

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



Diseño preliminar para la extracción de lípidos en macro algas marinas de la aldea Rama Blanca, Sipacate por medio de los métodos de microondas, ósmosis y pre-prensa solvente con hexano para la producción de biocombustibles

Luisa Fernanda Ordoñez Mazariegos

Guatemala

2009

Diseño preliminar para la extracción de lípidos en macro algas marinas de la aldea Rama Blanca, Sipacate por medio de los métodos de microondas, ósmosis y pre-prensa solvente con hexano para la producción de biocombustibles

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA

Diseño preliminar para la extracción de lípidos en macro algas marinas de la aldea Rama Blanca, Sipacate por medio de los métodos de microondas, ósmosis y pre-prensa solvente con hexano para la producción de biocombustibles

Trabajo de investigación presentado por Luisa Fernanda Ordoñez Mazariegos para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química

Guatemala

2009

Vo. Bo. :

(f) _____
Ing. Gamaliel Zambrano

Tribunal Examinador:

(f) _____
Ing. Gamaliel Zambrano

(f) _____
Ing. Jorge Muñoz

(f) _____
Ing. Oscar Maldonado

Fecha de aprobación: Guatemala, 10 de diciembre de 2009

Contenido

	Página
Lista de Tablas.....	viii
Lista de Figuras	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
I. Introducción.....	1
II. Antecedentes.....	2
A. Las algas y sus características	2
B. Algas marinas.....	3
C. Reproducción y ciclo de vida.....	5
D. Cultivos de algas y sus características.....	7
E. Nutrición de algas	9
F. Presencia de lípidos en las distintas especies	12
G. Uso de las algas	13
H. Producción de biomasa de algas.....	14
I. Limitaciones del medio ambiente en la producción de algas en sistemas al aire libre	17
J. Fuentes de carbono y variación de pH	18
K. Tasa de luz, temperatura y profundidad de las pozas	19
L. Recirculación y agitación.....	21
M. Métodos para concentración del cultivo.....	23
N. Cosecha	23
O. Control de infecciones.....	27
P. Secado	27
III. Justificación	28
IV. Objetivos.....	29
A. Objetivos generales	29
B. Objetivos específicos.....	29
V. Problema a resolver	30
VI. Metodología.....	31
VII. Resultados.....	32
VIII. Discusión	37
IX. Conclusiones.....	40
X. Recomendaciones	41

XI. Bibliografía.....	43
XII. Apéndice.....	44
A. Metodología de extracción	45
B. Cálculos de diseño.....	49
C. Figuras anexas	56

Lista de tablas

Página

Tabla 1.	Fórmula funcional del fitoplancton.....	9
Tabla 2.	Total de lípidos presentes en las distintas especies de algas	12
Tabla 3.	Limitaciones y cambios para la producción de biomasa de alga.....	18
Tabla 4.	Composición del medio para cultivo al aire libre de acuerdo al método autótrofo y mixtrofo.	19
Tabla 5.	Efecto de la fuente de carbono en el nivel de producción del alga	19
Tabla 6.	Porcentaje de penetración de la luz solar respecto a la profundidad de la poza	20
Tabla 7.	Comparación de métodos útiles para la cosecha de las micro algas.	24
Tabla 8.	Comparación de métodos útiles para la cosecha de micro algas.....	25
Tabla 9.	Máquinas propuestas para la cosecha de micro algas por sedimentación por gravedad natural	26
Tabla 10.	Máquinas propuestas para la cosecha de micro algas a partir de filtración por gravedad natural.	26
Tabla 11.	Máquinas propuestas para la cosecha de micro algas a partir de filtrado a presión	27
Tabla 12.	Condiciones ideales de operación	32
Tabla 13.	Porcentajes de rendimiento en base a distintos métodos de extracción.	32
Tabla 14.	Tipos de cadenas presentes en lípido extraído	32
Tabla 15.	Combustión de aceite de algas extraído de los sistemas acuáticos de la aldea Rama blanca, Sipacate donde se realizará el proyecto contra otros productos utilizados actualmente para biocombustibles.	33
Tabla 16.	Viscosidad dinámica absoluta de aceite de microalgas extraído de los sistemas acuáticos de la aldea Rama blanca, Sipacate donde se realizará el proyecto contra otros productos utilizados actualmente para biocombustible.....	33

Lista de figuras

	Página
Figura 1.	Composición orgánica del alga y alimentos convencionales 13
Figura 2.	ambientales en la composición de lípidos 17
Figura 3.	Relación de densidad óptica (OD) contra días 22
Figura 4.	Relación de pH contra días en condiciones de agitación distintas 22
Figura 5.	Cromatografía de aceite extraído 33
Figura 6.	Diseño de poza 34
Figura 7.	Plano de diseño de poza 35
Figura 8.	Diseño tridimensional de poza 36
Figura 9.	Factores de fricción para accesorios en tubería 52
Figura 10.	Curva Característica de bomba a utilizar 53
Figura 11.	Muestra RB 6.2 (lote occidente) (1)..... 56
Figura 12.	Muestra RB 6.2 (lote occidente) (2)..... 56
Figura 13.	Muestra RB 6.2 (lote occidente) (3)..... 57
Figura 14.	Muestra algas agua 2 grados (rama blanca) (1)..... 57
Figura 15.	Muestra algas agua 2 grados (rama blanca) (2)..... 58
Figura 16.	Muestra algas agua 2 grados (rama blanca) (3)..... 58
Figura 17.	Muestra algas agua 2 grados (rama blanca) (4)..... 59
Figura 18.	Muestra RB algas agua 6 grados (1) 60
Figura 19.	Muestra RB algas agua 6 grados (2) 60
Figura 20.	Muestra corrida cuatro playa (1) 61
Figura 21.	Muestra corrida cuatro playa (2) 61
Figura 22.	Muestra reservorio (1)..... 62
Figura 23.	Muestra reservorio (2)..... 62
Figura 24.	Muestra corrida uno playa (1) 63
Figura 25.	Muestra corrida uno playa (2) 63
Figura 26.	Muestra salida de corrida dos..... 64
Figura 27.	Muestra corrida dos con burbujas (1)..... 64
Figura 28.	Muestra corrida dos con burbujas (2)..... 65
Figura 29.	Muestra corrida dos lado Oswaldo..... 65
Figura 30.	Filtro de canasta 66

Resumen

La constante variación en los costos de energía derivada del petróleo ha provocado que cada vez más el ser humano busque otras opciones en la naturaleza para generar energía, la producción de biomasa de algas marinas para la producción de lípidos es una de esas opciones que ha empezado a tener auge en varios países y Guatemala no es la excepción, el estudio y diseño propuesto se llevaron a cabo en la Aldea Rama Blanca, Sipacate.

Una vez identificado el lugar para realizar el estudio, se procedió a estudiar el tipo de alga que se puede extraer en esa zona, también se definió el proceso más eficiente de extracción, esta parte del estudio tuvo como objetivo calcular el porcentaje de lípido que se puede extraer de la biomasa y el método más eficiente para hacerlo. Ya con el método de extracción identificado se procede a analizar el área en donde se pueden instalar las pozas para realizar el cultivo, definir el tipo de nutrientes más adecuados y los equipos periféricos que permitirán hacer funcionar los cultivos.

Los resultados obtenidos después de seis meses de estudio del alga indican que ha este tipo de alga se le pueden extraer 15% de lípidos, se dimensionaron 29 pozas y un proceso para tener un volumen de producción anual de 30,000 litros de aceite para producción de biodiesel.

Los resultados alcanzados nos permiten recomendar los diferentes tipos de nutrientes, equipos y métodos de extracción para obtener lípidos utilizando cultivos de algas marinas en la Aldea Rama Blanca, con esto se cumple el objetivo de este trabajo de graduación, ya que la rentabilidad del proceso está directamente relacionada con el precio actual del petróleo y la forma en que se administren los insumos y equipos de los cultivos.

Abstract

The continuous variations of the oil based energy prices has caused that in the last years the human race is constantly searching in the nature for other options that could fit the need of energy mass production. The production of biomass extracted of marine algae for the production of lipids is one of those options that have been evaluated in several countries the last years, Guatemala is not the exception, and the investigation and design proposed on this thesis take place in RamaBlancaVillage, Sipacate.

Once identified the place to realize the study, we proceed to analyze the type of algae that was present the zone, also the most efficient process of extraction was defined. This part of the study has an objective to calculate the percentage of lipids that is possible to extract from the biomass and the most efficient method to do it. With the best method already defined, the next step was to analyze the area when the culture ponds should be installed to have a more efficient culture, also it was critical to define the type of nutrients and calculate the dimensions of the pipeline, pumps and the rest of utilities equipment.

The results obtained after six months of investigation indicate that for the algae present in Rama Blanca Village only 15% of lipids can be extracted, 29 pools were dimensioned and a process for 30,000 liters per year of oil extracted of marine algae was designed.

With all the data collected and several field investigations we could recommend the different types of nutrients, equipment and method of extraction to obtain lipids using marine algae cultures of Rama Blanca Village, with this outcomes defined the main objective of this thesis was fulfilled, the financial payout and reliability of the process is directly related with the actual pricing point of oil and the way that the culture is managed and maintained.

I. Introducción

La constante búsqueda de nuevos proyectos que permitan reducir costos, tener procesos más limpios y operaciones más estables debe ser un aspecto que todo ingeniero de plantas pueda manejar por medio de constantes estudios y elaboración de diseños cada vez más efectivos y eficientes.

El costo de la energía es uno de los principales aspectos que no permite proyectar estabilidad en cualquier negocio actual, las constantes variaciones en el precio del petróleo y la volatilidad de la demanda sin considerar el factor contaminación son solo algunos de los aspectos negativos del uso de energía derivada del petróleo. Desde hace ya algunos años se ha empezado a evaluar el uso de biodiesel a partir de *Jatropha*, aceites reciclados, aceites de semillas de macadamia, palma africana, algas marinas, entre otras. Dada la alta necesidad de buscar nuevas opciones de energía en Guatemala, este trabajo se enfoca en identificar el mejor método de extracción de lípidos y el proceso más eficiente para el cultivo de algas marinas en la aldea Rama Blanca, Sipacate. En el momento de iniciar el estudio las algas marinas de esta zona no habían sido estudiadas, por lo que era necesario determinar factibilidad de extracción de lípidos y que porcentaje de estos se puede obtener utilizando estas algas. Adicionalmente se necesitaba hacer una evaluación de las condiciones y factores que puedan afectar el crecimiento del alga en los cultivos, los nutrientes requeridos para un mejor crecimiento y el dimensionamiento y elección de los equipos correctos para hacer funcionar las pozas en donde se realizarán los cultivos.

Este trabajo puede dividirse en dos grandes bloques de investigación; el primero, se enfoca en definir cuáles son los equipos correctos y las dimensiones de las pozas para realizar los cultivos, en esta parte también se consideran los costos de inversión para instalar las pozas y todos los periféricos que se requieren para hacerlas funcionar. En esta sección se consideran los mejores nutrientes y métodos de cultivo que sirven de recomendación para la operación de las pozas. En la segunda parte; se analizan tres métodos de extracción de lípidos para determinar el más adecuado así como el porcentaje de lípido que se puede obtener con cada uno de los métodos, con la investigación realizada en la segunda parte se dará la recomendación de que método es el más eficiente y cuanto de eficiencia en lípidos se puede obtener con el mismo.

La metodología de análisis incluyó un primer paso de investigación, durante seis meses se realizó trabajo de campo para recoger alga y someterlas a cada uno de los tres métodos propuestos de extracción que eran por pre- prensa solvente, ósmosis y microondas. El segundo paso fue determinar el porcentaje de lípidos que se puede extraer utilizando el método de prensado con aplicación de solvente y el tercer paso fue diseñar las pozas junto con todos los equipos que se requieren para hacerlas funcionar, este diseño incluyó el dimensionamiento de tuberías, bombas, motores, sistemas de burbujeo, filtros y pozas. El objetivo primordial de este trabajo es recomendar el mejor método de extracción de lípidos de algas marinas de la aldea Rama Blanca y recomendar un proceso para cultivar las mismas.

II. Antecedentes

A. Las algas y sus características

Se llaman algas a diversos organismos fotosintetizadores de organización sencilla que viven en el agua o en ambientes muy húmedos. Pertenecen al reino protista y técnicamente, las algas son los organismos autótrofos que realizan la fotosíntesis, si excluimos a las plantas. Se trata de un grupo polifilético o artificial y no tiene por lo tanto ya uso en la clasificación científica moderna, aunque sigue teniendo utilidad en la descripción de los ecosistemas acuáticos. (Barsanti 2005, 578)

Muchas “algas” son unicelulares microscópicas, otras son coloniales y algunas han desarrollado anatomías complejas, incluso con tejidos diferenciados, como ocurre en las algas pardas. Las más grandes, miembros del grupo anterior, forman cuerpos laminares de decenas de metros de longitud. (Barsanti 2005, 5

Las algas constituyen un conjunto polifilético, es decir, que sus miembros están dispersos entre distintos grupos de parentesco. (Barsanti 2005, 578)

1. Algas procariotas. Sólo un grupo de procariotas ha sido tratado habitualmente bajo el concepto de *algas*:

a. Cianobacterias. Llamadas tradicionalmente algas verdeazuladas o algas azules, que es lo que literalmente significa su antiguo nombre sistemático, cianofíceas (*Cyanophyceae*). Algunos otros grupos de procariontes realizan formas de fotosíntesis no oxigénicas, pero no suelen ser tratados como algas, sino como bacterias o arqueas.

2. Algas eucariotas. Muchos grupos de eucariotas, todos clasificados habitualmente en el reino Protista, son considerados bajo el concepto de algas. En la mayoría de los casos coinciden en el mismo lado con formas heterótrofas que tradicionalmente se han descrito como protozoos o como hongos.

a. Filo Euglenófitos. Formas unicelulares de agua dulce dotadas de plastos verdes, emparentadas estrechamente con los *Kinetoplástidos*.

b. Filo Dinoflagelados. Son protistas unicelulares que en su mayoría presentan plastos de distintos colores, derivados por endosimbiosis de otras algas unicelulares.

c. Filo Cromófitos o Heterokontófitos. Un clado de protistas muy heterogéneo que incluye entre sus miembros a algunos de los más importantes fotosintetizadores acuáticos, como las algas doradas (Crisófitos, *Chrysophyta*), las algas pardas (Feófitos, *Phaeophyta*) o las diatomeas (Bacilariófitos, *Bacillariophyta* o *Diatoma*).

d. Filo Haptófitos. Llamados a veces Prymnesiophyta. Unicelulares cuyas escamas carbonatadas (cocolitos) contribuyen de forma importante a los sedimentos oceánicos.

e. Filo Criptófitas. Formas unicelulares flageladas de aguas frías, sobre todo marinos.

f. Filo Glaucófitos. Son protistas unicelulares de agua dulce que se caracterizan por contener cianelas, que son plastos con características típicas de las cianobacterias y ausentes de los plastos del resto de las algas y plantas.

g. Filo Clorófitos. Son las algas verdes, de una de cuyas ramas evolutivas evolucionaron las plantas terrestres. (Barsanti 2005, 578)

B. Algas marinas

La variedad de algas marinas es mucho menor que aquellas algas de agua dulce, por lo regular las algas marinas pueden ser ubicadas en dos regiones, la superficie del agua y la zona litoral cercana a la tierra. A pesar de que la variedad de algas marinas no es tan grande, la cantidad si es muy considerable si tomamos en cuenta que el setenta por ciento de la superficie terrestre es océano y que las algas marinas se encuentran distribuidas alrededor de los océanos. Cabe mencionar que las algas juegan un papel fundamental en los ecosistemas marinos y en las reacciones químicas entre la atmósfera, el agua y los sedimentos. De los dos tipos de algas clasificadas con base a su ubicación el alga de mar abierto es considerada un alga microscópica flotante mientras que en las zonas litorales las especies predominantes son algas macroscópicas como la Rodófitas y la Clorófitas la cuales en su mayoría se encuentran pegadas en rocas y sedimentos. (Round F.E. 1973,108)

1. Algas de aguas abiertas. El fitoplancton de los océanos está compuesto de especies de células grandes cuya distribución taxonómica es bien conocida y de fitoplancton menor llamado nanoplancton el cual está muy poco estudiado aunque en volumen se cree puede ser incluso mayor que el de células grandes. Un aspecto fundamental para el estudio y reproducción artificial de las algas radica en entender el concepto de que el océano está dividido en corrientes grandes y pequeñas; cada una de estas corrientes cuenta con diferente composición química y características físicas y como consecuencia de esto las algas varían su composición y productividad en base a estos factores. (Round F.E. 1973,108)

Clasificar las diferentes especies de algas marinas se hace muy complicado debido al enorme área involucrada, los cambios de estaciones y la gran variedad de especies, es por ello que determinar la ubicación específica en cada temporada de todas las especies de algas es prácticamente imposible. Por otro lado, el traslado de especies de algas a diferentes ecosistemas y los constantes cambios en las corrientes provocan que la mezcla geográfica de algas sea una constante. (Round F.E. 1973,109)

Respecto a la correlación entre distribución geográfica y salinidad no se ha encontrado algún factor que indique correlación algún, sin embargo el número de especies es menor en aquellas regiones con alta concentración de fosfatos; esto puede que no sea un efecto directo del fosfato pero si un factor a tomar en cuenta. Otra clasificación que se puede dar a este tipo de algas es en base al promedio de la superficie donde se encuentran, teniendo dentro de la clasificación tres grupos, subpolar, cosmopolita y tropical. En el caso de las tropicales se subdividen en algas que no toleran el trópico, aquellas que lo toleran moderadamente y especies que toleran el trópico. (Round F.E. 1973,112)

La productividad de las algas en las diferentes regiones del océano varía en gran manera, usando la técnica del carbono 14 se pueden clasificar las producciones de algas en los diferentes puntos del océano. La primera son aquellas zonas consideradas de alta productividad en donde se encontraron características como alto número y excelente mezcla de agua rica en nutrientes que regularmente se encuentran solo en aguas profundas también presentes en la superficie, un ejemplo de estas zonas es la corriente de benguela. La siguiente en la clasificación son las zonas moderadamente productivas en donde se encuentra una pequeña porción de agua rica en nutrientes, un ejemplo de este tipo de corrientes son aquellas en donde hay divergencia debido al encuentro de corrientes ecuatoriales. Las regiones de baja productividad son aquellas en donde el agua no es tan rica en nutrientes y la mezcla de nutrientes se dá únicamente por turbulencia, la gran mayoría del océano tropical y subtropical se encuentra en esta categoría. Por último tenemos la región de muy baja productividad en donde el agua es muy pobre en nutrientes y los que existen son de muy baja calidad por ser tan viejos. (Round F.E. 1973,120)

El factor estacional también puede ser un factor a tomar en cuenta en el crecimiento y distribución de las algas, durante el otoño se tiene un pico en el crecimiento de algas marinas al igual que en algas de aguas dulces, esto debido a los cambios suaves en la temperatura que producen un incremento de nutrientes en la superficie del agua. (Round F.E. 1973,122)

Los factores que afectan la distribución y crecimiento del fitoplancton marino son un grupo de factores físicos complejos entre los que podemos mencionar la luz, temperatura, viscosidad, velocidad de corriente y turbidez. Los factores químicos que afectan son el número de nitratos, fosfatos, silicatos y factores orgánicos, mientras que los aspectos biológicos a tomar en cuenta son la tasa de crecimiento, interacción y capacidad de absorción de nutrientes. La alta correlación entre el estado de los nutrientes y la producción orgánica de algas sugiere que este es el factor más crítico para la reproducción masiva del alga tanto en regiones tropicales como semitropicales. (Round F.E. 1973,124)

2. **Algas del litoral.** La unión entre el mar y la tierra es una zona en donde habitan una gran cantidad de grupos de algas, estas zonas presentan altas complejidades para su estudio pero son de suma importancia por la gran cantidad de algas que se encuentran en estas zonas. Por lo regular las algas de estos

habitats se ven impactadas por factores externos como los animales y seres humanos que habitan o intervienen en el hábitat de las algas, la nomenclatura y clasificación de este tipo de algas es aún bastante desconocida y compleja. La distribución física de las algas del litoral se divide en tres, zona abajo del nivel de las olas, zona al nivel de las olas y aquellas que se encuentran sobre el nivel de las olas, esta distribución nos permite tener clasificación por zona con diferentes niveles de altura de agua por zona.

