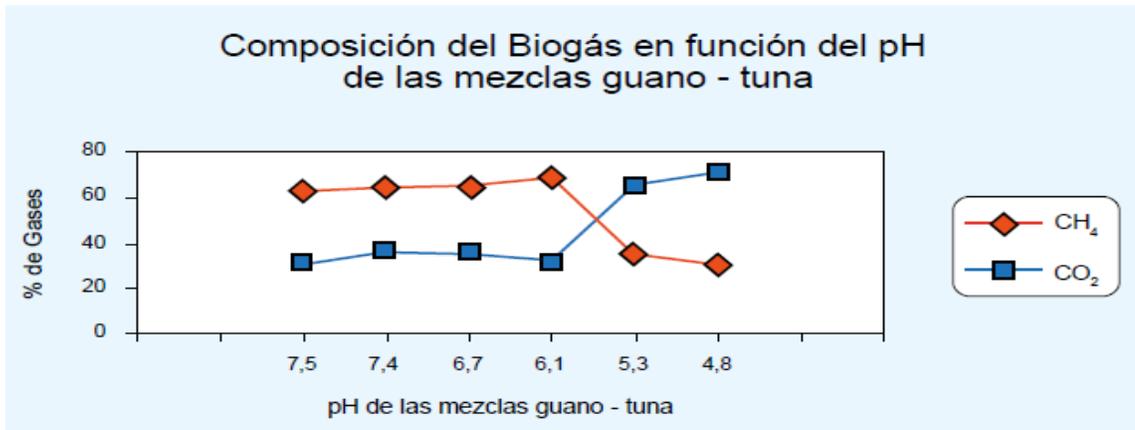


Figura 2.8. Composición del biogás en función del pH (Varnero, 2011).

2.4.2.3. Tiempo de Retención Hidráulica (TRH). La biomasa en degradación dentro de un digestor requiere de una cierta cantidad de tiempo que varía en función del tipo de materia prima y la temperatura de funcionamiento. En digestores que se alimentan en forma continua a estos días de permanencia se le da el nombre de tiempo de retención hidráulica (Gruber et al., 2010).

El TRH en un digestor es uno de los factores más importantes para el control de los sistemas de digestión anaerobia. Según Caldera *et al.* (2003) el efecto de lavado, el mecanismo de procesos de digestión de dos fases y la transferencia de hidrogeno son afectados por el THR. Se ha reportado que la disminución en el porcentaje de remoción de materia orgánica y la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) en reactores UASB podría deberse al bajo tiempo de contacto entre la biomasa y el sustrato producto de la disminución en el TRH.

Para Hilbert (2010) en los digestores continuos y semicontinuos el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del

digestor y el volumen de carga diaria. De acuerdo al diseño de reactor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir variables diferencias entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores. El TRH está ligado con los factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo. La selección de una mayor temperatura implicara una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes, los sistemas paralelos de control y calefacción y la eficiencia.

Varnero (2011) comenta que las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás. Los tiempos de retención varían según con la temperatura media de cada región y la variación diaria estacional (Cuadro 2.2.).

Cuadro 2. 2. Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de estiércol de ganado en distintas regiones (Varnero, 2011).

Tiempo de retención hidráulico	Características
30 – 40 días	Clima tropical con regiones planas. Ej. Indonesia, Venezuela, América Central.
40 – 60 días	Regiones calidad con inviernos fríos cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopia.
60 – 90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Recolección de Muestras

Se recolectó una muestra significativa de macroalgas *Chlorophyceas* de un estanque de agua potable (Figura 3.1) ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Chapultepec, Torreón, Coah. El área está localizada en las siguientes coordenadas 25°33'24.17" Latitud Norte y 103°22'35.37" Longitud Oeste a una altitud de 1123 msnm.



Figura 3.1. Localización del estanque de agua.

Por otra parte la muestra de micro algas *Chlorophyceas* fue tomada de un estanque de aguas residuales en la planta tratadora Bosque Urbano Francisco J. Madero (Figura 3.2) ubicado en la ciudad de Torreón, Coah. El área está localizada en las siguientes coordenadas $25^{\circ}33'2''$ Latitud Norte y $103^{\circ}22'35.37''$ Longitud Oeste a una altitud de 1123 msnm.



Figura 3.2. Localización del sitio de muestreo en la planta tratadora.

3.2 Procedimiento de Muestreo

A continuación se da una breve explicación del procedimiento que se llevó a cabo en la recolección de macro y micro algas *Chlorophyceas*.

La realización de la toma de muestras se hizo en las siguientes fechas

- Macro algas 28 de Noviembre del año 2013.
- Micro algas 26 de Mayo del año 2014.

Estos fueron los siguientes pasos que se llevaron a cabo:

1. Ubicar el sitio de muestreo.
2. Distinguir y seleccionar el tipo de muestra de macro algas (muestra joven y vigorosa).
3. Ingresar al estanque con debida precaución y con el material adecuado: guantes, red de alberca y un bote de 20L.

4. Traslado de material al laboratorio de calidad de aguas residuales de la universidad autónoma agraria Antonio narro unidad Saltillo.

3.3. Preparación de Muestras y Métodos Empleados Para el Análisis.

La investigación fue llevada a cabo en el laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coah.