La zona abajo del nivel de las olas es una zona que ha recibido poca atención en términos de investigación, la mayoría de estas especies son muy pequeñas y aquellas de tamaño considerable están en el límite con la zona de altura de las olas, en esta zona es muy común que las algas mueran o se trasladen a la siguiente zona. En el caso de las especies mayores que habitan en esta zona por lo regular proliferan a una altura de 1.5 a 2 metros debajo de las olas ordinarias de la zona. (Round F.E. 1973,127)

En la zona del nivel de las olas que por lo regular se ubican en las playas de arena se encuentran comúnmente algas microscópicas, es bastante normal observar grandes parches de algas en las playas y por lo regular cada uno de estos parches está dominado por algas de una determinada especie. Según estudios realizados algunas de estos parches desaparecen al ser alcanzado por la corriente, este tipo de alga tiende a decrecer durante el verano y una estrecha relación del volumen de esta especie con la luz y el movimiento de las olas se ha encontrado. Se ha comprobado que la naturaleza física de la playa tiene mucho que ver con el tipo de flora que se encuentra en ella, por ejemplo en playas con arena de muy baja calidad en nutrientes y composición química muy pocas especies se encuentran y las que se encuentran son especies adheridas a los granos de arena. En las playas de arena muy fina y con mejor composición química se encuentra especies más grandes y evidentes que no están adheridas a los granos de arena sino por el contrario forman grandes parches café de algas. Se ha registrado evidencia de cambio de estas especies en base a la estación del año, el mayor número de células de estas especies se da en verano y primavera. (Round F.E. 1973,130)

Las playas con nivel superior a la marca de las olas son tan secas que por lo regular las especies de algas son raras. En donde se encuentran concentrados más sólidos orgánicos que absorben agua y bajan a niveles donde son alcanzados por algunas olas, la composición del suelo es modificada y surgen ciertas especies de algas como la Cyanofita. El crecimiento de esta especie por lo regular da al suelo una apariencia negra la cual es reconocida alrededor del mundo. Es interesante que las diferentes especies que existen en esta zona tienen morfología muy parecida, muchas de estas especies pueden ser encontradas en el mar Báltico. (Round F.E. 1973,136)

C. Reproducción y ciclo de vida

La reproducción en las algas presenta diversidad de procesos como en el cualquier vegetal, en muchas especies de algas la reproducción está relacionada con el incremento de células o tamaño de la colonia y por ende asociada con un proceso normal de crecimiento, mientras que otras especies se reproducen cuando la

célula madre desprende una porción y sigue creciendo en paralelo a la formación de la otra célula. En flagelos unicelulares el incremento de tamaño es controlado por límites de tamaño previamente definidos, la división celular se da cuando se alcanza determinado tamaño de célula y se alcanza la morfología específica de la especie. (Round F.E. 1973, 23)

El método más simple de reproducción vegetal se da cuando la división del protoplasto no está directamente relacionado pero que el resto de agregados de la célula son los que se separan. Otro tipo de reproducción que se da en algunos flagelados es la fisión longitudinal y la formación de los nuevos organelos que no se dividieron. Los dos tipos de reproducción de las algas son sexual y asexual.

1. **Reproducción asexual.** En muchos aspectos este tipo de reproducción es muy parecido al resto de vegetales, particularmente en el grupo de los flagelados. En general este es un proceso en donde él o los protoplastos son separados de la célula madre para germinar y formar una nueva planta. El protoplasto puede ser separado como una espora móvil o una no móvil. Las algas unicelulares forman zooesporas, cada célula es usualmente capaz de transformarse en espora, similar a especies multicelulares, muchas de estas células son fértiles con excepción de algunas especies. (Round F.E. 1973,25)

En general la producción asexual de esporas es el preámbulo de la división mitótica del núcleo y seguida por la partición del protoplasto. El número de esporas producidas por célula varía de gen a gen. La morfología de cada zooespora es una característica de cada grupo de algas y en general es una versión reducida de la célula vegetal de ese grupo. Las esporas no son formadas únicamente como resultado de la reproducción asexual de las plantas sino también después de la meiosis. (Round F.E. 1973,27)

2. **Reproducción sexual.** Este tipo de reproducción no es un patrón universal en las algas; nunca ha sido comprobado en la Cyanofita y otros muchos géneros que se da la reproducción sexual, sin embargo es muy probable que sea un factor opcional de su ciclo vida. La reproducción sexual involucra la combinación de material nuclear y citoplasma de dos gametos de la misma especie. El mecanismo más común para este tipo de reproducción es la unión entre dos gametos morfológicamente similares. Los gametos por lo regular son móviles y similares en forma al flagelo de la célula vegetal de su grupo. (Round F.E. 1973,28)

En todos los grupos de algas la fusión entre los gametos del macho y la hembra es el cigoto. Este continúa moviéndose y nadando lejos de la luz antes de pegarse a un substrato al final del flagelo. En otras especies puede haber un período de movilidad antes de formar una delgada pared en la cigoespora. (Round F.E. 1973,29)

3. **Ciclo de vida.** La unión de los gametos machos y hembras resulta en la formación del cigoto y la duplicación del complemento cromosómico para dar el estado diploide. Antes de que la reproducción sexual pueda ocurrir nuevamente el número de cromosomas debe ser dividido. En algunos grupos esto se alcanza por medio de división meiótica del núcleo del cigoto, y germinación subsecuente para llegar a la etapa haploide. El ciclo nuclear de las plantas más grandes es mucho más sencillo ya que la planta madura en su estado diploide realiza la división meiótica formando gametos haploides. El resultado de la fusión es un cigoto, el cual en un principio es de una forma muy sencilla y luego se desarrolla para formar una planta compleja. (Round F.E. 1973,30)

D. Cultivos de algas y sus características

Aunque en muchos aspectos la fisiología del alga es similar a la de las plantas más grandes, la diversidad en forma, pigmentación, ciclo de vida, movilidad, estructura de pared, son solo algunas características similares entre especies, sin embargo la diferencia principal es la capacidad de absorción y proceso de fotosíntesis hacen que las algas tengan complicaciones adicionales como el transporte de nutrientes. (Round F.E. 1973,147)

1. **Cultivos.** La primera etapa para obtener cultivos correctos es conocer la distribución de la especie en su hábitat natural. Esto es sumamente necesario ya que al conocer la ubicación del alga en su hábitat natural nos permite escoger mejor el medio donde la cultivaremos, el pH, temperatura del cultivo, etc. Sin embargo en muchas ocasiones una muestra del hábitat natural del alga como el suelo o la misma planta pueden ser estimulados a crecer por medio de la adición correcta de nutrientes. (Round F.E. 1973,148)

Los cultivos en un inicio son usualmente realizados en medios líquidos en su mayoría medios inorgánicos o pueden contener componentes orgánicos que se sepa son necesarios para el crecimiento de los organismos, por ejemplo se sabe que muchos flagelados se sabe que requieren vitamina B₁₂. El crecimiento de las algas es usualmente mucho más lento que el de cualquier bacteria o fungi, estos son los dos principales contaminantes y por supuesto es necesario tomar todas las precauciones necesarias para esterilizar los tubos, pipetas y utensilios a utilizar para no contaminar el cultivo.

En aras de incrementar activamente el crecimiento de los cultivos se ha aprendido mucho sobre la nutrición de las algas, se ha comprobado que se obtienen mejores resultados de esta forma que simulando o utilizando agua de mar directamente. Los métodos antiguos trataban de cultivar algas usando agua de mar agregando ciertos materiales como KNO₃, MgSO₄, HCl, FeCl₃ y agua destilada. A lo largo iremos analizando los diferentes métodos de cultivos y sobre todo el de producción masiva en tanques al aire libre en donde se deben tener los cuidados correspondientes para evitar bacterias, otras algas o micro animales que se coman las algas. (Round F.E. 1973,150)

2. **Medios de cultivo en algas.** Las técnicas de cultivo y los medios para hacer crecer los cultivos rara vez pueden duplicar el hábitat natural. Esto es de esperarse ya que la adaptación a situaciones artificiales produce que los organismos muestren ciertos cambios en las características fisiológicas, cambios en apariencia y en la forma de reproducirse. Lo único que podemos esperar es que las especies que pertenecen a un gen en particular tengan características genéticas similares bajo condiciones diferentes de su hábitat natural. (Prescott, 1968, 376)

Las diversas técnicas y medios empleados en los cultivos buscan alcanzar una de dos cosas: igualar las condiciones naturales tanto como se pueda o proveer un conjunto de condiciones artificiales que puedan promover el crecimiento de las algas para alcanzar el resultado deseado. Un ejemplo de algunas condiciones o métodos para igualar las condiciones naturales es la agitación o vibración para simular el movimiento natural del agua en el océano. Otro factor que se puede tomar en cuenta es la temperatura y la cantidad de luz que se aplique al cultivo. Para algunas algas de agua dulce la temperatura estándar en un cuarto y la luz del sol desde una ventana en el norte son condiciones ideales para el crecimiento, dichos cultivos deben mantenerse en jarra o baterías de agua de lago o en medios de tierra-agua. Una dificultad con este tipo de cultivos es que ciertos nutrientes se vencen, especialmente algunos elementos críticos para ciertas especies. (Prescott, 1968,377)

3. **Medios de cultivo en algas marinas.** La solución debe tener una gran concentración de nutrientes y luego ser diluida para obtener los porcentajes necesarios en el cultivo. El pH de esta solución debe ser ajustada usualmente a una solución ligeramente ácida o neutra por medio de la adición de KNO_3 . Cualquier combinación de nutrientes que se utilice puede llevar agar. Después de que la mezcla de agar es esterilizada, son colocadas en cajas de Petri y luego enfriadas. Luego por medio del uso de técnicas bacteriológicas la superficie del alga es rociada con un inóculo de cultivo de alga. Esto permite el desarrollo de algas unicelulares o colonias en condiciones insoladas. (Prescott, 1968, 380)

A menos que se tenga una ubicación estratégica cercana al mar para tener el cultivo de algas, es necesario preparar artificialmente las condiciones de agua de mar. El uso de agua natural de mar con propósito de cultivos se ha determinado que no siempre es lo idóneo debido a la precipitación de sales durante la esterilización de la autoclave. En general se ha encontrado necesario adicionar ciertas cantidades de sal en el agua natural de mar para provocar el medio idóneo.

Al crear el medio en base a agua de mar artificial es necesario incluir las sales adecuadas y tenerlas en proporciones correctas. Naturalmente, factores como la temperatura apropiada, la iluminación correcta, el pH y oxigenación deben ser tomados en cuenta. Todas las condiciones mencionadas deben variar en base al tipo de alga que se quiera cultivar, obviamente este diseño se debe hacer una vez se conozcan a detalles las condiciones naturales en las que habita el alga.

Un medio artificial debe ser diseñado para retardar el crecimiento bacterial en el cultivo, un ejemplo de este diseño es la fórmula planteada por Provasoli y luego modificada por McLachlan, esta fórmula es especialmente funcional para fitoplancton y es como sigue:

Tabla 1. Fórmula funcional del fitoplancton.

NaCl	410,000
MgSO ₄ .7H ₂ O	24,000
MgCl ₂ .6H ₂ O	22,000
CaCl ₂ .2H ₂ O	10,000
KNO ₃	1,000
K ₂ HPO ₄	100
Na ₂ SiO ₃ .9H ₂ O	100
FeCl ₃ .6H ₂ O	1.5
H ₃ BO ₃	185.0
MnCl ₂ .4H ₂ O	7.0
ZnCl ₂	0.8
CoCl ₂ .6H ₂ O	0.02
CuCl ₂ .2H ₂ O	0.0002

(Prescott, 1968,381)

Para reducir el costo de la producción, un fertilizante convencional para plantas puede ser utilizado para sistemas de cultivo en masa para sistemas al aire libre. La cantidad de fertilizante a utilizar se base en la concentración final del medio. Al aplicar setenta toneladas por hectárea de fertilizante al año con un contenido de 10% de nitrógeno se asegura mantener la productividad de alga en niveles de 0.1kg/m²/día. Agua de salada de unos tanques es bombeada continuamente desde un tanque de 20m³ y enriquecida con fertilizantes agrícolas. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 116)

E. Nutrición de algas

Estudios químicos y bioquímicas del hábitat del alga han arrojado información acerca de los requerimientos nutricionales del alga. Análisis realizados en floras que crecen en aguas con muchos minerales reflejan tolerancias inesperadas de elementos como el sodio o el calcio, son realmente pocas las especies oceánicas que se han logrado cultivar libres de bacterias en un medio artificial debido a la gran variedad de nutrientes con los cuales cuenta el océano algunos tan inesperados como el sodio y el calcio. (Round F.E. 1973,151)

1. **Carbono.** El carbono es derivado del dióxido de carbono, carbonatos, bicarbonatos y compuestos orgánicos. Debido a que los carbonatos están generalmente presentes en exceso en las aguas naturales, el dióxido de carbono es por lo regular la fuente normal de carbono para la fotosíntesis. Las algas en hábitats acuáticos viven en una solución en la que el dióxido de carbono se presenta en varias formas, el equilibrio depende de la concentración de iones de hidrógeno. Cuando el pH es menor a 5 solamente el CO₂ es de cierta manera importante, entre un pH de 7 a 9 el bicarbonato es de mayor importancia y arriba de un pH de 9.5 los carbonatos comienzan a ser importantes. (Round F.E. 1973,152)

Generalmente se considera que el alga utiliza CO₂ libre en su fotosíntesis pero solamente a pH alto, de 9 de pH para arriba la ausencia de CO₂ libre puede ser considerada como un factor ecológico muy importante; el número de especies es reducido en este nivel además de que muchos otros factores pueden ser factor. El crecimiento de algas bajo condiciones de iluminación y suministro de nutrientes adecuado tiene un contenido de carbono entre 51 – 56 por ciento del peso total. (Round F.E. 1973,153)

2. **Nitrógeno.** El nitrógeno puede ser utilizado por algunas especies de Cyanofita, mientras que otro tipo de Cyanofitas y otros grupos de algas utilizan nitrógeno inorgánico, en particular nitratos, sales de amonio, y en mucho menor cantidad nitritos. Compuestos de nitrógeno orgánico también pueden ser utilizados. En ambientes naturales la principal fuente de nitrógeno son los nitratos y las sales de amonio, sin embargo en aguas altamente contaminadas los compuestos orgánicos de nitrógeno son un factor importante e incluso se sabe que existe una estrecha relación entre la cantidad de productos provenientes del excremento de animales y el crecimiento de ciertos flagelados. (Round F.E. 1973,154)

En cultivos artificiales, el nitrógeno es usualmente suministrado por sales de amonio o nitratos; la mayoría de algas puede asimilar cualquiera de estas dos opciones pero existe evidencia de que las algas prefieren sales de amonio; especialmente si se trata de flagelados incoloros donde no hay presencia de nitrógeno orgánico. Se sabe que el fitoplancton marino contiene nitrógeno en una proporción de 7:42:1 en relación al carbono y al fósforo. Algo interesante es que después del carbono y el oxígeno el elemento con mayor presencia en un alga es el nitrógeno.