3.3.1. Materiales y Metodología.

Una vez obtenida la muestra en el laboratorio (Figura 3.3) se inició el siguiente proceso para poder llevar a cabo el análisis:

1. Se cercioraron los pasos de seguridad y sanidad para llevar a cabo el proceso, utilizar bata y guantes para poder colocar las muestras en el biodigestor.
2. Con unas pinzas esterilizadas se tomaron las macro algas, en el caso de las microalgas un bote debido a que el medio que las contenía era muy líquido y se colocaron en el biodigestor anaerobio ARMFIRLELD W8 hasta llenar el biodigestor, el resto de lo que sobró se refrigero para pruebas posteriores.
3. Llenar el colector con calibración volumétrica con agua, evitando que se formaran burbujas de aire, ya que el desplazamiento del agua es lo que se evaluará.
4. Revisar que el equipo funcione correctamente.
5. Revisar que el cilindro de calibración no tenga fugas con el agua y que las mangueras de conducción estén bien conectadas.
6. Programar el equipo a la temperatura que se va evaluar (37°C Y 45°C).

7. Tomar lecturas diarias del colector con calibración volumétrica para ir observando la producción de biogás por un periodo de 30 días o hasta que el biodigestor este completamente vacío.
8. Después de haber cumplido el tiempo esperado se apaga el digestor, se vacía y se limpia para trabajar con posteriores muestras.



Figura 3.3. Muestras de microalgas y macroalgas.

3.3.2 Parámetros de Observación

Los parámetros de observación se llevaron a cabo con el fin de obtener y saber la calidad a través de valores numéricos y poder tomar decisiones a posibles problemas que se llegaran a presentar.

Se tomaron lecturas de pH y conductividad eléctrica (CE) antes de meter las muestras al digestor anaeróbico con el fin de saber el grado de desequilibrio que se llegase a presentar en el traslado del material al laboratorio. Se sacó el porcentaje de humedad de la materia cruda de una muestra representativa de las microalgas y se realizaron los análisis bromatológicos correspondientes en los cuales se incluyeron: materia seca y materia seca parcial, materia seca total, cenizas, proteína cruda o bruta, estrato de etéreo o grasa, fibra cruda y extracto

libre de nitrógeno. Las determinantes se realizaron de acuerdo al manual de técnicas utilizadas por A. O. A. C. (1980 Association of Official Analytical Chemist Official Methods of Analytical Chemist) Washington, D. C., que son las técnicas utilizadas como estándar a nivel internacional.

Se tomaron lecturas durante el proceso de descomposición a través del digestor anaeróbico el cual consiste en dos depósitos o cilindros, uno funciona como un almacenador de materia y otro como un receptor de gas. Las lecturas fueron tomadas diariamente del cilindro volumétrico, el cual consiste en un cilindro que está completamente lleno de agua. El gas generado del depósito almacenador va desplazándose por un tubo al depósito receptor y se va acumulando, éste va ejerciendo presión y va desplazando el agua por una salida hacia el drenaje, para así poder acumular el gas en la superficie, funcionando el agua como un sellador sin dejar escapar al gas. Conforme el tiempo pasa el gas desplazará al agua por completo. El depósito de agua tiene capacidad de 4L y está graduado con 330 mm, así que las lecturas que tomaremos serán los mm desplazados por unidad de tiempo de 24 hrs.

3.3.3. Descripción de Parámetros de Observación.

3.3.3.1. Contenido de agua y materia seca parcial. Se determinará por desecación mediante la evaporación sometiendo la muestra a 65°- 70° C durante 24 horas, eliminando así el agua libre por medio de calor de circulación seguida por la determinación del peso del residuo; la temperatura se regula para efectuar un secado máximo y para evitar un mínimo de pérdidas de sustancias volátiles y otras que se descomponen. Se determina de la siguiente manera:

$$\%MSP = \left(\frac{PESO DE LA MUESTRA SECA}{PESO DE LA MUESTRA TOTAL} \right) * 100$$

3.3.3.2. Materia seca total. La materia seca, no es más que la muestra a la que se le ha extraído el agua por acción del calor. Está constituida por una porción susceptible de quemarse ya que está constituida por sustancias que contienen carbono o materia orgánica y que constituye a dar energía a la materia, la porción incombustible se encuentra formada por sustancias que no pueden quemarse y que los residuos que forman son cenizas cuando se somete a calcinación.

La materia seca total se obtiene mediante la evaporación total de la humedad a una temperatura que varía entre 100 – 105° C este método determina el agua contenida en la materia.

$$\% MTS = \frac{\text{Peso del crisol} + \text{Muestra seca} - \text{Peso del crisol vacío}}{\text{Gramos de muestra}} * 100$$

$$\% H = 100 - \% MTS$$

Cuando a las muestras se les determina MTS la humedad total de la muestra se calcula multiplicado.

$$\frac{\% MPS * \% MST}{100}$$

3.3.3.3. Cenizas. El término de cenizas se refiere a lo que queda de la combustión total de una muestra de materia. Las cenizas no contienen Carbono y están formadas por diversas sustancias minerales. La porción incombustible (cenizas) se determina quemando la porción combustible mediante una elevada temperatura (calcinación) que puede ser de 500-600° C.

$$\% C = \frac{\text{Peso del crisol} + \text{Cenizas} - \text{Peso de crisol (solo)}}{\text{Gramos de muestra}} * 100$$

$$\% \text{Materia Orgánica} = \% \text{Materia seca total} - \% \text{Cenizas}$$

Para ajustar sus datos en base a Materia Seca total dividir su porcentaje Cenizas entre su porcentaje de MST y multiplicar por 100.

3.3.3.4. Proteína cruda o bruta. El término o adjetivo de bruto o cruda, es para indicar que no son determinaciones de entidades químicas puras, sino que además se obtienen otros compuestos que no son estrictamente proteínas, sino también compuestos nitrogenados que no son estrictamente proteínas. Las proteínas son compuestos nitrogenados que están integrados por cadenas de aminoácidos que son necesarios para realizar funciones fisiológicas.

El principio básico de este método se basa en la conversión del nitrógeno de las sustancias nitrogenadas en amonio.

$$\%N = \left(\frac{\text{ml de ácido sulfúrico gastados en la muestra} -}{\text{ml de ácido sulfúrico gastados en el blanco}} \right) * (0.14) \\ * (\text{Normalidad del ácido}) * 100 \\ \hline \text{Gramos de muestra}$$

3.3.3.5. Extracto etéreo o grasa. La grasa cruda es otro de los componentes químicos que representa la grasa y que algunas veces se le denomina extracto etéreo. La grasa cruda está formada principalmente por lípidos y por otras sustancias que no lo son, pero que son solubles en ciertos solventes de las grasas.

Al realizar el análisis del extracto etéreo, no solamente se encuentran en éste la grasa y aceites, sino otros compuestos con las vitaminas liposolubles, pigmentos, fosfolípidos, glicolípidos, ceras, parafinas y xantofilas. El compuesto que más se emplea en la extracción de extracto etéreo es el hexano que mediante el calor extrae los compuestos solubles hasta que la muestra se seca.

$$\% EE = \frac{\text{Peso de matraz} + \text{Grasa} - \text{Peso del matraz vacío} * 100}{\text{Gramos de muestra}}$$

Para ajustar el por ciento de EE en base a materia seca total se divide entre porcentaje de MST y se multiplica por 100.

3.3.3.6. Fibra cruda. Químicamente la fibra cruda corresponde a la lignina y a la celulosa, es decir a los glúcidos insolubles en el agua que resisten a la acción hidrolítica de los ácidos y alcalinos, con esto se trata de imitar la digestión ácida y la digestión alcalina. Esta fracción está determinada o integrada por la celulosa y otros hidratos de carbono insolubles o que no se disuelven fácilmente.

$$\%F.C. = \frac{\text{Peso del crisol del crisol} + \text{Muestra Seca} - \text{Peso de Crisol} + \text{Cenizas} * 100}{\text{Gramos de muestra}}$$

Para hacer el ajuste de F.C. en base a Materia Seca Total se divide entre su porcentaje MST y se multiplica por 100.

3.3.3.7. Extracto libre de nitrógeno. En realidad no se determina por análisis en el laboratorio, sino que se calcula por diferencia. El E.L.N. que comprende los azúcares, el almidón y gran parte del material clasificado como heicelulosa. El E.L.N. se obtiene sumando los porcentajes de cenizas, grasas, proteínas y fibra cruda y se resta de 100 partes de muestra analizada. El E.LN.es necesario para realizar el cálculo total de nutrientes digestibles (TND).

$$\begin{aligned} \% \text{Cenizas} + \% \text{Extracto Etéreo} + \% \text{Proteína Cruda} + \% \text{Fibra Cruda} - 100 \\ = \% \text{Extracto Libre de Nitrógeno.} \end{aligned}$$

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de Algas

Se llevó a cabo la identificación de las especies usadas para este trabajo en el cual pudimos distinguir que se trataba de las siguientes especies: *Rhizoclonium Tortuosum* en macroalga (Figura 4.1).



Figura 4.1. Macroalga *Rhizoclonium Tortuosum*.

Para identificar las algas de la siguiente muestra nos guiamos siguiendo la morfología del Manual de Biología de Algas por Dreckman (2013) y se encontraron formas unicelulares de color verde y otras color amarillo caracterizadas por dos y un solo flagelo *Dunaliella tertiolecta*, *Dunaliella salina* *Scenedesmus obliquus* (Figura 4.2).