La capacidad de absorción del elemento nitrógeno no es una necesidad para el crecimiento de la mayoría de especies, ya que aunque en menor cantidad sus requerimientos son cubiertos por medio de otras fuentes. Algunas especies pueden crecer y adaptar el nitrógeno en medios oscuros si son provistas de azúcares, algunas otras necesitan también pequeñas dosis de molibdeno, esto se hace particularmente necesario cuando la fuente nitrógeno son nitratos. La asimilación de nitrógeno está indirectamente conectada con la fotosíntesis ya que la fuente de energía, es decir los hidrógenos y carbonos son derivados de los siguientes procesos.

3. **Fósforo y azufre.** El fósforo surge en el agua como ortofosfatos y en combinaciones orgánicas. Concentraciones muy bajas de fósforo pueden limitar el crecimiento de algunas especies, pero otras especies absorben fósforo en grandes cantidades y esto les permite sobrevivir algún tiempo en aguas con deficiencia de fósforo. La deficiencia de fósforo en algas resulta en acumulaciones muy grandes de grasa en las algas. Algunos estudios recientes muestran presencia de polifosfatos en algunas especies de algas, como dato curioso se observó que en la luz incrementa el nivel del elemento mientras que en la oscuridad el mismo se reduce.

El elemento azufre se encuentra normalmente presente en pequeñas cantidades en las células de todas las plantas, sin embargo no es un factor que afecte el crecimiento de las algas en condiciones normales. Tanto en agua dulce como en agua salada el azufre se encuentra en forma de sulfatos. (Round F.E. 1973,155)

4. **Calcio y magnesio.** Por muchos años el calcio no era considerado un requisito indispensable para las algas, sin embargo en los últimos años se ha encontrado que algunas especies requieren pequeñas dosis del mismo y el requerimiento real en cultivos es incluso menor al que se encuentra presente en el hábitat natural del alga. La razón por la que se requieren estas pequeñas cantidades de calcio es debido a que sus iones juegan una parte fundamental en el mantenimiento de las membranas citoplasmáticas y la estructura de su pared celular. (Round F.E. 1973,156)

El caso del magnesio es bastante diferente al del calcio, ya que este elemento es un constituyente básico de la clorofila es obvio que todas aquellas algas pigmentadas necesitan de este elemento para sobrevivir. El requerimiento de magnesio es siempre mayor al del calcio en prácticamente la mayoría de especies de algas.

5. **Hierro y manganeso.** Siempre se ha considerado al hierro como un elemento esencial para las algas. Es un elemento clave para su metabolismo siendo un reconstituyente de sus principales moléculas; la velocidad de la fotosíntesis se ve afectada si hay deficiencia de hierro. El hierro existe en forma de iones en prácticamente todas las aguas frescas aunque su concentración en aguas muy alcalinas reduce drásticamente. (Round F.E. 1973,157)

Pequeñas cantidades de manganeso están presentes en cualquiera agua fresca natural jugando un papel importante en el metabolismo del nitrógeno, se considera un requerimiento para todas las algas. La fotosíntesis y el crecimiento del alga pueden ser estimuladas por medio de la adición de manganeso al cultivo, en caso de deficiencia de manganeso en las células de las algas la fotosíntesis se retrasa aunque el efecto negativo en el alga no sea inmediato.

6. Elementos traza y factores orgánicos. El molibdeno, cobre, vanadio y cobalto han comprobado ser todos esenciales para el alga. Estos elementos son requeridos en cantidades muy pequeñas ya que la tolerancia del alga respecto a estos elementos puede ser muy pequeña, por ejemplo el cobre en pequeñas dosis es esencial para el alga, pero en concentraciones muy grandes es considerado veneno. El molibdeno es un elemento esencial para la Cyanofita así como el cobalto combinado con vitamina B12 para muchas otras especies de algas. En algunas especies la deficiencia de boro produce una pérdida de pigmento y una reducción del crecimiento.

Respecto a los factores orgánicos hay tres vitaminas que son requeridas ya sea individualmente o combinadas por un gran número de algas, estas son B₁₂, B₁ y biotina. Se calcula que la cantidad de vitamina B₁₂ en el agua de mar es suficiente para soportar grandes grupos de algas, se ha observado que durante los meses de marzo a junio las cantidades de esta vitamina tienden a bajar y coinciden con el crecimiento de fitoplancton. El crecimiento de un gran número de algas es estimulado por el ácido fólico el cual ha sido constantemente detectado en las células de las algas. (Round F.E. 1973,159)

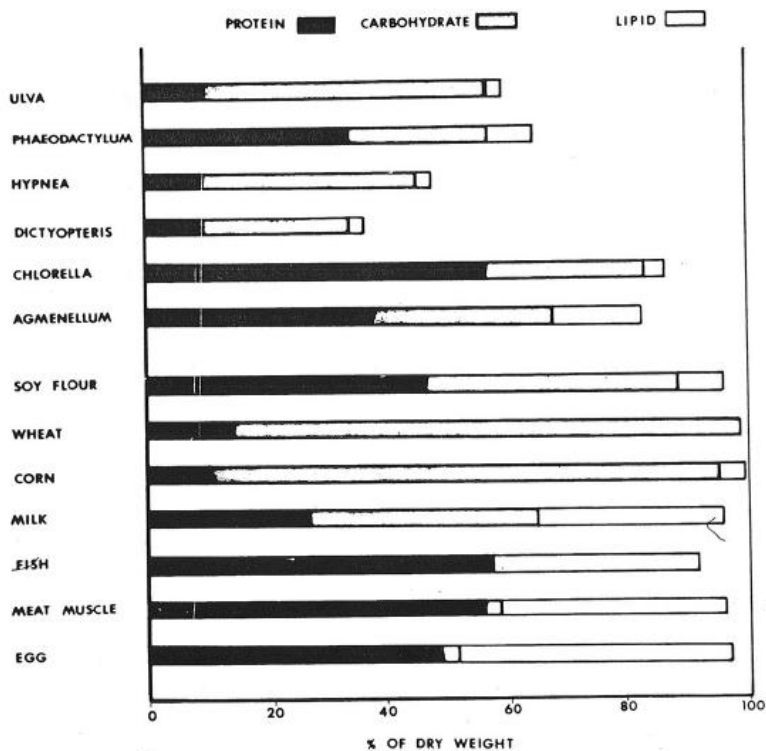
F. Presencia de lípidos en las distintas especies

A continuación podremos observar características de % de lípidos en distintas especies de algas marinas.

Tabla 2. Total de lípidos presentes en las distintas especies de algas

Organismo	%media de lípidos totales
Cianobacterias	
Calothrix	9
Nostoc	7
Oscillatoria	15
Spirulina	11
Algas verdes	
Scenedesmus	22
Chlorella	20
Uronema	21
Selenastrum	25

Figura 1. Composición orgánica del alga y alimentos convencionales



G. Uso de las algas

Los usos de las algas son muy diversos: agrícolas, industriales, terapéuticos, y, principalmente, alimenticios. Las propiedades que poseen ciertas algas de aumentar el volumen en el agua se ha utilizado en cirugía. En Japón forman parte de algunos platos. Algunas algas intervienen en la preparación de sustancias gelatinosas utilizadas para el cultivo de bacterias y hongos, como agentes gelificantes para postres y confituras, como ingredientes en cosmética, dentífricos, etc. De algas marinas se extrae yodo y la combustión de algas origina cenizas ricas en minerales para fertilizar los suelos, además muchas son utilizadas como biomasa para generación de metano y actualmente se busca la extracción de lípidos para la producción de biocombustibles o fuentes de energía renovable. (Ledesma, 2000)

1. **Alimentos.** Las algas se han utilizado como alimento desde tiempos de antaño. En Japón ciertos tipos de algas marinas componen una parte importante de la dieta. Las algas de agua dulce no son consumidas masivamente como alimento más que en algunas zonas de África o América, pero las cultivadas apenas se emplean con ese objeto. En general, su valor nutritivo es elevado, pero presentan problemas de digestibilidad debido a su pared celular de celulosa, pero la deshidratación facilita la digestión. Así, las algas secadas en tambores calientes se digieren mejor que las secadas al sol. (Cobelas, 1989, 43).

2. **Fertilizantes.** El uso de las algas bentónicas marinas como fertilizante es también antiguo. Aunque ya hace tiempo que se haya abandonado este uso en las agriculturas industrializadas. Las algas planetónicas no han sido excesivamente utilizadas en este sentido, pero resultan un fertilizante barato y de simple aplicación, ya que concentran en su interior nitrógeno y fósforo y pueden administrarse a los cultivos mediante riego. La mayor parte del uso como fertilizante se ha llevado a cabo en Asia. En China se han obtenido incrementos del 10-20 % respecto a los campos no fertilizados de este modo.(Cobelas, 1989, 43).

3. **Biocombustibles y aceites.** Las algas están entre los vegetales de más rápido crecimiento del mundo, y casi el 50 por ciento de su peso es aceite, de algunas especies. Como se menciona anteriormente, las algas depositan sus reservas de energía tanto en almidones como en los aceites, cuando las algas se encuentran en un ambiente estresante, convierten su almidón y otros azúcares en aceites, es un modo de guardar esta energía de una manera más prolongada, por lo que se deben de considerar en crear ciertas condiciones de estrés a las algas cuando les va a llegar el momento de recolección, aumentando de esta manera la productividad del alga para la recolección del aceite, este aceite lípido se puede emplear en hacer biodiesel . Así mismo la descomposición de la biomasa de una manera anaerobia, propicia la generación de metano y otros derivados, el metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente. Este proceso que genera biogás es una fuente de energía renovable, que puede ser utilizada como el antepenúltimo procesamiento que se le da a la biomasa de las algas, posteriormente esta materia puede ser compostada y obtener fertilizantes de muy buena calidad. (Brisanti, 2006, 101).

4. **Alcoholes.** La biomasa resultante de las algas es rica en polisacáridos, que pueden ser fácilmente fermentables, con la ayuda de microorganismos que procesan los hidratos de carbono , para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol o metanol, dióxido de carbono (CO₂) en forma de gas y unas moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. El etanol resultante puede ser procesado para diversos usos, ya sea como combustible, alimento, síntesis, o reactivo para el mismo proceso de biodiesel mencionado anteriormente. (Brisanti, 2006, 110).

5. **Farmacéuticos y cosméticos.**En la industria cosmética los aceites de algas son ampliamente utilizados como componentes activos de cremas antiarrugas, expectorantes, relajantes y desparasitantes. (Sin autor, Nivea, 2009)

H. Producción de biomasa de algas

El cultivo a gran escala de las algas ha sido un sueño persistente para los científicos e ingenieros. La idea científica básica se funda en numerosas consideraciones dentro de las que incluimos:

- El crecimiento de las algas se da en tasas bastante grandes y no son muy sensibles a las variaciones del clima como los cultivos tradicionales.
- Las algas pueden ser cultivadas prácticamente en todos los tipos de geografía, desde desiertos hasta localidades marinas.
- Existe una multitud de potenciales aplicaciones incluyendo producción de proteínas unicelulares, tratamiento de aguas, extracción y bio conversión de energía. (Gedaliah S./ Carl S. 1980,344)

Actualmente existe un gran interés en el desarrollo del concepto de la bio conversión de energía por medio del crecimiento, cosecha, secado y extracción. Claramente, toda la energía de la tierra envuelve, en una manera u otra la energía solar, la cual ha sido depositada. Al realizar un balance de energía del proceso de reproducción se puede ver que la cantidad de energía necesaria es mucho menor que la energía producida cuando el alga se encuentre en su punto optimo. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 ,344)

Aunque el balance de energía resulte totalmente favorable el problema radica en la tasa de conversión de la fotosíntesis. Esta tasa de conversión tiene una eficiencia baja, ya que bajo las mejores condiciones la tasa más alta lograda es de aproximadamente entre un 10 – 12 % de la radiación visible almacenada como energía química en la materia, sin embargo son las algas uno de los sistemas más eficientes para la conversión de la energía solar aumentando la tasa a un 20%.

Estudios han definido que bajo condiciones de luz limitada en condiciones geográficas favorables se han obtenido cosechas de 30 a 40 g secos/ m² día, siendo estas el límite superior alcanzado hasta la fecha. Bajo las condiciones mencionadas las algas marinas cuentan con una composición de aproximadamente 50% de proteínas, 30 – 40 % de carbohidratos y 10 – 20% de lípidos. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 ,345).

Al principio del cultivo de las algas a nivel macro se tenía muy poco interés en cultivar cualquier otra especie que las de agua fresca, en especial la *Chlorellasp* y la *Scenedesmus*. Ambas especies con características de crecimiento excelentes. Es por esto que mucha de la literatura existente se basa en estas dos especies. Las algas marinas análogas a las anteriores son las pertenecientes a las *PhaeodactylumTricornutum* . Esta alga por lo general domina la masa de agua marina. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 ,353)

Cuando los nutrientes son proporcionados en las condiciones correctas y la luz solar está presente, la mayoría de las algas muestra cambios consistentes en su composición química llegando a tener 45 – 50 % de carbón, 8- 10 % de nitrógeno, 1 % fósforo. Esto es trasladado a 50% de proteína, 30 % de carbohidratos y 15% de lípidos. El mayor porcentaje de lípidos se obtendrá al someter el alga a condiciones de estrés o si se desea un alga con un alto porcentaje de lípidos se puede utilizar una *Botyrococcusbraunii* , la cual puede ser encontrada generalmente en aguas asociadas con depósitos de petróleo. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 ,355)

La producción de algas parece ser muy similar a la agricultura convencional que a otro proceso de producción de células, pero difiere en cierto puntos críticos.

En la actualidad muchas esperanzas y especulaciones optimistas no pueden ser realizadas tan a prisa como se desea por los científicos y las grandes tasas de producción no pueden ser alcanzadas. Sin embargo utilizando la información disponible y entendiendo a profundidad la ecología del alga podemos pensar en una producción de biomasa a partir de algas más real y cercana.

Debido a que las propiedades del alga juegan un rol muy importante dentro del proceso las características que estas deben cumplir para su adecuada reproducción son las encontradas a continuación.

- Alta tasa de crecimiento
- Alto contenido de proteínas
- Resistencia a los cambios climáticos
- Alto valor nutritivo
- Cosecha y método de proceso sencillo
- Económicamente viable

1. **Alta tasa de crecimiento:** Para el cultivo es necesario el control de muchos parámetros los cuales van desde la cantidad de elementos del medio, temperatura, salinidad, pH, fuente de carbono, agitación, tiempos de residencia, entre otros. Sin embargo es el control de estos los cuales hacen posible ampliar los lugares para producción de algas, ya que una vez se logre controlar el sistema el resto de condiciones tendrán una importancia e influencia menor en el sistema, aunque condiciones favorables volverán más factible el cultivo. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 ,36)

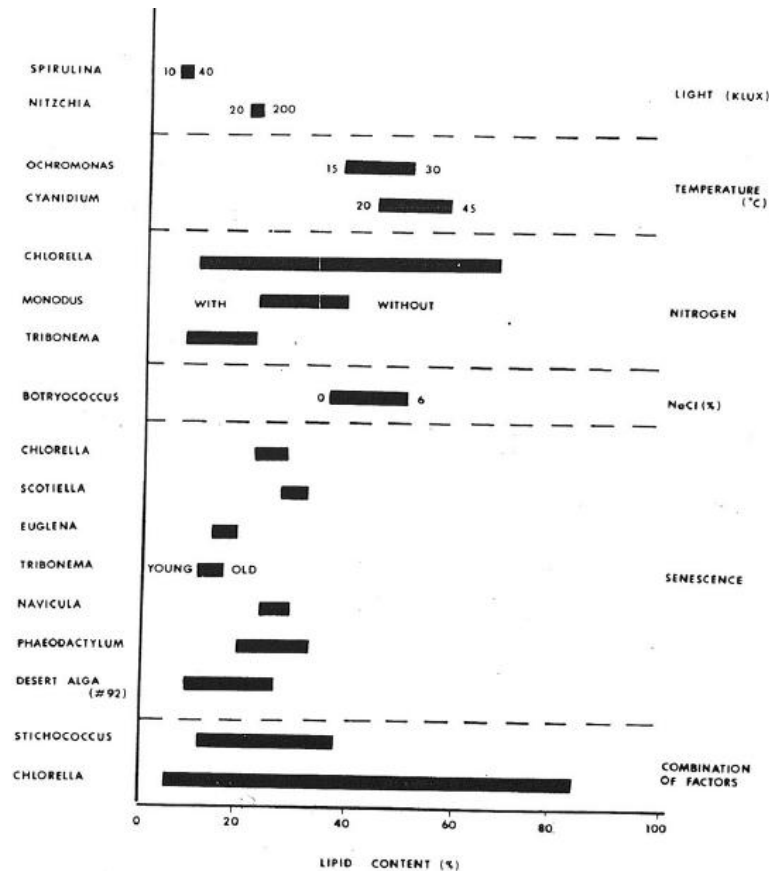
2. **Alto contenido de proteínas:** Dada a la influencia de muchos factores, un descontrol de alguno puede repercutir grandemente en el alga final, brindando alga con deficiencias. Como se vio en el capítulo dos todos los elementos del medio con responsables de una actividad en particular, la cual de no encontrarse provocara pérdidas de biomasa como de características esenciales para el proceso.

De igual forma la hora de cosecha juega un papel primordial. Un alga cosechada por la mañana tendrá entre un 10-15% más de proteínas y lípidos que la misma alga cosechada al medio día. La hora de la cosecha afecta aunque los medios de cultivos sean los mismos. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 ,38)

3. **Resistencia a los cambios climáticos:** Las plantas para el cultivo de algas deben de ser localizadas en áreas con condiciones climáticas favorables. Desafortunadamente, lugares con estas características son raros y escasos, debido a que se deben controlados la duración e intensidad del sol, lluvias,

vientos, fluctuaciones en la temperatura, etc. Dentro de los factores que las afectan, luz y temperatura juegan el rol más importante. Sin embargo más importante que la luz son las fluctuaciones en la temperatura. A altas temperaturas las algas mueren. La temperatura idónea para el crecimiento debe mantenerse en un rango entre 293.15 – 306.15 grados Kelvin. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 ,42)

Figura 2. ambientales en la composición de lípidos



(Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 824)

I. Limitaciones del medio ambiente en la producción de algas en sistemas al aire libre

Se ha sugerido que la producción de biomasa de algas en medios de cultivo específicos o en agua marina pueden constituir un vía de desarrollo económica en áreas desérticas. En estas áreas se puede hacer uso de agua poco útil para riego, como lo es el agua salada. A este factor se une además la luz solar con una intensidad adecuada, aunque a la vez implica un control meticuloso de las fluctuaciones de la temperatura. De forma rápida se observa en la tabla siguiente las limitaciones y posibles cambios para el proceso.

Tabla 3. Limitaciones y cambios para la producción de biomasa de alga

I. Limitaciones actuales para el cultivo de algas
A. infecciones con otros microorganismos
B. Acumulación de compuestos químicos
C. Baja tasa de crecimiento (influencia de la temperatura y de la fuente de carbono)
D. Equipo de agitación
E. Técnicas de cosecha muy costosas
F. Pared celular rígida
G. Altas temperaturas para secado
II. Posibles soluciones y modificaciones
A. Aplicación de pesticidas
B. Monitoreo del medio de cultivo y tratamiento del alga.
C. optima adición de fertilizantes y de fuente de Dióxido de Carbono.
D. Diseño económico de pozas y fuentes de energía.
E. Cosecha por floculación, sedimentación y filtración.
F. Selección de especie de alga con pared celular digerible y fácil de romper.
G. uso de luz solar.

(Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 48)

J. Fuentes de carbono y variación de pH

Debido al alto costo del dióxido de carbono, siendo aproximadamente un cuarto del valor total de producción y a la importancia del mismo para la reproducción adecuada del alga se han investigado distintas fuentes de carbono las cuales proporcionen lo necesario para el crecimiento de las mismas.

Las distintas fuentes existentes son el dióxido de carbono el cual es obtenido de tanques o de industrias aledañas a las pozas, ácido acético con una relación de por cada kilogramo de alga se consumen cuatro kilogramos de ácido acético, compostaje, bicarbonato con aproximadamente 18 kg / m³ y glucosa con una relación de 2 kg de glucosa por kilogramo de alga seca producida.

Es con base a la fuente de dióxido de carbono que el medio de cultivo sufre ciertas variaciones. En la siguiente tabla es posible observar el cambio anteriormente mencionado. El método en el cual se utiliza como

fuerza de carbono el dióxido de carbono es conocido como método autótrofo y en el cual se utiliza como fuerza del ácido acético es conocido como el método mixotrofo.

Tabla 4. Composición del medio para cultivo al aire libre de acuerdo al método autótrofo y mixotrofo.

Compuesto	Medio basal		Mediosuplementario ⁽¹⁾	
	Autótrofo kg	Mixotrofo kg	Autotrofo kg	Mixotrofo kg
Urea	0.3		25	25
Bifosfato de potasio	0.15		6.7	6.7
Sulfato de magnesio	0.15		12.5	12.5
Sulfatoferroso	0.005		0.5	0.5
EDTA	0.007		0.5	0.5
Acidoacético	Nada		50	250
Agua	1000		1000	1000
Dióxido de carbono	Nada		Continuo ⁽²⁾	Nada

(1) Un litro del medio Suplementario se agrega por m³ de cultivo fluido.

(2) Aproximadamente 2kg/h para una piscina con un área de 200 m².

Tabla 5. Efecto de la fuerza de carbono en el nivel de producción del alga

Fuente de carbón	kg/m ² /día
Dióxido de carbón	0.010 – 0.0 15
Acido acético	0.020 – 0.0 40
Glucosa	0.015 – 0.025

(Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 99)

En este tipo de cultivos, el pH puede variar significativamente. El pH se eleva al disminuir la concentración de dióxido de carbono o de la fuerza de carbono utilizada en el sistema. Debido a esto se recomienda controlar la alimentación al sistema y realizarla en distintos puntos de la poza y realizarlo de forma esporádica, cada vez que se registre una variación en el pH. Si el pH se encuentra arriba de 10.5 o por debajo de 7.0 la tasa de crecimiento del alga se verá reducida. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 ,107)

K. Tasa de luz, temperatura y profundidad de las pozas

Al involucrarnos en esto caemos en la tasa de crecimiento en pozas al aire libre. La profundidad de las mismas varía entre 0.2 y 0.3 m, ya que el cultivo a profundidades mayores es muy difícil debido a la baja absorción de luz solar.

Dado la relación tan estrecha entre luz y tasa de crecimiento se ha determinado que con una tasa de densidad relativamente alta de población de algas, aproximadamente de 0.9 kg/m³, solamente los tres

centímetros superiores de la poza, o aproximadamente el 20% de las células reciben luz en cualquier momento, cerca del 80 % restante permanece en completa oscuridad. Al bajar la densidad de población a la mitad la luz solar no penetra más allá de cinco centímetros, dejando a un 60% de las células en oscuridad en cualquier momento del día. Esta relación se mantiene aunque se utilicen concentraciones muy bajas de células, las cuales resultan poco rentables y viables para el proceso, ya que la luz no logra penetrar a más de la mitad de la poza.

Debido a este factor la agitación es necesaria para la reproducción adecuada de las mismas. Al incorporar agitación en las pozas se está modificando el ciclo luz/ oscuridad, el cual es el tiempo que el alga toma para llegar a la superficie con la mayor incidencia de luz y regresar a la oscuridad. Cuanto más rápido sea este ciclo y se realice con mayor frecuencia mayor será la tasa de crecimiento ya que permitirá además un proceso de fotosíntesis más eficiente. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 ,66)

Dado lo complicado de la medición de la penetración de la luz solar en la poza se ha encontrado una relación entre los efectos de la temperatura y la luz con la concentración de oxígeno en la poza. La relación indica que a mayor temperatura y incidencia de luz, mayor será la cantidad de oxígeno en la poza. A cualquier intensidad de luz, la elevación de la temperatura resultara en un incremento de la concentración de oxígeno. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 ,69 y 79).

Tabla 6. Porcentaje de penetración de la luz solar respecto a la profundidad de la poza

Densidad de población	profundidad de la poza (m)	Porcentaje de penetración de la luz					
		10%	16%	22%	28%	34%	40%
	0.01	57	53	47	41	37	35
	0.02	49	41	33	29	20	16
	0.03	43	33	18	16	10	3
	0.04	38	24	8	6	3	0
	0.07	2	2	0	0	0	0
	0.15	0	0	0	0	0	0

(Gedaliah S./ Carl S. 1980 ,66)

Lo anterior pone de manifiesto que aunque las condiciones climáticas no sean completamente favorables y modificables, las responsable en gran medida del crecimiento de las algas , radiación solar y temperatura , pueden ser significativamente controladas mediante la manipulación adecuada de la profundidad, densidad de población y turbulencia de las pozas logrando así un crecimiento óptimo y una cosecha rentable. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 71 y 72).

L. Recirculación y agitación

Esta es una de las consideraciones importantes. Para esta operación son utilizados paletas rotatorias, bombas de tornillo, bombas rotatorias o bombas de desplazamiento positivo y cualquier método mecánico en general. Este sistema tiene la desventaja de producir importantes esfuerzos de corte y daño celular, por lo que se prefiere el uso del método airlift. Sin embargo debido a las bajas velocidades a utilizar en el sistema se puede aplicar paletas rotatorias como una opción viable.

Para la operación se debe asegurar un flujo turbulento que evite el crecimiento en la pared de la poza o la sedimentación de las células, además se busca asegurar un régimen de iluminación favorable para que se dé una fotosíntesis intensa. Velocidades menores a 0.15 m/s casi siempre producen crecimiento en la pared y posibles inhibiciones de crecimiento por las altas concentraciones de oxígeno. Velocidades entre 0.30 a 0.50 m/s son apropiadas en la mayoría de casos.

Las inhibiciones por el movimiento y la generación de oxígeno pueden llegar a representar un obstáculo para el crecimiento, inhibiendo la fotosíntesis. Se pueden llegar a alcanzar concentraciones de hasta 0.0095 kg/m³ de oxígeno durante las horas de mayor energía, lo que representan un 30 % más que la concentración de saturación de oxígeno. La remoción de este oxígeno se considera una opción muy adecuada el sistema airlift en el cual el aire acarrea el exceso de oxígeno en el sistema.

La recirculación se emplea además para controlar la presencia de nutrientes y sustancias inhibitoras del medio, así como para controlar la temperatura del sistema.

Mayores ganancias a nivel de tasa de crecimiento son logradas a partir de un mezclado vigoroso. En sistemas muy pequeños el mezclado es logrado mediante el burbujeo permanente. En cultivo a gran escala al aire libre el mezclado es producido generalmente producido por circulación del agua por medio de un bombeo constante o más comúnmente por una rueda de paletas la cual induce un movimiento horizontal en toda la masa de agua de la poza. (Andersen 2005,506)

En muchas ocasiones el tiempo de agitación no marca una diferencia tan grande en la tasa final de crecimiento, por lo que para cuestiones económicas se puede reducir en un 50% el tiempo de agitación, pero no la cantidad de la misma, ya que esta deberá ser suficientemente fuerte para evitar el ciclo luz/oscuridad. El porcentaje de descenso en la producción final al realizar este cambio es de aproximadamente un 4% tomando 30 minutos de agitación y 30 minutos de reposo. (Andersen 2005,520)

Figura 3. Relación de densidad óptica (OD) contra días

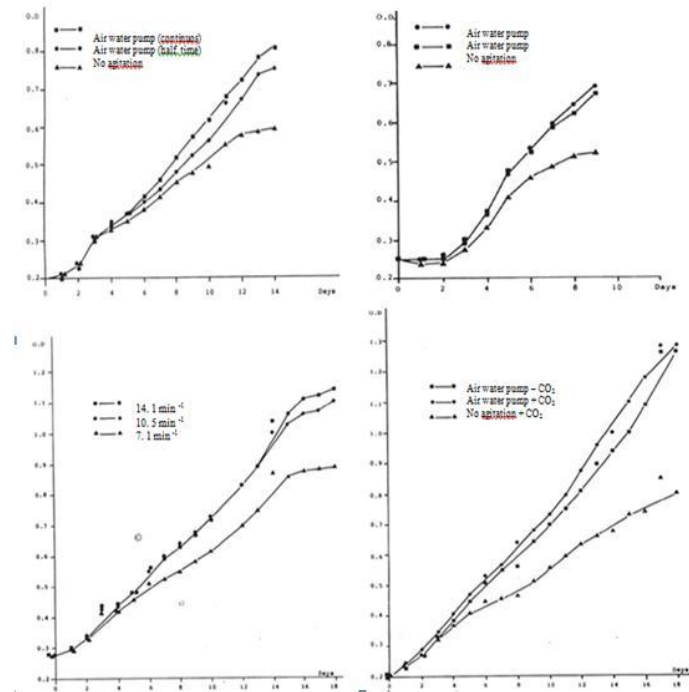
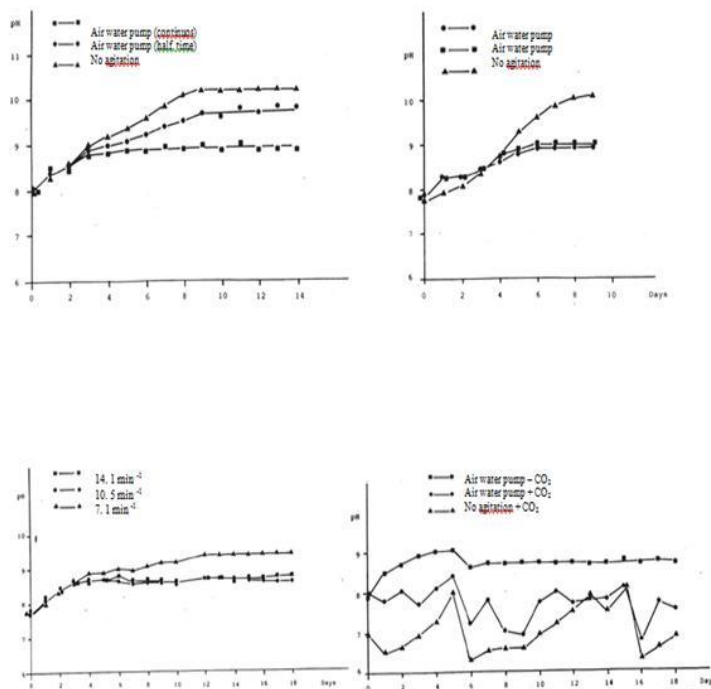


Figura 4. Relación de pH contra días en condiciones de agitación



distintas

(Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 513-517)

M. Métodos para concentración del cultivo

Una vez obtenida la biomasa se vuelve en una necesidad muy grande la forma de captura de las algas dentro de las pozas. Es por esto que se presentan distintos métodos aplicables para dicha operación.

1. **Auto floculación** (Andersen 2005,86): La floculación es la ausencia de agitación continua. Este tipo de floculación no resulta en una cama delgada de biomasa de alga por lo que la separación del sobrenadante no es sencilla. Debido a esto se ha determinado que la forma más sencilla de la separación se da en las primeras horas de la mañana con las algas ya maduras, ya que las algas forman una cama la cual puede ser tomada por medio de un colector con un mesh adecuado.

2. **Uso de floculantes**(Andersen 2005, 86): Para este método es agregado a las pozas un agente floculante como el sulfato de aluminio y el hidróxido de calcio. Este aglomera ciertas células las cuales a su vez multiplican la función dando como resultado la adherencia de la biomasa en un gran aglomerado el cual es de fácil cosecha.

N. Cosecha

Debido a la amplia opción de equipos para dicha operación unitaria se tiene opciones las cuales van desde una separación por medio de tela filtrante con y sin agitación hasta centrifugas.

Dentro de las opciones debido al costo del equipo y al consumo energético posterior la mejor opción para esta etapa será la separación por medio de una tela filtrante con un mesh adecuado la cual no permita la acumulación de la biomasa y una forma sencilla de cultivar y limpiar.

Dentro de los métodos para la producción de biomasa de algas encontramos: (Andersen 2005,98)

- Sistemas abierto con agitación
- Sistemas abiertos con circulación
- Fermentadores cerrados
- Combinación de fermentadores cerrados y sistemas abiertos con agitación. En estos sistemas las algas son producidas en los fermentadores para ser posteriormente transferidos a las pozas donde el contenido de clorofila aumentara significativamente.

Puesto que existen muchos equipos útiles para esta operación y por lo mismo procesos es necesario realizar una comparación tanto de eficiencia, requerimientos de energía, confiabilidad y calidad de bio conversión.

Tabla 7. Comparación de métodos útiles para la cosecha de las micro algas.

Proceso	Eficiencia de cosecha	Requerimientos de energía	Confiabilidad	Calidad de bio conversión
Centrifugación	80	muy altos	Buena	buena
coagulación- floculación – sedimentación	85	Altos	Buena	pobre
Coagulación – flotación	90	Altos	Buena	pobre
coagulación- clarificación – filtración	95	Moderados	muybuena	pobre
filtración directa sin coagulantes	40	Moderados	Pobre	pobre
Descarga intermitente	90	muybajo	no establecido	nada
filtrado con arena	80	Bajo	Pobre	pobre
Separación magnética	95	Muy altos	muybuena	pobre
Ultrafiltración	95	Muybueno	muybuena	buena
Sedimentación oscura y profunda	80	Bajo	Pobre	pobre

Para la cosecha es posible la utilización de un floculante químico. Estos son divididos en dos grupos; los polivalentes donde se encuentran el manganeso, aluminio y hierro los cuales forman hidratos a pH adecuados. Los otros posibles son los polímeros floculantes. Estos floculantes proporcionan un 50% de biomasa cultivada. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 535)

Para la separación de líquidos existen distintos equipos como se puede ver en el diagrama siguiente:

1. Cosecha por fuerza centrífuga.

a. Separador de platos. Este tipo de centrifuga es usado generalmente para la separación de fases a partir de la diferencia de densidades. La concentración deseada es obtenida en un solo paso. El equipo es confiable, pero la inversión y consumo de energía son bastante altos con un consumo aproximado de 1 kWh/ m³. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 552)

b. Centrifuga de espumadera. Este es muy similar al separador de platos. Proporciona una tasa de separación adecuada. La confiabilidad es buena, siendo el único problema su rápida saturación debido al diseño; sin embargo es recomendado. Posee un consumo aproximado de energía de 0.8 kWh/ m³. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 553)

c. Decantador. Este trabaja de forma continua pero necesita una suspensión previamente concentrada. Este equipo logra una concentración de aproximadamente 22%. El consumo aproximado de energía es de 8 kWh/ m³, lo cual es realmente alto de compararse con el bajo porcentaje de concentración obtenido. Es un equipo con una confiabilidad excelente ya que no se observa saturación. Es muy recomendado como equipo para paso secundario de cosecha. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 553)

d. **Hidrociclón.** Su función es bastante simple. La suspensión es bombeada tangencialmente dentro del hidrociclón por medio de presión. Esto causa una rápida rotación de la suspensión, por lo que las partículas con suficiente densidad son prensada contra la pared debido a la fuerza centrífuga y luego son recolectadas en el fondo del mismo. Las bombas de alimentación del equipo tiene un consumo aproximado de energía de 0.3 kWh/ m³, sin embargo solamente logra una concentración del 4% , la cual es muy bajo comparado con el consumo de energía. No es un equipo muy confiable debido a su baja tasa por lo que no es recomendado para la operación. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 553)

Tabla 8. Comparación de métodos útiles para la cosecha de micro algas.