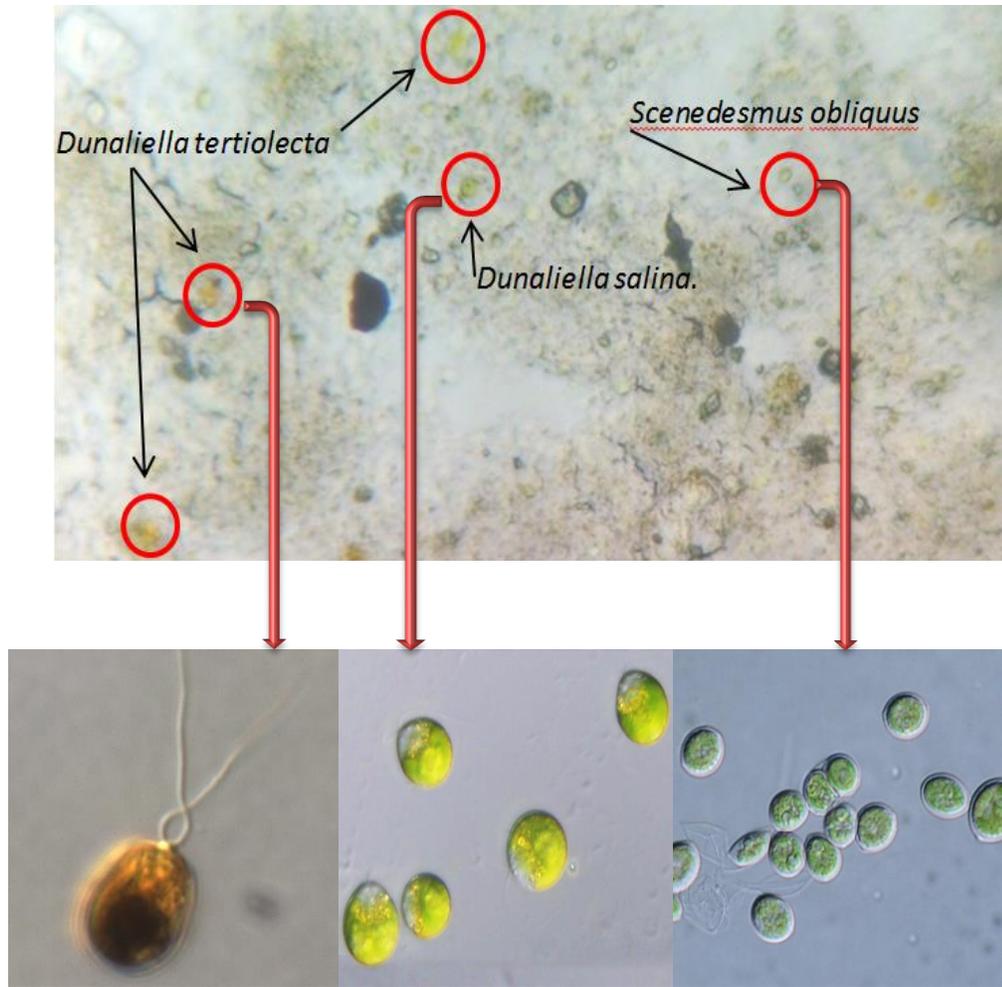


Figura 4.2. Especies de microalgas.

4.2. Parámetros de Observación

En los siguientes cuadros 4.1 y 4.2 se muestran los resultados de los parámetros que se analizaron en micro y macro algas *Chlorophyceas* esto es con el fin de demostrar la calidad y estado del material.

Cuadro 4. 1. Parámetros de la solución en microalgas *Chlorophyceas*.

Parámetros	Valor numérico
pH	5.61
CE ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)	1647
% MSP	3.475
%HMSP	27.778
%MST	93.31
%HMST	6.69
%C	53.625
%MO	39.685
AJUSTE DE %C EN BASE A MST	57.4697
EE	2.80625
AJUSTE DE %EE EN BASE A MST	3.0074
FC	0
%PC	286
E.L.N.	242.4312

Cuadro 4. 2. Parámetros de macroalgas *Chlorophyceas*.

Parámetros	Valor numérico
pH	6.8
CE ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)	68000
% MSP	14.665
%HMSP	85.335

4.2. Observación de Lecturas

Se tomaron lecturas diarias durante cada digestión de las macro a 37°C y microalgas 37° y 45°C en sus respectivas temperaturas tuvo diferentes comportamientos, podemos apreciar los incrementos y decrementos de producción de biogás (Figura 4.4).

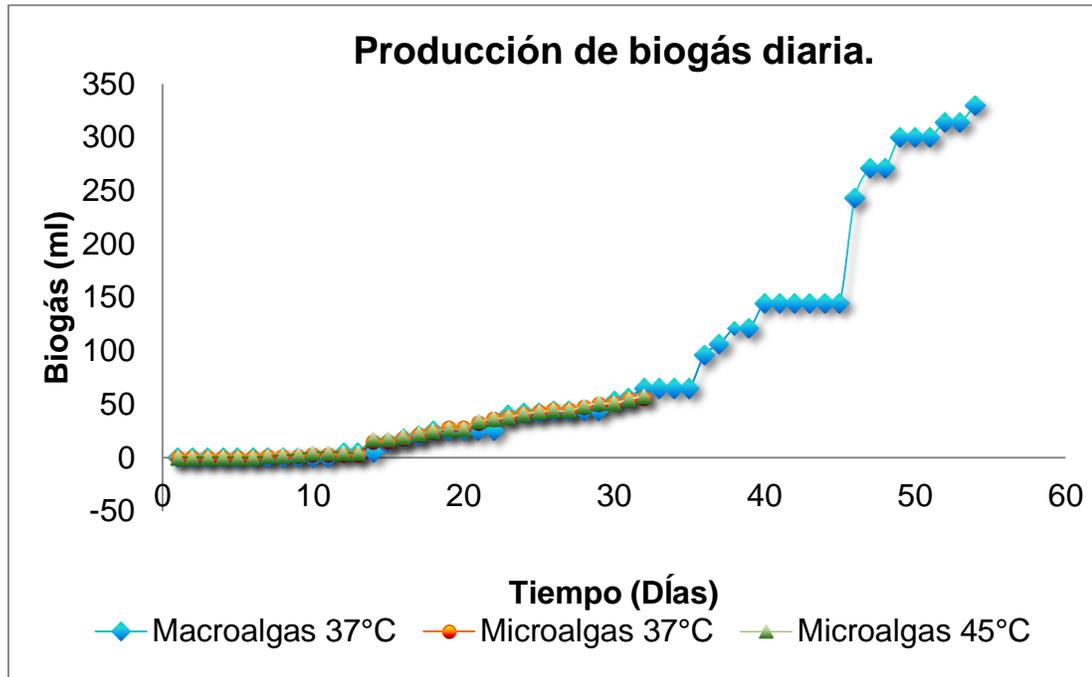


Figura 4.4. Producción de biogás diaria de macroalgas 37°C y microalgas a 37°C y 45°C.