Máquina	Modo de operación	Tipo de concentración	Factor de concentración	Energía consumida por m³	Confiabilidad	Recomendado para la operación
Separador de platos	Bach	un paso	120	1 kWh	excelente	sí
Centrifugado de espumadera	Continuo	Pre concentración	20 - 150	0.9 kWh	buena	Sí
Decantador	Continuo	concentración final	11	8 kWh	excelente	Sí
Hidrociclón	Continuo	Pre concentración	4	0.3 kWh	Mala	No

(Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 554)

2. Cosecha a partir de sedimentación por gravedad natural

a. **Separador de lámina.** Este equipo se vale de láminas colocadas con cierta pendiente la cual asegura el movimiento del fluido haciendo que los sedimentos lleguen a un sumidero donde serán recolectados fácilmente. La ventaja de este equipo radica en lo sencillo de la construcción, lo simple de la operación y el poco espacio requerido para el montaje. Este equipo necesita además de la adición de floculantes para lograr mejor eficiencia en la cosecha, aumentado esto notablemente lo costos. La confiabilidad es bastante baja por lo que no se recomienda para la operación. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 555)

b. **Tanque de sedimentación.** Este equipo consta de un tubo vertical de aproximadamente cuatro metros de altura el cual cuenta con un tiempo de sedimentación de aproximadamente 900 – 1200 segundos por bach, logrando una pre concentración adecuada debido al bajo costo de operación, por esto es recomendada como paso previo en el sistema. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 556)

Tabla 9. Máquinas propuestas para la cosecha de micro algas por sedimentación por gravedad natural

Máquina	Modo de operación	Tipo de concentración	Factor de concentración	Energía consumida por m ³	Confiabilidad	Recomendado para la operación
Láminas inclinadas	Continuo	Pre concentración	16	0.1 kWh y 15 ppm de floculante	Mala	No
tanque de sedimentación	Discontinuo	Pre concentración	15	0.1 kWh y 15 ppm de floculante	adecuada	Sí

(Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 557)

3. Cosecha a partir de filtración por gravedad natural

a. **Micro filtros.** Este equipo es utilizado para las aguas residuales del proceso ya que por tamaño solamente retiene el último micro algas presentes en el efluente. La ventaja de éstas es lo fácil de su función y construcción, sencilla operación, poca inversión, desgaste insignificante debido a la ausencia de partes móviles, bajo consumo de energía. El equipo logra un factor de concentración de 15 con un consumo energético de 0.2 kWh/ m³. La confiabilidad es buena por lo que se recomienda para un pre concentración. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 558)

b. **Filtros con pantallas vibratorias:** El equipo consta de una o varias pantallas las cuales son sometidas a vibración cuyo movimiento logra la separación de la suspensión. El filtro puede trabajar en continuo o en discontinuo, mostrando mejores tasas de concentración la operación discontinua, debido a que no permite la saturación de mesh de las pantallas. Los costos de operación son bastante bajos con una buena confiabilidad por lo que su utilización es recomendada. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 558)

Tabla 10. Máquinas propuestas para la cosecha de micro algas a partir de filtración por gravedad natural.

Máquina	Modo de operación	Tipo de concentración	Factor de concentración	Energía consumida por m ³	confiabilidad	Recomendado para la operación
Micro filtros	Continuo	preconcentración	16	0.2 kWh	buena	Sí
Filtro vibratorio	discontinuo	preconcentración	60	0.4 kWh	buena	Sí

(Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 560)

4. Cosecha a partir de filtrado a presión

a. **Filtro prensa.** Son muy utilizados en la industria debido a su bajo costo de operación tanto de energía como de horas de operación previas a cambio de tela filtrante. Este equipo logra en un aproximado de 5400 segundos en operación discontinua un factor de concentración de 245, la presión necesaria se

encuentra entre 15 – 16 atm (kg/cm²). El equipo es muy confiable, realizando la operación en un solo paso, lo cual lo vuelve bastante recomendable para el sistema. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 558)

b. Filtro de canasta: Estos filtros son empleados en aquellas operaciones donde se poseen muchos sólidos disueltos. Este equipo posee varias ventajas como la longevidad debido a la ausencia de partes móviles y el bajo consumo de energía por lo que se recomienda su uso. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 562)

Tabla 11. Máquinas propuestas para la cosecha de micro algas a partir de filtrado a presión

Máquina	Modo de operación	Tipo de concentración	Factor de concentración	Energía consumida por m	Confiabledad	Recomendado para la operación
Filtroprensa	discontinuo	en un paso	245	0.88 kWh	excelente	Sí
Filtro de canasta	discontinuo	pre concentración	50	0.2 kWh	buena	Sí

(Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 561)

A pesar a existir varios equipos los cuales pueden ser aplicables y útiles para la elección correcta dependerá principalmente de la distribución de la particular a ser concentrada. Otro criterio básico para la selección del proceso de cultivo adecuado es la posibilidad de lograr ajustar el equipo de la densidad de la micro alga para lograr cubrir la necesidad del sistema, así como de los demás equipos presentes en el sistema (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 568, 569)

O. Control de infecciones

Puesto que el sistema a utilizar será al aire libre se debe tener un control sobre las posibles infecciones parasitas. El mayor problema ocurre en condiciones de clima nubladas y lluviosas, ya que estas varían el pH de la poza convirtiéndola en un ambiente adecuado para la multiplicación de los parásitos.

Para evitar este problema se utiliza una mezcla de ácido nítrico y sulfúrico en una relación de 2:1 la cual es agregada al medio siempre y cuando sea agregado en la proporción adecuada para no dañar el pH. Si este sistema ya no es aplicable se recomienda la cosecha del alga a menores concentraciones acortando así el tiempo de permanencia en la poza y por ende la posibilidad de adquirir una enfermedad. (Andersen 2005, 118)

P. Secado

Debido al alto consumo de energía y por ende de dinero, se le ha prestado particular atención al sistema de secado solar el cual combina la utilización de un recurso sencillo y bastante barato. Para esta operación se utilizara el mismo sistema de filtros para la operación. (Gedaliah S./ Carl S. 1980 , 238)

Esta operación nos permitirá tener como producto final un alga lista para ser sometida al proceso de extracción del lípido presente.

III. Justificación

En la actualidad los precios del petróleo tienen una alta volatilidad lo cual provoca crisis económica en el mundo, esto obliga a buscar fuentes alternativas de energía que permitan mantener un balance costo beneficio en las economías de cada país. Es debido a esto que en los últimos años ha crecido la búsqueda por fuentes de lípidos adecuados y viables tanto económicamente como a nivel de tasa y área requerida para el cultivo, ya que muchas requieren grandes extensiones para la siembra y compiten con cultivos de consumo humano.

Como una vía alterna de cultivo para las algas se han propuesto lugares áridos ,costas, con grandes limitaciones para cultivos de consumo diario para ser las tierras usadas para este fin. En base a esta aplicación se realizara un diseño de pozas para la producción de biomasa de alga en sistemas abiertos al aire libre. Este proyecto se evaluara para determinar la rentabilidad de un sistema de este tipo.

Buscar combustibles con base a los lípidos de las algas, es un proceso que ya está bastante avanzado en otros países, sin embargo en la mayoría de los casos se llevan algas de otros ecosistemas lo cual no siempre resulta ser lo adecuado en términos de costos y aprovechamiento de los ecosistemas. En este trabajo se busca utilizar el ecosistema existente en la aldea Rama Blanca, Sipacate para el diseño del sistema de reproducción de las algas así como pruebas de la extracción de lípidos que puedan generar biocombustibles, las ventajas de esto es que se utilizará el ecosistema existente y se buscará definir un método eficiente para la extracción, todo esto tomando en cuenta la necesidad que Guatemala tiene de generar sus propios combustibles y desarrollar investigaciones que puedan generar un beneficio económico a la comunidad.

Independientemente del resultado que se tenga con el estudio de estas algas lo que este trabajo pretende es proponer un diseño para cultivo de las algas así como definir un método que pueda ser utilizado como referencia para otros estudios o la continuación de esta investigación.

IV. Objetivos

A. Objetivos generales

- Proponer un diseño de pozas de producción de algas en sistemas abiertos al aire libre.
- Determinar el método más eficiente para la extracción de lípidos en algas de la aldea Rama Blanca, Sipacate.

B. Objetivos específicos

- Aplicar cromatografía para determinar las características de las cadenas extraídas de las algas.
- Determinar el porcentaje de lípidos extraídos en las algas.
- Optimizar el método a utilizar por medio de pruebas a menor escala en laboratorio.
- Dimensionar los equipos utilizados en el sistema.
- Definir cantidades, tiempos, residencia, humedad total y lípidos extraídos.
- Determinar el tipo de cadena presente en los lípidos extraídos y así determinar si es útil para los biocombustibles.

V. Problema a resolver

Los altos costos de la producción y extracción de lípidos útiles en las algas, han convertido a la fabricación de biocombustibles a partir de las mismas en una opción no viable. Esto se debe a la baja concentración de lípidos, lo cual es debido al tipo de alga, así como en la baja tasa de crecimiento de alga debido a la falta de control de las variables importantes. A esto se le suma la alta demanda de terreno para el cultivo y el complejo proceso para el rompimiento de la pared celular para lograr la extracción efectiva del lípido. Debido a estas limitaciones se han buscado formas alternas de cultivos en extensiones de tierra no apta para otro tipo de siembra, utilizando agua no aplicable para el riego, en este caso agua marina, con un costo de construcción bajo y equipos aptos para el medio ambiente para el cual serán sometidos. Se utilizará alga del medio buscando no variar el ecosistema y promover el desarrollo de producción de biomasa a partir de alga local. El método de extracción permitirá la determinación de presencia de lípidos en porcentaje así como la identificación de la cadena presente y su posible aplicación para el biocombustible deseado.

VI. Metodología

La primera parte del proyecto consistirá en el estudio de los tres métodos a utilizar para la extracción. Las extracciones se realizarán a micro escala en el laboratorio y se utilizará la cromatografía para determinar las características de las cadenas de lípidos que se obtengan de las algas ha estudiar. Para obtener las muestras físicas se realizará recolección de las algas en la aldea Rama Blanca, Sípacate.

Después de realizar los análisis de las pruebas físicas se procederá a definir que porcentaje de los lípidos de las algas pueden ser utilizados para la aplicación de biocombustibles, es decir, se calculará la eficiencia final del alga para la aplicación deseada. Se llevará a cabo el diseño del sistema de cultivo a escala macro para la obtencion de la biomasa necesaria. Los cálculos de diseño se basarán en las relaciones establecidas a nivel experimental como a nivel teórico de los requeriminetos nutricionales como de condiciones de las algas.

Por último se dejará documentado el proceso de extracción utilizando el método más eficiente para ser utilizado como procedimiento estándar de operación para futuros experimentos, así como el costo final del proyecto para establecer la viabilidad de su construcción y puesta en marcha.

VII. Resultados

Tabla 12. Condiciones ideales de operación

Variable	Valor ideal para crecimiento
Tipo de agua para medio	Agua marina
Cantidad de fertilizante a adicionar	71,123 kg anuales por hectárea
Fuente de Dióxido de Carbono	Glucosa relación 2:1 por kilogramo alga seca
Hora de cosecha	Por la mañana
Temperatura del medio	293.25 - 306.15 grados Kelvin
Ph	7-10.5
Altura de la poza	0.30 metros máximo.
Velocidad agitador	0.50 m/s
Tiempo de agitación	Permanente

Tabla 13. Porcentajes de rendimiento en base a distintos métodos de extracción.

Método de extracción	Porcentaje de rendimiento de la extracción
Prensa hidráulica y centrifugación	0 %
Prensa hidráulica y hexano como solvente	0% (únicamente sal como resultado)
Prensa hidráulica, secado al sol y soxhelt.	2%
Licuada, prensa hidráulica, secado al sol y soxhelt	5%
Microondas por 45 segundos y prensa hidráulica	3%
Microondas por 30 segundos y prensa hidráulica	2.87 %

Tabla 14. Tipos de cadenas presentes en lípido extraído

Tipo de cadenas presentes en cromatografía de gases con derivatización previa.
Ácido Linoleico
Ácido Mirístico
Ácido Linolénico

Figura 5. Cromatografía de aceite extraído

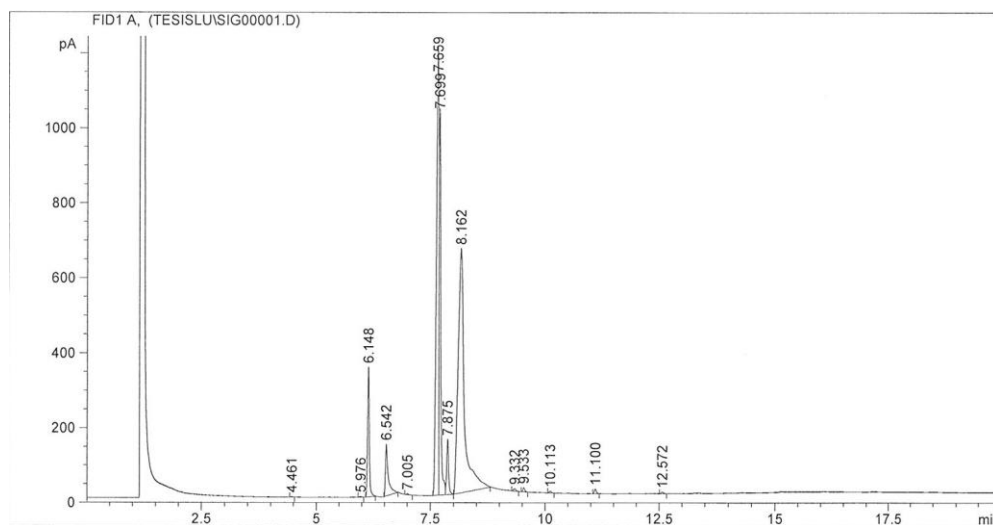


Tabla 15. de combustión de aceite de algas extraído de los sistemas acuáticos de la aldea Rama blanca, Sipacate donde se realizará el proyecto contra otros productos utilizados actualmente para biocombustibles.

Clase de aceite	Calor de combustión (kJ/g)
Oliva	38,76
Canola	38,52
Soya	38,37
Palma	38,30
Microalgas	38,72
Diesel	43,60

Tabla 16. Viscosidad dinámica absoluta de aceite de microalgas extraído de los sistemas acuáticos de la aldea Rama blanca, Sipacate donde se realizará el proyecto contra otros productos utilizados actualmente para biocombustible

Clase de aceite	Viscosidad (cP, a 40 °C)
Aceite de palma	38
Aceite de canola	33
Aceite de maíz	31
Aceite de soya	26
Aceite de microalgas	36,6
Diesel	2,60