La evaluación de las macro algas se llevaron a cabo durante 54 días, ya que hasta ese día el cilindro receptor estaba completamente lleno de biogás y el agua que sellaba a este estaba total mente desplazada, más sin embargo para la evaluación de micro algas se consideraron 34 días debido a que hasta ese día se observó que la producción de biogás se había detenido.

Haciendo una comparación durante 34 días tomando como referencia la evaluación de microalgas obtuvimos la siguiente Figura (4.5) en la cual se puede

distinguir cómo es que para las microalgas en 37°C y 45°C fue muy semejante el comportamiento de producción de biogás, mientras que en las macroalgas la producción fluctúa demasiado. Sin embargo, para los días 26 y 27 las macro y micro algas alcanzan un mismo punto de producción; luego observamos cómo es que las microalgas van frenando la producción hasta quedar nula y como es que las macro algas disparan la producción del biogás.

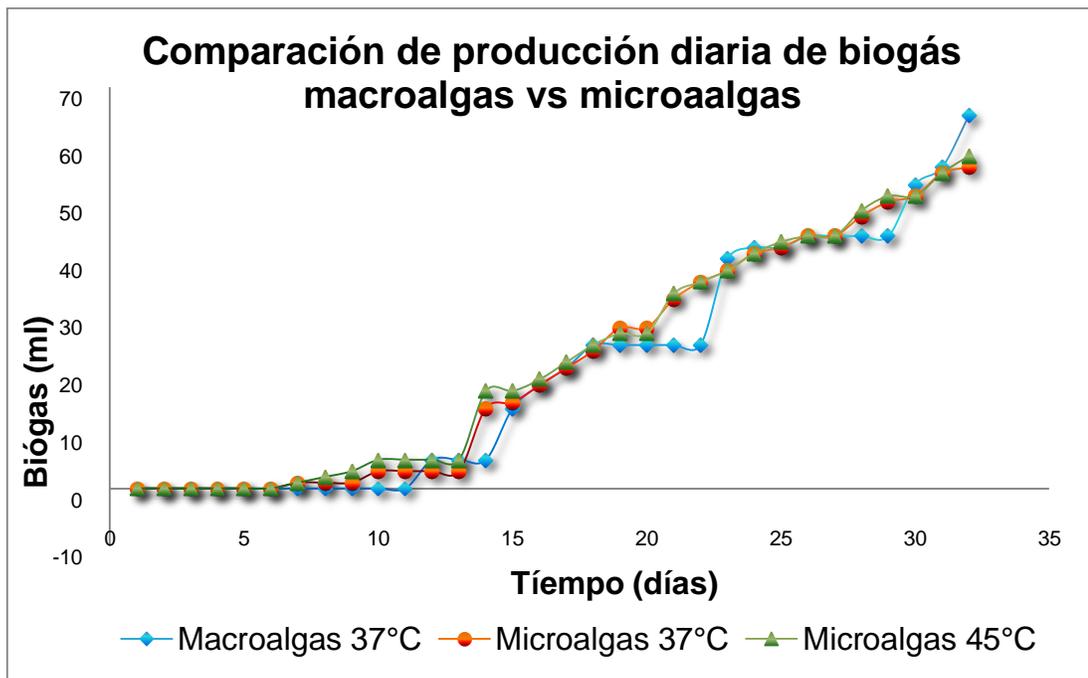


Figura 4.5. Comparación en la producción de biogás diaria de macroalgas 37°C y microalgas a 37°C y 45°C.

Observamos en la Figura 4.6 la siguiente grafica con un ajuste polinómico la variabilidad de producción de biogás en el transcurso de los días a una temperatura constante de 37°C. Vemos que la descomposición de las macroalgas comienza a producir el biogás a partir del onceavo día, después podemos observar cómo es que se va estableciendo la producción en transcurso de los días con una producción de 1 ml por día hasta alcanzar su valor máximo

de producción en el día 47 con 28 ml y después comienza a bajar su producción hasta quedar degradado el material a tal grado de que la producción de gas queda nula.

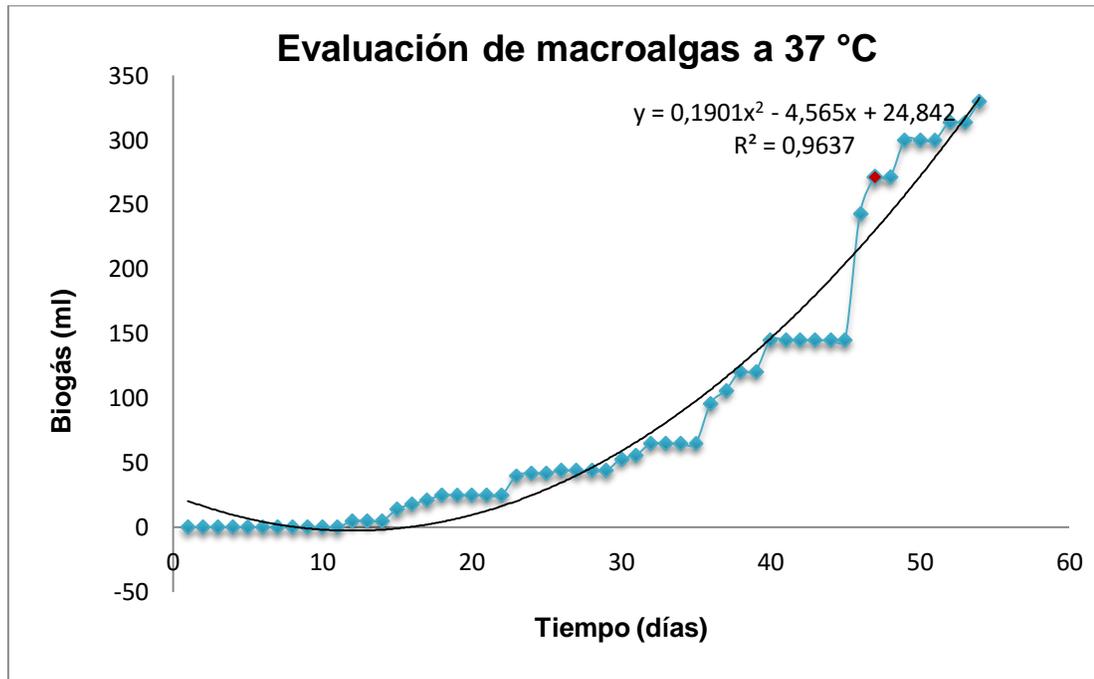


Figura 4.6. Ajuste polinomial de producción de biogás con macroalgas a 37°C.

En la siguiente grafica (Figura 4.7) se puede observar el comportamiento de microalgas a una temperatura de 45°C, vemos que en los primeros 6 días no hay producción y como es que del día 7 al 9 se comienza a producir un ml de biogás diario, viendo que para el día 10 la producción comienza a aumentar a 2ml por día y para el día 11 el cambio es a 3ml, manteniéndose así una producción de 3-2 ml diarios para los siguientes 21 días restantes de la evaluación considerada. Después de este tiempo en los siguientes 5 días no se notaron cambios ni producción, así que se prosiguió a retirar el material del digester considerando para entonces 58 ml totales de producción de biogás.

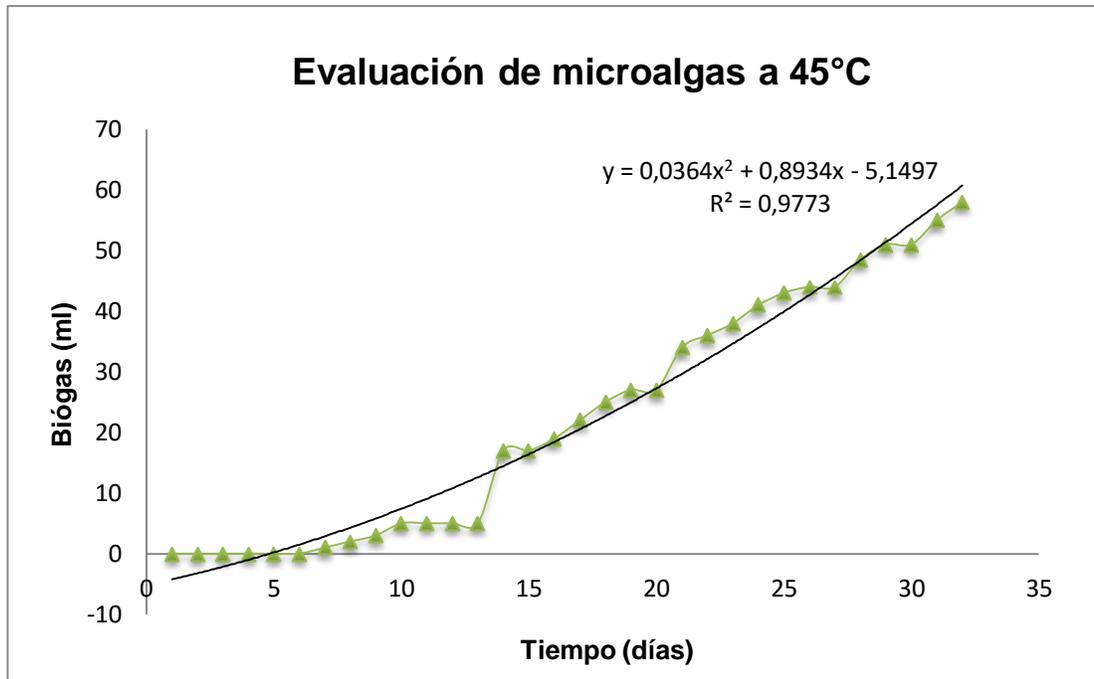


Figura 4.7. Ajuste polinomial producción de biogás con microalgas a 45°C.

En la evaluación de microalgas a 37°C (Figura 4.8), los primeros 6 días no se observó producción de biogás, para el 7° día se comienza a producir 1 ml, consecuentemente los próximos 2 días la producción es nula, aunque para el 10° día se producen 2 ml así también los 2 siguientes días, para el día 13 la producción es de 3 ml, siendo que para los siguientes 19 días el rango se mantiene de 3 a 1 ml diarios hasta que se frena la producción y ya no se observan más cambios.