Figura 6. Diseño de poza

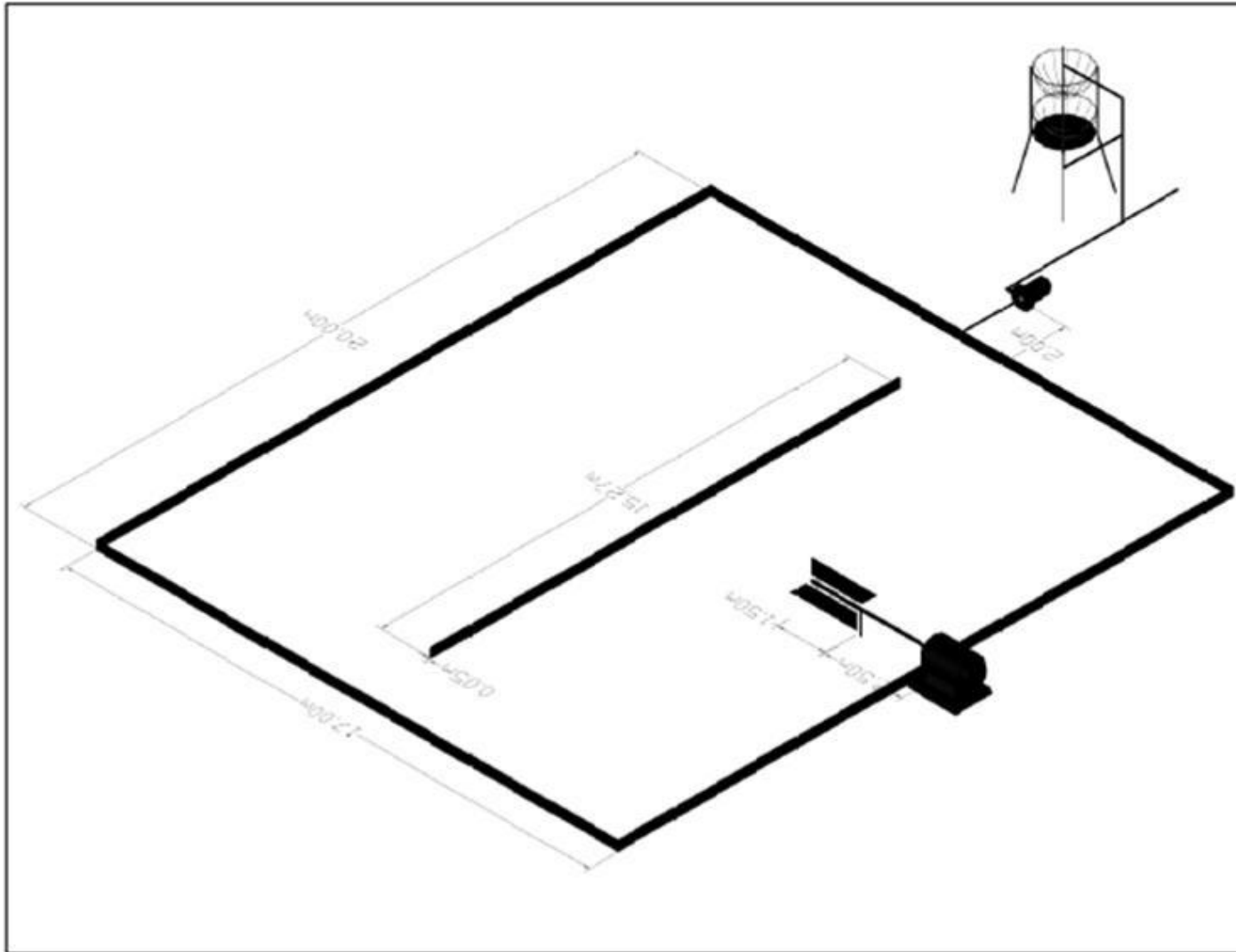


Figura 7. Plano de diseño de poza

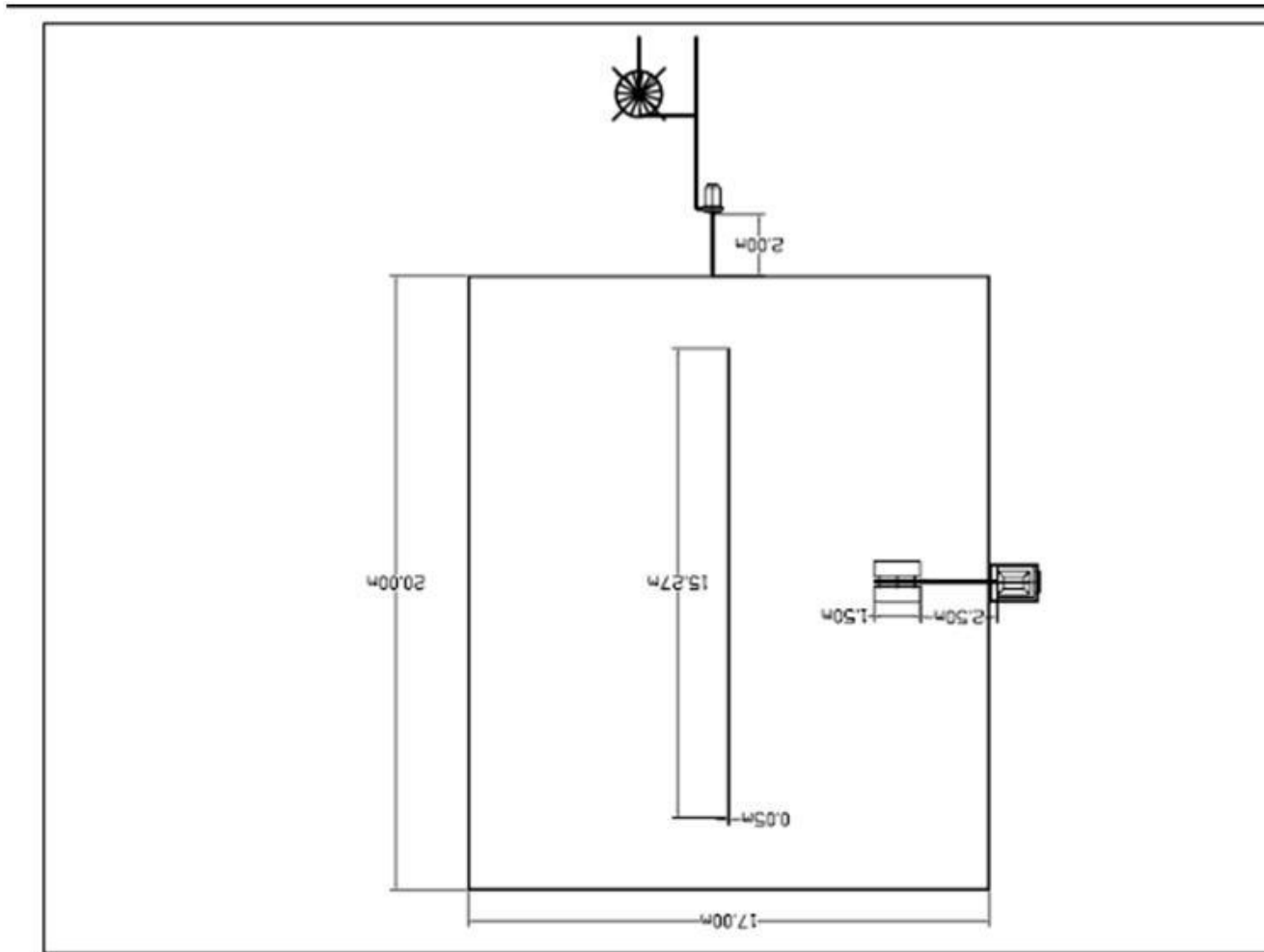
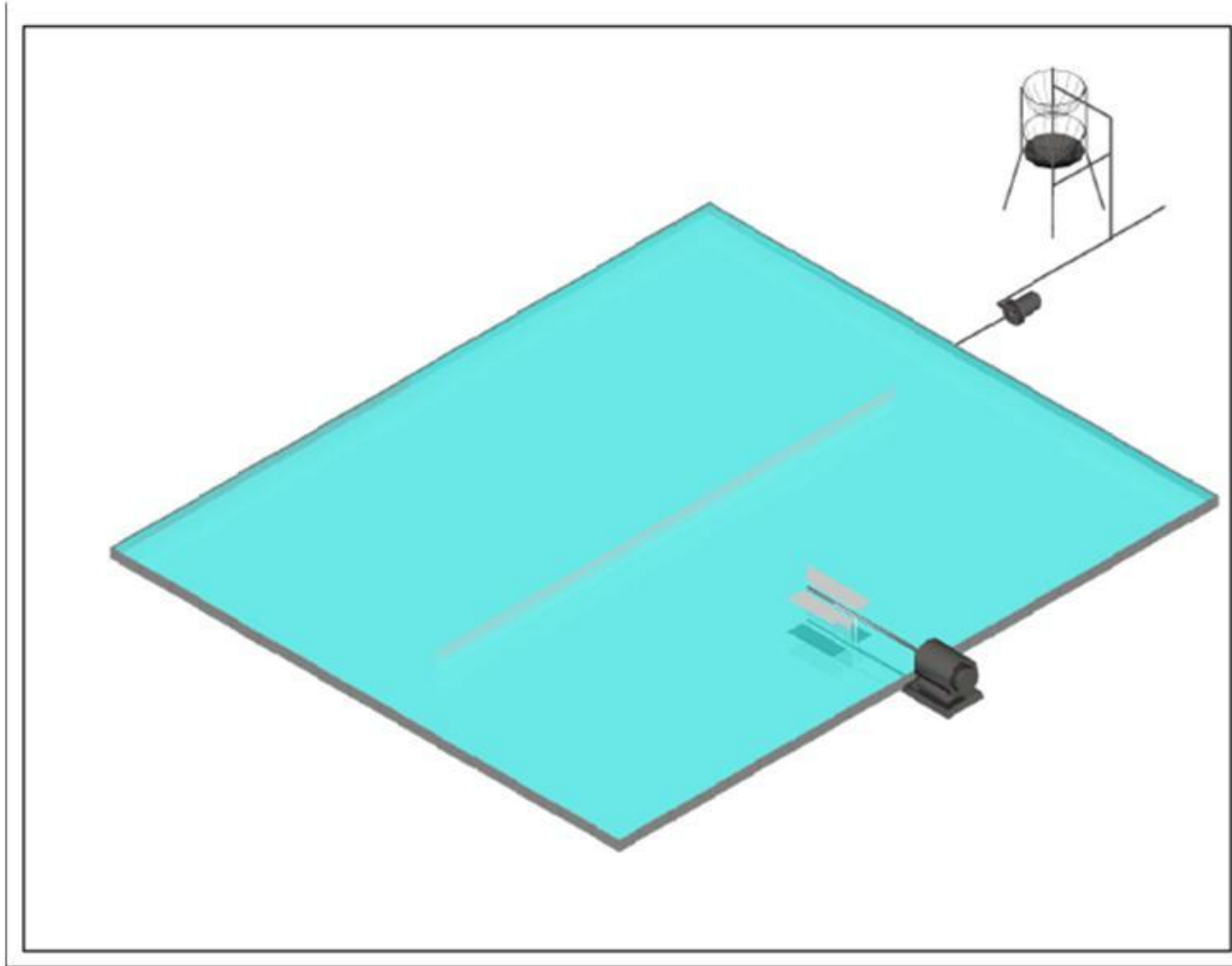


Figura 8. Diseño tridimensional de poza



VIII. Discusión

Este trabajo se realizó con el objetivo de proponer un diseño de pozas de producción de algas en sistemas abiertos al aire libre y para determinar el método más eficiente para la extracción de lípidos en algas de la aldea Rama Blanca, Sipacate. Para lograr estos objetivos se llevaron a cabo jornadas de recolección de algas en el sitio, práctica a nivel laboratorio y posterior diseño de un sistema controlado para la recolección de las mismas el cual se hizo por las deficiencias encontradas en el sistema de cultivo actual y por los resultados obtenidos en las distintas pruebas.

La investigación surge debido a la búsqueda de fuentes de energía alterna que cumplan con menores áreas de cultivo, mayores rendimientos, utilización de recursos actualmente poco aptos para la siembra así como condiciones climáticas menos favorables. Debido a esto en julio de 2008 se inician las pláticas para la realización del proyecto; durante éstas se delimitó el área y los lugares a muestrear por lo que en enero 2009 se inicia el proyecto para la determinación de un método útil para la extracción de lípidos para la fabricación de biocombustibles; sin embargo al irse desarrollando la investigación se van observando muchos cambios en las algas debido a la falta de control de los factores los cuales inciden directamente en las características y porcentajes de lípidos presentes. Esto se debió a que las algas crecían como producto secundario dentro de las salineras por lo que la importancia de las mismas era menor, esto provoco medios de cultivo con pH no adecuados, temperaturas muy elevadas de aproximadamente 315.15 grados Kelvin y una agitación inexistente lo cual hacia que la mayor parte de las algas sufrieran grandes quemaduras por el sol, otras modificaban notablemente su composición debido a la salinidad del medio haciendo que estas fueran muy resistentes a los cambios pero con porcentajes de lípidos muy bajos para la operación. Como último factor no controlado se encontraba el agua del cultivo, ésta era sacada directamente del mar sin ningún tipo de control de sólidos por medio de filtros ni se realizaban controles de los elementos presentes en la misma para determinar la composición del medio de cultivo y así enriquecerlo para llegar al punto ideal así mismo permitía el ingreso a las pozas un sin número de especie distintas las cuales competían permanentemente en las pozas de la salinera. Las variaciones fueron aumentando conforme los cambios climáticos y al iniciar la época lluviosa la reproducción se vio afectada por lo que la investigación fue modificada debido a la falta de algas y se decidió ir al origen de las variaciones y proponer un diseño de pozas rectangulares, abiertas con agitación, esto fue realizado a solicitud del dueño de la salinera a sabiendas de que este no es el sistema más adecuado para la producción de biomasa, la cual brinde las condiciones adecuadas para el cultivo y lograr así tener las mismas algas y más adelante poder continuar la investigación sobre métodos de extracción de lípidos para la producción de biocombustibles ya que la actual investigación se encuentra totalmente parcializada e incompleta.

Los métodos de extracción utilizados fueron extracción mecánica y extracción química mediante la utilización de solventes. En las diferentes pruebas se hicieron distintas variaciones en la cantidad de tiempo, en el orden de las etapas y en la adición de algunas nuevas. Los distintos métodos utilizados fueron extracción

por prensa hidráulica y centrifugación de él líquido extraído en esta prueba el rendimiento para la extracción del lípido fue cero, luego se probó una extracción por medio de la utilización de una prensa hidráulica y aplicación de hexano como solvente, esta prueba fue decantada y formo una emulsión la cual se trato de deshacer por medio de calor dando únicamente sal como resultado final de la operación. El tercer método empleado fue la aplicación de extracción mecánica por medio de una prensa hidráulica, el secado al sol posterior y la aplicación de soxhelt se dejó recircular hexano durante varias horas, el resultado final fue un dos por ciento de rendimiento. Debido a que la operación anterior produjo un resultado mejor que los resultados anteriores se aplico nuevamente el método con la adición de un licuado del alga para lograr romper la pared celular la cual vuelve más compleja la extracción del lípido el resultado final fue un cinco por ciento de rendimiento. En vista que los porcentajes obtenidos en las distintas pruebas fueron muy pobres y el aceite resultante fueron del tipo secante se inicio el proceso de prueba con el método de microondas. Las pruebas realizadas involucraron una extracción mecánica por medio de una prensa hidráulica y la variación en tiempos expuestos a altas temperaturas. Los tiempos fueron 45 segundos, 30 segundos y 25 dando un rendimiento de tres por ciento , 2.87 y cero por ciento respectivamente. El último método no pudo ser probado debido a la falta de algas para la extracción. En todas las extracciones realizadas se pudo observar bajos rendimientos debido al tipo de alga utilizada así como a las condiciones mencionadas al inicio.

Una muestra del mismo fue sometida a cromatografía de gases, Los resultados obtenidos nos proporcionaron bastante información. Una vez delimitadas las cadenas presentes se determinó presencia de ácidolinoleico, linoléico y mirístico. El ácidolinoleico y linoléico se polimeriza con facilidad, lo que le confiere propiedades secantes. Este se encuentra como éster de la glicerina en muchos aceites de semillas vegetales, como los de linaza, soja, girasol y algodón. Se utiliza en la fabricación de pinturas y barnices dada sus propiedades secantes. Puesto que en ambos casos es un aceite presente en semillas ya utilizadas en producción de biocombustibles.

Con base a los requerimientos del dueño de la salinera el diseño propuesto se basó en el área disponible y en el tipo de alga presente en el área. El alga a utilizar poseía un contenido muy bajo de lípidos, esto se sabía desde el inicio de la investigación por lo que se recomendó utilizar especies con mayores porcentajes de lípidos reportados anteriormente, sin embargo no se cambió de especie ya que no se deseaba la incorporación de especies nuevas en el ecosistema. El volumen de las pozas fue calculado basándose en la producción de un kilogramo de aceite por cada una. Este cálculo se realizó bajo las características actuales del alga, el 46% de humedad y el 15% de lípidos sobre biomasa seca. Las pozas tendrán un volumen de 102.5 m^3 , una largo de 20 metros, un ancho de 17 metros un espesor de 0.05 metros y una altura de 0.30 metros, ésta es la altura máxima permitida para evitar el ciclo luz / oscuridad el cual no permite el ingreso de sol y reduce la tasa de crecimiento aumentando la acumulación de biomasa muerta. El número total de pozas en el área estipulada será de 29 pozas. Las pozas serán llenadas con una bomba centrífuga plástica o de alguna aleación de Titanio de tres Hp , 1500 rpm un impeler de 0.24 metros y una succión y descarga de 0.10 metros , el motor será de cinco Hp con una eficiencia de 60 % , una carga de 0.02 metros y un NPSH de 2.20m. En el sistema se

tendrán cinco bombas en serie las cuales succionaran directamente del mar, la tubería tendrá filtros para evitar el ingreso de arena y algas mayores a las pozas las cuales puedan dañar el cultivo presente, toda la tubería a utilizar será de PVC cedula 80 , solamente esta tubería nos permitirá seguridad dadas las condiciones de operación. El medio de cultivo a utilizar será fertilizante foliar como suplemente del agua de mar. El método utilizado para la cosecha será mediante la utilización de la misma tubería de ingreso del agua y por la misma bomba. Esta agua con el alga será transportada hasta un filtro de canasta con 14 tamices los cuales serán capaces de retener toda el alga. Ésta será secada en los mismos tamices por medio de luz solar y empacada posteriormente para ser empacada y enviada al lugar donde será extraído el lípido.

La agitación será proporcionada por aspas, ésta serán de un metro y medio de largo con una altura de 0.25 metros, las aspas serán de polipropileno y el eje de PVC, en este equipo es de vital importancia mantener un control adecuado sobre las revoluciones por minuto ejercidas por el motor de las aspas, ya que de ser menor a las 25 rpm permitirá la sedimentación y acumulación de biomasa muerta en las paredes , ya que no permitirá la rotación adecuada para el cambio del ciclo luz / oscuridad, el motor para esta operación será de dos caballos y medio, el aspa estará sostenida por tres sostenedores con sus respectivos cojinetes los cuales ayuden a sostener y dar soporte al equipo. Debe tenerse en mente que mayor revoluciones por minuto tampoco favorecerán al crecimiento ya que dadas las altas velocidades puede dañar a las algas presentes. Dada el área con la que se cuenta para el cultivo la utilización de pozas las cuales abarquen el área total presente no es una opción ya que la cantidad de biomasa producida hace la operación muy cara y poco competitiva. La alternativa más recomendada dadas las condiciones, tanto de espacio como atmosféricas es la construcción de reactores tubulares de forma vertical en donde el área será aumentada y los controles de condiciones ideales de crecimiento podrán ser controladas ya que serán sistemas cerrados al aire libre.

IX. Conclusiones

A. El método más eficiente para la extracción de lípidos a partir de algas marinas de la aldea Rama Blanca, Sipacate es el de prensado con uso de solventes, a pesar de un bajo rendimiento.

B. Al alga marina que se encuentra en la aldea Rama Blanca, Sipacate en su estado natural solamente se le puede extraer un 15% de lípidos funcionales para producir Biodiesel según muestra previa a pruebas realizadas en laboratorio.

C. Las algas marinas tienen como gran ventaja la densidad de cultivo y la facilidad de inducir los medios para cultivarla, en estos aspectos muestran una notable mejora versus la *Jatropha* y otro tipo de semillas.

D. El aceite de alga marina se hará más rentable que el petróleo en el momento que el precio del barril de petróleo supera los \$75.

E. Un diseño de pozas en condiciones de alta salinidad requiere uso de PVC y polipropileno en los equipos y accesorios que se utilicen, esto con el fin de reducir las fallas y costos de mantenimiento.

F. El costo no es el único factor a considerar a la hora de tomar una decisión de utilizar biodiesel de aceite de algas marinas, el factor emisiones al ambiente, área de cultivo, alta tasa de crecimiento y estabilidad de precio son consideraciones muy importantes.

G. Con los precios actuales del petróleo, la inversión inicial y el porcentaje de lípidos que se puede extraer con el alga marina de la aldea Rama Blanca no es rentable construir las pozas debido al poco volumen de lípido que se puede extraer de las mismas.