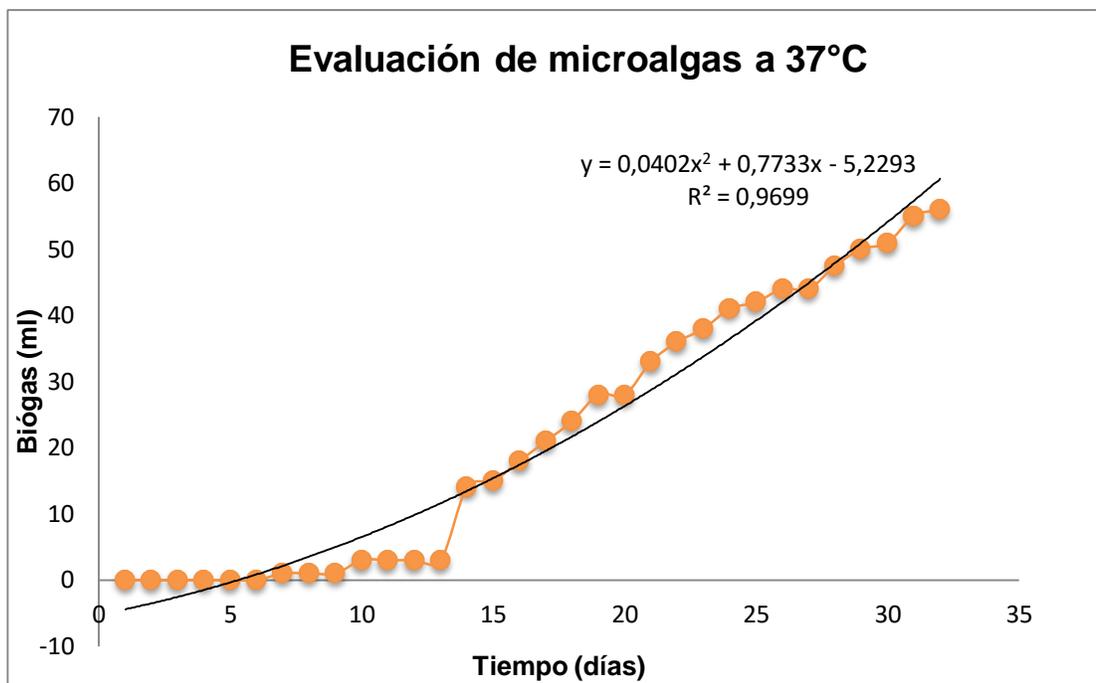


Figura 4.8. Ajuste polinomial producción de biogás con microalgas a 37°C.

Haciendo una comparación en la producción de biogás con microalgas sometidas a 2 diferentes temperaturas se encontró que las relaciones en la producción fueron muy similares los comportamientos, pues en los primeros 6 días no hubo producción en ambas. Las fluctuaciones variaban de 3 a 1 ml en el transcurso de la evaluación, la única diferencia que hubo fue de 2 ml producidos totalmente sometiendo las microalgas a 37°C se obtuvo un total de 56 ml y a 45°C el resultado fue de 58 ml (Figura 4.9).

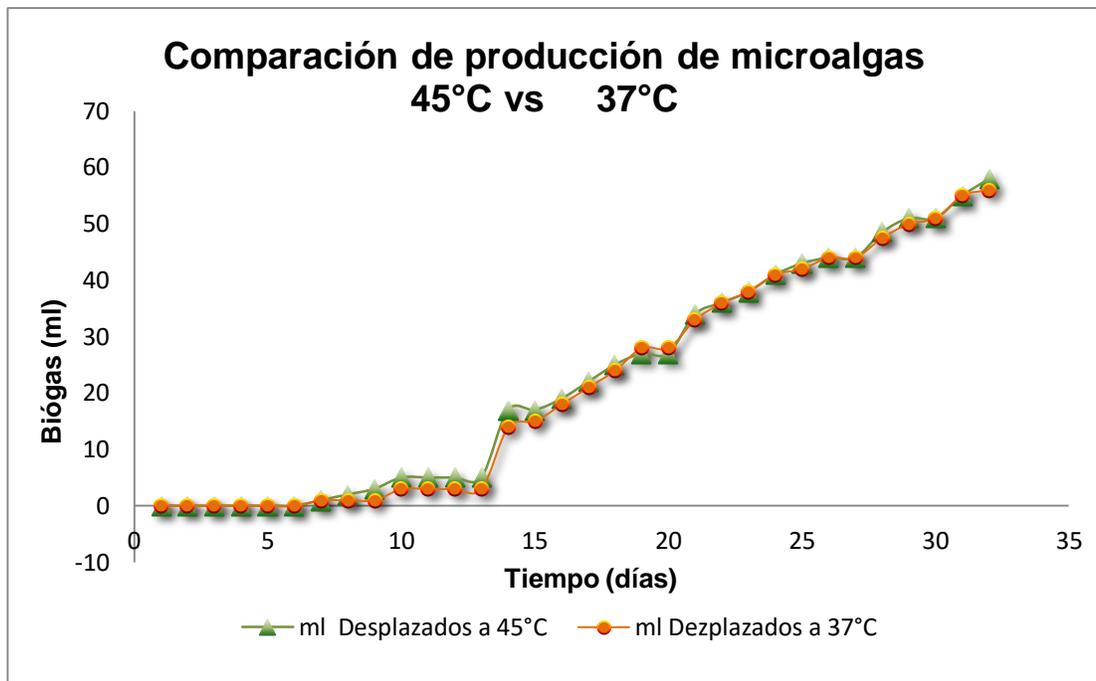


Figura 4.9. Comparación de producción de biogás con microalgas 45°C vs 37°C.

IV. CONCLUSIONES

- La producción de biogás depende directamente de la temperatura.
- La biomasa es un factor que determina la cantidad en la producción de biogás.
- La producción de biogás contribuye a reducir las emisiones de metano (CH_4) a la atmosfera.
- El metano (CH_4) es 21 veces más dañino que el CO_2 .
- En base a la producción de biogás con macro y micro algas, las macroalgas presentaron mayor actividad.

I. LITERATURA CITADA

Caldera M. Y. A., Madueño M. P. I., Griborio D. A. G., Gutiérrez G. E. C., Fernández A. N. M., 2003. Efecto del tiempo de retención hidráulica en funcionamiento de un reactor UASB tratando efluentes carcomimos. Universidad del Zulia Venezuela.

Cifuentes A., González M., Parra O., Zúñiga M., 1996. Revista Chilena de Historia Natural. Cultivo de cepas de *Dunaliella salina* (Teodoresco 1905) en diferentes medios bajo condiciones de laboratorio. Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción. Concepción, Chile. Pág. 105-112.

Deutsches G. F. 2010. Guía sobre el Biogás – Desde la producción hasta el uso. Ministerio Federal de Alimentación, Agricultura y Protección al consumidor (BMELV).

Días E. D., Kreling J. C., Bortero R., Murillo J. V. 2007. Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales. Tierra Tropical.

Diario Oficial de la Federación. 2013. Resumen ejecutivo por la Cámara de Diputados, México Distrito Federal. Pág. 14.

Dreckmann K. M., Senties A., Núñez M.L. 2013. Manual de Practicas de Laboratorio. Biología de Algas. Universidad Autónoma Metropolitana.

División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Iztapalapa Ciudad de México. Pág. 90.

Fernández L. L. C., Montiel M. J., Millán O. A., Badillo C. J. A. 2012. Producción de Biocombustibles a partir de Microalgas. Universidad Autónoma Indígena de México. Monchicahui, el Fuerte, Sinaloa.

Gutiérrez G. G. de J., Moncada F. I., Meza. M. M., Félix F. A., Balderas C. J. de J., Gortáres M. P. 2012. Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía. Ed. Ideas CONCYTEG.

Gruber S., Hilbert J. A., Sheimber S., 2010. Una planta de biogás en base de estiércol animal en mezcla de silaje. Forrajeras de maíz en el marco agropecuario argentino.

Hilbert J. A. 2010. Manual para la producción de Biogás. Instituto de Ingeniería Rural. INTA-Castelar. pág. 54.

Loera Q. M., Olguín J.E., 2010. Las microalgas como fuente de biodiesel retos y oportunidades. Red de Manejo Biotecnológico de Recursos. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz. Pág. 91.

López E., Fiembres O., Medina J., Miranda B., Martínez C., Molina Q., 2013. Revista internacional de Botánica Experimental. Revista Phytion. Universidad de Sonora. pág. 23-30.

López A. S. J., Catzim C. L. A., 2011. Microalgas dulceacuícolas. Biodiversidad y desarrollo Humano en Yucatán.

- Lorenzo A. Y., Obaya A. M. C. 2005. "La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte 1" ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar, vol. XXXLX, num. 1.
- Melis A., Happe T. 2004. "Trails of green alga hydrogen research – from Hans Graffron to new frontiers. Kluwer academic publishers. Printed in the nether lands.
- Ocaña P. F. J. 2011. Biodigestor Anaerobio de Laboratorio. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química. Leganes, pag.116.
- Ostos T. J. P., 2013. Plan de Negocios para la Empresa Nacional de Digestores. Escuela Colombiana de Carreras Industriales Bogotá D.C.
- Palomino M. A., Estrada F. C., López G. J. 2010. Microalgas: Potencial para la producción de Biodiesel. IV Congreso Brasileiro de Mamona e I Simposio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessa. Facultad de Ingeniera, Universidad del Valle Cali Colombia.
- Rivas S. O., Faith. V. M., Guillen W. R. 2010. Biodigestores: factores químicos físicos y biológicos relacionados con su productividad, Tecnología en marcha, vol.23.
- Samayoa S., Bueso C., Víquez J. 2012. Guía Implementación de Sistemas de Biodigestión en ecoempresas. 1° edición. Tegucigalpa Honduras. pág. 68.
- Silva V. J. P. 2002. Tecnología del Biogás, Universidad del Valle – Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente.

Varnero M. T. 2011. Manual de Biogás. Ministerio de Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Global Environment Facility (GEF). Santiago, Chile.

Paginas web consultadas

Martinez C. M., Böttiger S., Oechsner H., Kanswohl N., Schlegel M. 2008. Instalaciones de biogás a medida y gran escala en Alemania. Fuente: www.engormix.com.

Menéndez V., 2006, "Rhizoclonium tortuosum" Asturnatura Num. 102 Fuente: <http://www.asturnatura.com/especie/rhizocloniumtortuosum.html>.

Molina S. 2008. "Historia del biogás" Fuente: porcinos.blogspot.mx/2006/01/historia-del-biogas_113857323502124249