X. Recomendaciones

A. Dentro de las recomendaciones más claras y necesarias está la utilización de un alga con un porcentaje mayor de lípido, ya que el alga utilizada actualmente tiene solamente un 15 % de lípidos sobre el peso seco de la biomasa, lo cual hace necesaria una gran cantidad de biomasa para lograr una cantidad adecuada de lípido extraído.

B. Para lograr un alga específica dentro de las pozas con las mismas características se recomienda comprar una cepa pura para la siembra posterior o de no querer traer alga de otro lugar lograr el aislamiento de una cepa con alto contenido de lípido y se la utilizada para la siembra.

C. Una vez el alga ha sido inoculada en la poza mantener un control adecuado de las variables importante. Se recomienda la toma sistemática de los valores de pH, temperatura así como de los nutrientes presentes en el agua de cultivo, ya que de esto dependerá el crecimiento adecuado de las algas.

D. Si el sistema de cultivo diseñado en el presente trabajo será el elegido para la construcción se recomienda un mantenimiento adecuado de las tuberías y bombas ya que debido a lo abrasivo del medio estas sufrirán un alto desgaste reduciendo así su vida útil de aproximadamente cinco años.

E. Para la extracción de lípidos se pudo observar que dado el bajo porcentaje de lípidos presente realmente el rendimiento con los métodos probados fue muy bajo. A esto se le sumó además el poco control de crecimiento de las algas lo cual modifico notablemente las características de las mismas dando algas muy distintas en cada muestreo. Este descontrol de debió al bombeo directo del mar sin importar el alga que ingresara, así como a la falta de movimiento y a los bajos valores de pH y altas temperaturas. Una vez controlado esto se recomienda la utilización de un método de golpeteo inicial para el rompimiento de pared celular, seguido por una extracción mecánica para finalizar con una extracción por solventes la cual logre retirar la mayor cantidad de lípidos.

F. El solvente recomendado para la operación es el hexano debido a sus propiedades y al costo accesible del mismo.

G. Como método alternativo de extracción del lípido en la biomasa seca se recomienda el método de microondas. En este método la biomasa debe ser sometida durante un corto tiempo a temperaturas elevadas las cuales logren ablandar en gran medida la pared celular para luego ser sometidas a un prensado mecánico el cual logre extraer de forma más sencilla el lípido presente.

H. De no hacerse modificaciones en el tipo de alga a sembrar el proyecto no será viable desde cualquier punto de vista, ya que no se logrará hacer un aceite que logre competir con los utilizados actualmente.

I. La cadena de aceite encontrada en la muestra extraída puede ser utilizada para biocombustibles aunque se recomienda ser utilizada en la fabricación de pinturas como aceite secante.

J. Por último deseo recalcar la importancia de la continuidad de la investigación ya que debido a la falta de algas la determinación del método no pudo ser finalizada y muchas pruebas quedaron pendientes por lo que este trabajo busca por medio de una propuesta de siembra y vigilancia adecuada de las algas lograr obtener algas con características controladas las cuales puedan volver a realizarse pruebas futuras para tener información más certera y útil , ya que de lo contrario cada muestreo es el inicio de una nueva investigación.

XI. Bibliografía

- Andersen, R. 2005. *Algal Culturing Techniques*. Elsevier Academic Press. China. Pp. 578.
- Barsanti, L. y P. Gualtieri. 2006. *Algae. Anatomy, Biochemistry and Biotechnology*. Taylor and Francis
Tour.EstadosUnidos. Pp. 301.
- Bligh, E.G., Dyer, W.M., 1959. *A rapid method of lipid extraction and purification*.
- Chisti, Yusuf. 2007. *Biodiesel from microalgae*. Biotechnology Advances 25. Págs 294-306
- Cravotto, G., Boffa, L., Mantegna, S., Perego, P., Avogadro, M., Cintas, P., *Improved extraction of vegetable oils under high-intensity ultrasound* 2008.
- G.W. Prescott, 1968. *The algae: A review*. Houghton Mifflin Company Boston. Pp 376
- Geciova, J., Bury, D., Jelen, P., 2002. *Methods for disruption of microbial cells for potential use in the dairy industry – a review*. Int. Dairy J. 12, 541–553.
- Gedaliah S./ Carl S. *Algae Biomass production and use*. Elsevier- North Holland. Holland 1 980.
- Harold C. Bold/ Michael J. Wynne 1978 *Introduction to the Algae*. Prentice Hall. New Jersey Pp 706.
- Mc. Cabe 2007 *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Mc. Graw Hill. Mexico Pp 131.
- Lee, J.Y, *et al. Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae*. Bioresour. Technol. (2009), Elsevier Academic Press.:10.1016/j.biortech.2009.03.058
- Round F.E. 1973. *The Biology of the Algae*. Edward Arnold. Gran Bretaña. Pp 108-158

XII. Apéndice

A. Metodología de extracción

1. Extracción de aceite por muestra en cromatografía. Como punto clave para la determinación de la utilidad del alga para la producción de biocombustibles y como punto de partida para la construcción y dimensionamiento del sistema de cultivo se realizó una extracción mecánica. La extracción fue hecha por medio de un prensado sin la utilización de ningún tipo de solvente para favorecer el transporte hacia el exterior. El aceite fue recolectado y una muestra del mismo fue sometida a un estudio de cromatografía de gases para lograr establecer el tipo de cadena de los lípidos y por ende su uso.

La muestra fue derivatizada y disuelta en heptano para lograr la condición necesaria para su lectura en cromatografía de gases. Se realizaron dos inyecciones en el cromatógrafo para cerciorarse del resultado. La cromatografía resultante mostro un pico bastante definido en el área de las cadenas de 18 carbonos. Teniendo así la muestra una presencia fuerte de ácidolinoleico, y linolénico. También se pudo observar un pico definido en el área del ácidomirístico.

2. Métodos de extracción de lípidos a partir de algas. En la actualidad dada la importancia se realiza el proceso de extracción de aceite de las algas. La acumulación de lípidos en las algas se produce durante períodos de stress ambiental. Para inducir stress en el cultivo de las algas, una de las estrategias es disminuir la ración de compuestos nitrogenados o inducir variaciones en la temperatura, pH etc. La extracción del aceite básicamente es extraer el alga de su medio de cultivo (a través de un proceso de separación adecuado) y luego usar las algas húmedas para extraer el mismo. Existen distintos métodos conocidos para el proceso de extracción de aceite de las algas siendo los propuestos para el presente trabajo.

a. Pre- prensa con hexano. Las algas son prensadas para lograr una extracción de forma mecánica. Luego estas mismas son secadas y combinadas con solventes para lograr la extracción deseada; con este secado se lograra la eliminación del agua en la biomasa, pero no del lípido. El solvente a utilizar será el hexano siendo este uno de los solventes de extracción favoritos, debió a lo económico de su precio y a su gran aplicación. Una vez que el aceite es extraído con una prensa se utiliza el hexano para extraer el contenido remanente de aceite en el alga, el cual probablemente no pudo ser transportado a lo largo de la torta de biomasa, por lo que el solvente y el agua remanente podrá ser utilizada como vehículo para la extracción reduciendo en un buen porcentaje las pérdidas en la torta. Una vez obtenida la mezcla de agua, hexano y aceite de la extracción será destilado para lograr separación adecuada del solvente y el agua del aceite del alga. (Bligh 1959, Página 911-917)

b. Microondas a altas temperaturas. En este método el alga es sometida a altas temperaturas y a microondas durante un tiempo corto. La alta temperatura de operación logrará el rompimiento de la pared celular. El rompimiento de la misma permitirá que al realizar la extracción de forma mecánica no se utilice ningún solvente y se logre la menor pérdida de aceite residente en la torta al realizar el

prensado. Por este método el alga no pasa mucho tiempo expuesta a las microondas, ya que serán solamente una etapa rápida dentro del proceso. El factor determinante para el éxito de este método es la temperatura la cual logre alcanzar, deseándose alta de preferencia. Debido a lo complejo del rompimiento celular se ha implementado como otra opción a tomar el tratamiento previo de golpeteo o corte de la biomasa la cual de correrse a altas velocidades lograra en una buena medida disminuir la cantidad de paredes celulares intactas y por ende de una menor extracción. (Bligh 1959 , Pagina 911-917)

c. Ósmosis. Para este método se utilizará una solución bastante alta de cloruro de sodio para lograr así un shock en el alga, ya que dado el principio que rige la ósmosis con este método se estaría logrando un rompimiento de la membrana semipermeable y por ende la liberación total del fluido contenido obteniendo así el agua y el aceite la cual la componen.

El método busca el aumento de la eficiencia de la extracción y además convertirse en el más sencillo tanto de operación como de aplicación. Sin embargo no en todas las situaciones resulta aplicable ya que las algas son organismos con una adaptabilidad muy alta. Esta alta adaptabilidad representa una barrea muy grande para el método. (Bligh 1959 , Pagina 911-917)

Una vez se determinaron los métodos a utilizar se inicio el muestreo para la realización de pruebas. Para la realización de un muestreo lo mas sistemático y ordenado posible se muestreo en distintos puntos eligiendo las algas a simple vista, debido a que la primera elección se baso únicamente en un parámetro visual a nivel físico superior se realizo un registro fotográfico de las muestras a nivel microscópico.

A continuación explicare de forma general las distintas pruebas realizadas y los porcentajes de rendimiento obtenidos.

1. Extracción de aceite mediante la utilización de una prensa hidráulica. En esta prueba el alga fue colocada con un contenido de humedad medio dentro de una pieza de manta natural. La muestra fue sometida a la prensa hidráulica donde por medio de un proceso de prensado o exprimido se extrajo un liquido verdoso proveniente de la torta. El líquido de color verde oscuro se recolecto en un beaker para luego colocarlo dentro de una ampolla de decantación asumiendo que de existir aceite y agua en la mezcla esta se separaría por densidades. La muestra se dejó reposar durante doce horas las cuales no lograron ningún cambio visible en la mezcla. Al ver esto se utilizó la centrífuga para ver si de alguna manera ayudaba esto a la separación. El líquido extraído se dejó centrifugar por media hora dejando la muestra sin cambio aparente. Los resultados en esta prueba fueron muy malos, por lo que esta prueba no proporcionó ningún porcentaje de rendimiento.

2. Extracción de aceite por medio de prensado y aplicación de hexano como solvente. Para esta prueba se realizó el prensado de la misma forma que para la extracción numero uno. En

esta ocasión se agrego hexano como solvente para lograr entrar a la célula mediante el rompimiento de la pared celular y lograr la extracción del lípido utilizando el solvente como un vehículo dentro de la torta. La torta fue colocada previamente al prensado en un beaker con hexano. Esta absorbió la mitad del contenido de hexano; posteriormente la torta fue colocada en la manta y sometida a la presión. Se logró la extracción de un líquido verdoso, muy similar al de la prueba uno. Este líquido se colocó en una ampolla de decantación en donde se separó. Se lavó cada muestra tres veces, colocando la capa deseada en los tubos de centrifuga. La muestra fue centrifugada durante 15 minutos dando como resultado un líquido con tres fases claramente delimitadas. Una de las fases era claramente agua, otra el solvente y una intermedia la cual parecía estar emulsionada. Las capas fueron separadas. La emulsión fue sometida a un calentamiento para tratar de romper la emulsión mediante la evaporación del agua, la cual en presencia de aceite la produjo. Ésta fue calentada a temperaturas bajas durante tiempos largos para evitar la pérdida por volatilidad del lípido presente. Luego de cinco horas de calentamiento se obtuvo solamente sal.

3. Extracción de aceite mediante la utilización de una prensa hidráulica con un proceso posterior de secado al sol y la utilización de soxhelt. Para esta prueba la torta de alga fue sometida a la prensa hidráulica. Aquí se eliminó el exceso del agua. La torta extraída de la prensa fue colocada sobre una lámina al sol para realizar el secado de la muestra. La torta fue secada debido al paso último al cual se sometió, ya que el sistema de soxhelt, destilación por medio de arrastre de vapor y solvente, posee una mejor eficiencia al trabajar con material seco el cual ha perdido el agua, pero no los lípidos presentes.

El alga ya seca se coloca en un cartucho de papel filtro y se hizo circular por el soxhelt hexano, se dejó recircular el solvente durante 8 horas dando como resultado una pequeña muestra de aceite con un 2 % de rendimiento. El aceite resultante era una pequeña muestra de aceite secante muy aplicable para la industria de pinturas. La muestra confirma por primera vez parte de los resultados los cuales dieron inicio a las pruebas, ya que tal como lo muestra la cromatografía si existe la presencia del ácido linoleico, aplicable también en la industria de pinturas y de biocombustibles por encontrarse dentro del tipo de lípido presente en las semillas de cultivos utilizados en la actualidad.

4. Extracción de aceite por medio de secado, licuado y soxhelt. Puesto que en la prueba tres el soxhelt dio resultados positivos se propuso como método adecuado de extracción, por lo que utilizo nuevamente para esta prueba. En este caso el alga se licuó para tratar por medio del golpe romper las paredes celulares y lograr una mejor extracción del aceite. el alga licuada fue colocada sobre la lámina para el secado solar logrando así reducir la presencia de agua y obtener mejores resultados al utilizar el soxhelt. Como solvente se usó hexano ya que la teoría afirma que este tiene gran aplicación en este campo. Se dejó recircular durante 8 horas y al final se obtuvo un aceite con un 5% de rendimiento, pero éste nuevamente era un aceite del tipo secante.

5. Extracción de aceite por medio de método de microondas. Para esta corrida se realizaron variaciones en los tiempos de calentamiento, para determinar si el tiempo de exposición posee una relación directa con el porcentaje de lípidos extraídos. La muestra fue preparada previamente, fue sometida a una maceración, la cual buscaba romper o al menos suavizar la pared celular. Una vez macerada fue picada a alta velocidad. Esta muestra fue manejada en distintas formas como se puede observar a continuación.

a. Extracción de aceite utilizando únicamente la prensa hidráulica y calentamiento en microondas de 45 segundos. Esta prueba fue sometida durante un minuto a un picado a alta velocidad. La muestra previamente trabajada fue colocada dentro del horno microondas. El tiempo de residencia fue de 45 segundos. Una vez fue retirada del horno se procedió a colocarse dentro de un tamiz para ser sometida a un pensado. El líquido remanente se centrifugo para determinar la presencia de aceite. La muestra se centrifugo por 25 minutos, lo cual no proporciona ningún cambio de fase. La muestra no poseía una separación de fases muy grande, sin embargo tenía una capa muy fina de un compuesto más liviano, el cual podría ser aceite. Se saco una relación en peso para conocer la cantidad de aceite presente la cual fue de 3% en peso.

b. Extracción de aceite utilizando únicamente la prensa hidráulica y calentamiento en microondas de 30 segundos. La muestra fue trabajada de la misma forma que la sometida a los 45 segundos de calentamiento. El proceso fue el mismo que el realizado en la extracción en 5.1. Para la muestra sometida a 30 segundos de calentamiento se determino un rendimiento de 2.9%.

c. Extracción de aceite utilizando únicamente la prensa hidráulica y calentamiento en microondas de 25 segundos. La muestra fue trabajada de la misma forma que la sometida a los 45 segundos de calentamiento. El proceso fue el mismo que el realizado en la extracción en 5.1. La muestra fue sometida a 25 segundos de calentamiento y se determino un rendimiento de 2.87%.

Como se mencionó al inicio las fotos al microscopio buscaban además de ser un control un poco más estricto una forma de poder determinar la presencia de células llenas de lípidos. Las fotos tomadas se muestran a continuación donde se pone de manifiesto la amplia variación de la muestra sometida a las pruebas de calor de combustión, cromatografía y viscosidad dinámica contra las obtenidas en las pruebas posteriores.

En la mayoría de las fotos se observa una ausencia muy grande de células y estructuras muy alejadas de lo buscado. En las últimas fotos se puede observar una clasificación por medio de flechas de colores. Estas flechas determinan la existencia de células potencialmente cargadas de lípidos. Las flechas rojas son celular redondas, las azules células cuadradas y las verdes células alargadas

B. Cálculos de diseño

1. Dimensiones de pozas

1kg aceite de alga

El alga disponible posee las siguientes características (45% humedad, 15% lípido/base seca)

$$1kgAceite \times \frac{kgAlgaSeca}{0.15kgAceite} \times \frac{1}{1} \quad (\text{Ecuación 1})$$

La densidad de población final del proceso es de $0.1kg/m^3$, por lo que el volumen requerido de cultivo es el siguiente:

$$V = 10.25kgAlga \frac{1m^3}{0.1kg} = 102.50m^3$$

La altura máxima del diseño de las pozas es $z = 0.30m$, por lo que el área superficial requerida es:

$$V = AreaSuperficial \cdot z$$

$$AreaSuperficial = 341.69m^2$$

La producción de alga es directamente proporcional al Área superficial requerida, y tienen la siguiente relación.

2. Tiempo de cultivo. El crecimiento de algas sigue el modelo crecimiento poblacional exponencial. Su crecimiento se duplica cada 12 horas por lo tanto:

$$P(t) = P_0 e^{kt} \rightarrow 2 = e^{k(12)} \rightarrow k = \frac{\ln 2}{12} = 5.776 \times 10^{-2}$$

El modelo de crecimiento del alga es:

$$P(t) = P_0 e^{5.776 \times 10^{-2} t}$$

La población se mantiene en un estanque de volumen fijo, por lo tanto la concentración se comporta bajo el mismo modelo matemático.

$$C = kg/m^3$$

3. Cultivo inicial. Para la reducción de costo inicial, se cultivara una concentración baja para esperar que se logre una saturación de tres días en las pozas. Para la constante de crecimiento en la ecuación se utilizara el tiempo en horas, por lo que los tres días son el equivalente a 72 horas (4,320 segundos).

$$0.9 \frac{kg}{m^3} = C_0 e^{5.776 \times 10^{-2} (72)}$$

$$C_0 = \frac{900 \frac{mg}{L}}{e^{5.776 \times 10^{-2} (72)}}$$

Luego de despejar se determino que la cantidad de alga para sembrar en la poza y obtener la cantidad máxima en la poza será de:

$$C_o = 0.014 \frac{kg}{m^3}$$

4. Rotación del alga en las pozas. Para lograr una cosecha constante cada 1440 segundos, se esperara la saturación de la poza para luego extraer cierta proporción del medio de tal modo que quede un cultivo suficiente para ser el iniciador de la cosecha siguiente.

Los datos son los siguientes:

$$C_t = 0.9 \frac{kg}{m^3}$$

$$t = 1440 \text{ segundos, } K = 5.776 * 10^{-2}$$

Utilizando la ecuación para el crecimiento tenemos:

$$C_{(t)} = C_o e^{kt}$$

$$C_o = \frac{C_{(t)}}{e^{kt}} \rightarrow C_o = \frac{0.900 \frac{kg}{m^3}}{e^{5.776 * 10^{-2} (24)}}$$

$$C_o = 0.225 \frac{kg}{m^3}$$

C_o será la concentración que debe permanecer después de cada cosecha. Este valor representa el 25 % de la concentración deseada. Esto indica que se debe retirar el 75% producido en la poza para tener nuevamente el volumen deseado en los días estipulados.

El valor para retirar viene dado por la relación siguiente:

$$\frac{225 \frac{kg}{m^3}}{900 \frac{kg}{m^3}} = \frac{1}{4} = 25\%$$

5. Cantidad de pozas en área estipulada. Puesto que el área es una de las limitantes se realizará un cálculo para determinar el número de pozas. El área con la que se cuenta es de una hectárea la cual es equivalente a 10000 m².

$$10000 \text{ m}^2 * \frac{1 \text{ poza}}{341.69 \text{ m}^2} = 29.3 \text{ pozas}$$

El dato será redondeado a solamente 29 pozas para la producción de la biomasa.

6. Cantidad de metros cúbicos totales. Este dato nos proporcionara la cantidad de agua a utilizar para así lograr determinar la cantidad de fertilizante necesaria para cubrir la demanda necesaria.

$$\text{metros cubicos totales} = 29 \text{No. pozas} * 102.5 \text{m}^3 = 2,972.5 \text{m}^3$$

Cantidad de agua necesaria cada 24 horas o 1440 segundos para el abastecimiento de las pozas. La cantidad de m^3 necesarios para llenar el volumen de las pozas una vez reducida es el siguiente:

$$\text{Volumen a llenar por poza} = 0.75 * 102.5 \text{m}^3 = 76.88 \text{m}^3$$

$$\text{Volumen a llenar total pozas} = 76.88 \text{m}^3 * 29 \text{ No. de pozas} = 2,229.38 \text{m}^3$$

$$\text{Volumen requerido por hora durante 1 dia} = \frac{2229.38 \text{m}^3}{24 \text{ h}} = 92.9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{250 \text{galones}}{1 \text{m}^3} \times \frac{1 \text{h}}{60} = 387 \text{ gpm}$$

7. Bombas. Debido a la alta demanda de líquidos el sistema contará con cinco bombas colocadas en serie. Cada una de estas bombas abastecerá a seis pozas aproximadamente, ellas serán las encargadas de ingresar, de llenar las pozas y de vaciarlas para así tener una inversión inicial menor. La cantidad de galones necesarios para llenar las pozas en seis horas será la siguiente.

$$\text{Volumen necesario para llenado de 6 pozas en 6 horas} = 76.88 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{250 \text{galones}}{1 \text{m}^3} \times \frac{1 \text{h}}{60} = 321 \text{ gpm}$$

La velocidad dentro de la tubería será de 3 m/s, siendo esta la máxima permisible. El diámetro de la tubería adecuado para la operación será de dos pulgadas y media o 0.0634 metros. La tubería será de PVC para lograra aguantar lo abrasivo del medio y cedula 80 lo cual nos brindara la seguridad de resistencia deseada.

8. Carga de la bomba

a. No. de Reynolds. Este número nos proporcionará conocer en qué tipo de flujo nos encontramos dentro de la tubería.

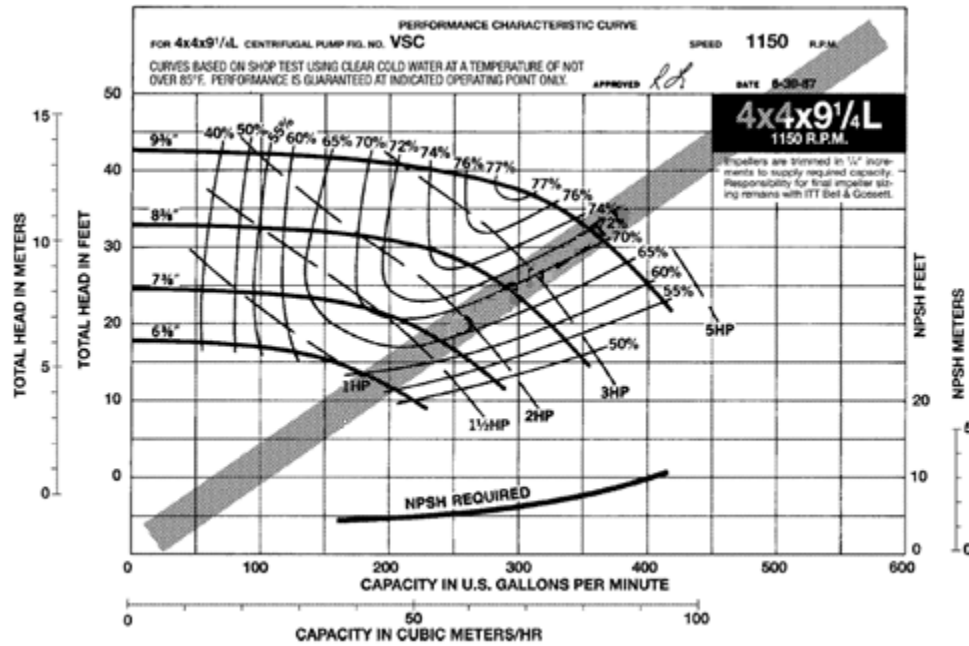
$$Re = \frac{DV\rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{2.5 \times 3 \times 1028}{0.01} = 7.71 \times 10^5$$

Esto nos indica un flujo turbulento dentro de la tubería.

b. Factor de fricción para tubería. El PVC posee un coeficiente de rugosidad $\epsilon = 0.0015$ mm. Como se puede ver en la grafica siguiente para lograr determinar el coeficiente es necesario conocer el valor de ϵ/D , el cual en este caso sería de 0.000024. Luego de leerlo en la gráfica nos proporciona un coeficiente de fricción para la tubería de 0.0037

Figura 10. Curva característica de bomba a utilizar



La bomba elegida será una bomba centrífuga de tres Hp, con una eficiencia de 60% aproximadamente, con 1150 rpm con un impulsor de 9.2 pulgadas, con una succión y una descarga de cuatro pulgadas. El motor para la misma será de cinco Hp.

La bomba en este caso será poco eficiente ya que la carga es baja pero el NPSH es alto, por lo que para la carga se encontrara sobredimensionada y esto disminuirá la eficiencia de la misma.

9. Aspas para la agitación. Estas tendrán un largo de metro y medio por una altura de 0.25 metros, de los cuales solamente 0.20 entraran en contacto con el cultivo. Estarán a una distancia de un metro de la base y serán compuestas por cuatro aspas. Las condiciones de operación del equipo serán los siguientes:

Velocidad = 0.5 m/s

Esta es la velocidad adecuada para no provocar una agitación muy brusca la cual dañe las algas y no permitirá la acumulación de estas en la pared de la poza.

Torque = 604.46 Nm

Este fue calculado con los siguientes datos :

to

$$\text{torque} = 0.2 \times 10^2 (64.62 \text{ kgm})$$

Para calcular las revoluciones por minuto con base al valor óptimo de velocidad utilizamos la siguiente ecuación.

$$Rpm = \frac{1.2 m}{60 segundos} \div 0.5 \frac{m}{s} = 25 rpm$$

Éstas fueron calculadas con base al número de aspas y a la velocidad indicada.

Con base a esto el motor será de:

$$Hp = 64.62Kgm \times 25rpm \div 716 = 2.25 Hp$$

10. Filtros. Los filtros a utilizar serán de canasto a la salida de la bomba la cual alimenta y extrae de las 6 pozas. Puesto que la cantidad de cultivo a extraer será de 415 kilogramos por lo que deberán tener las siguientes características:

Volumen de recepción de 33 kilos por ser media esfera únicamente y serán colocados catorce tamices en serie para lograr la recepción total de la biomasa deseada. Estos serán dejados en el lugar bajo el sol para la extracción casi total de la biomasa para luego ser retirados y almacenados para su posterior extracción.

a. Demanda de fertilizante. La relación existente nos dice que la cantidad de fertilizante a utilizar se base en la concentración final del medio. Al aplicar setenta toneladas por hectárea de fertilizante al año se asegura mantener la productividad de alga en niveles de 0.1 kg/m²/día.

11. Productividad de las pozas actuales

$$productivada\ de\ una\ poza\ al\ dia = 102.5 m^3 \times \frac{1000L}{1m^3} \times 0.900 \frac{kg}{m^3} \times 0.75 = 69,187.500 mg$$

$$= 69,187.5 \frac{g}{dia} \times \frac{1}{341.69m^2} = 0.202 \frac{kg}{dia/m^2}$$

$$cantidad\ de\ fertilizante = \frac{1\ tonelada}{\frac{0.1kg}{m^2} \frac{1}{dia}} \times \frac{0.202kg}{dia} = 2025 Kilos\ al\ año\ por\ hectarea$$

La cantidad de fertilizante necesarias para agregar cada 24 horas es de 5.55 kg de fertilizante, siendo la cantidad necesaria por poza de 0.19 kg al día.

12. Fuente de Carbono disponible. Debido a que la utilización de dióxido de carbono a partir de tanques es muy costosa. Se han encontrado distintas fuentes de carbono. El cálculo se realizara para la glucosa, bicarbonato y el ácido acético, debido a ser los más aplicables en base a costos.

a. Usando como fuente de carbono ácido acético. La relación es por cada kilogramo de alga se utilizan cuatro kilogramos de ácido acético. La cantidad exacta será la siguiente:

$$92.24 \frac{\text{kg alga}}{\text{poza}} \times \frac{4 \text{ kg ácido acético}}{1 \text{ kg alga}} = 368.96 \text{ kg ácido acético por poza cada 24 horas}$$

Precio por kilogramo de ácido acético = \$ 1.14

Valor total diario por poza para la primera siembra = \$ 1.14 * 368.96 kg ácido acético = \$ 420.61

Valor para siembras siguientes = \$ 1.14 * 276.72 kg ácido acético = \$ 315.46

Costo anual por pozas totales = \$ 420.61 + (\$ 315.46 * 362) = \$ 114,617.13

b. Usando como fuente de carbono la glucosa. La relación existente es en base seca de alga. Ésta es de dos kilogramos de glucosa por cada kilogramo de alga seca

$$92.24 \frac{\text{kg alga}}{\text{poza}} \times \frac{0.54 \text{ kg alga seca}}{1 \text{ kg alga}} \times \frac{2 \text{ kg glucosa}}{1 \text{ kg alga seca}} = 99.62 \text{ kg de glucosa por poza cada 24 horas}$$

Precio por kilogramo de glucosa = \$3.50

Valor total diario por poza para la primera siembra = \$ 3.50 * 99.62 kg glucosa = \$ 348.67

Valor para siembras siguientes = \$ 3.50 * 74.72 kg glucosa = \$ 261.5

Costo anual por pozas totales = \$ 348.67 + (\$ 261.5 * 362) = \$ 95,012.58

c. Usando como fuente bicarbonato. La concentración a manejar de bicarbonato es de 18 kg / m³. La cantidad necesaria será de:

$$102.5 \text{ m}^3 \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{18 \text{ g de bicarbonato}}{1 \text{ Litro}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 1,845 \text{ kg de bicarbonato cada 24 horas}$$

Precio por kilogramo del bicarbonato = \$ 1.20

Valor total diario por poza para la primera siembra = \$ 1.20 * 1,845 kg bicarbonato = \$ 2,214.00

Valor para siembras siguientes = \$ 1.20 * 1,383.75 kg bicarbonato = \$ 1,660.5

Costo anual por pozas totales = \$ 2,214 + (\$ 1,660.5 * 362) = \$ 603,315.00

C. Figuras anexas

Figura 11. Muestra RB 6.2 (lote occidente) (1)



Figura 12. Muestra RB 6.2 (lote occidente)(2)

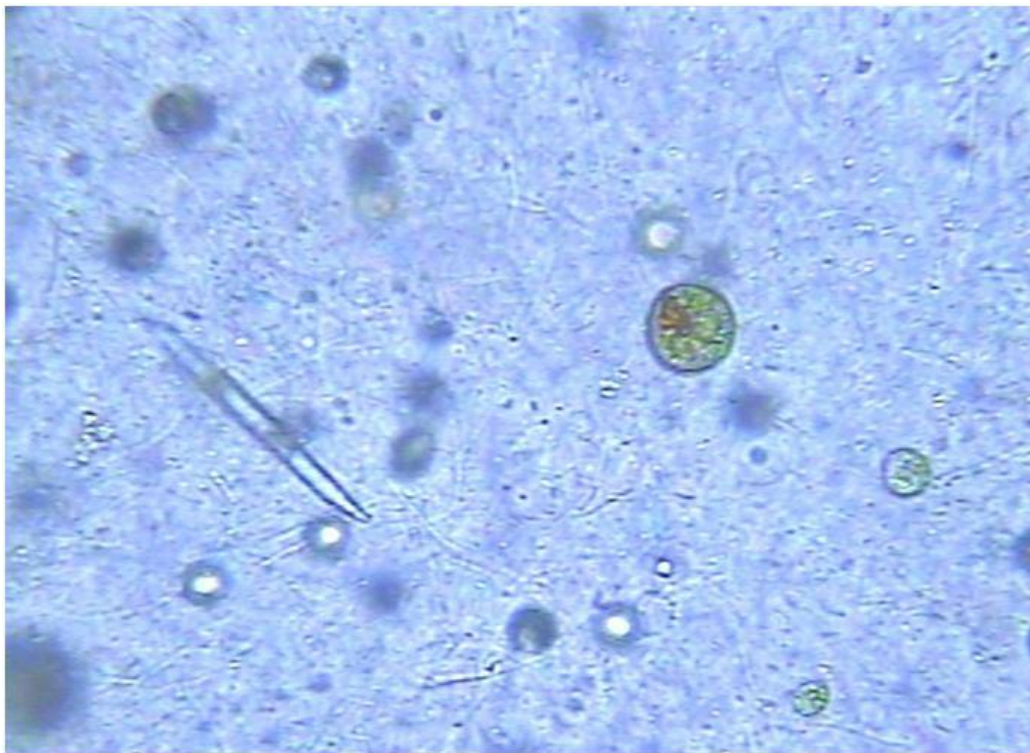


Figura 13. Muestra RB 6.2 (lote occidente) (3)

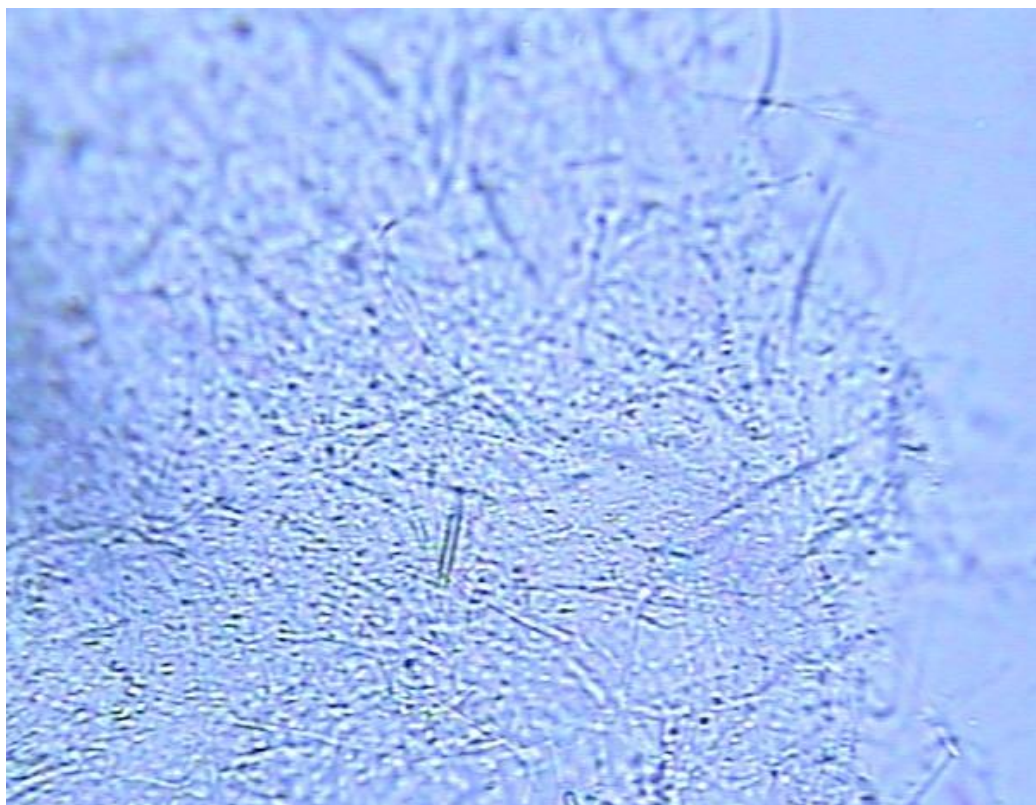


Figura 14. Muestra algas agua 2 grados (rama blanca) (1)

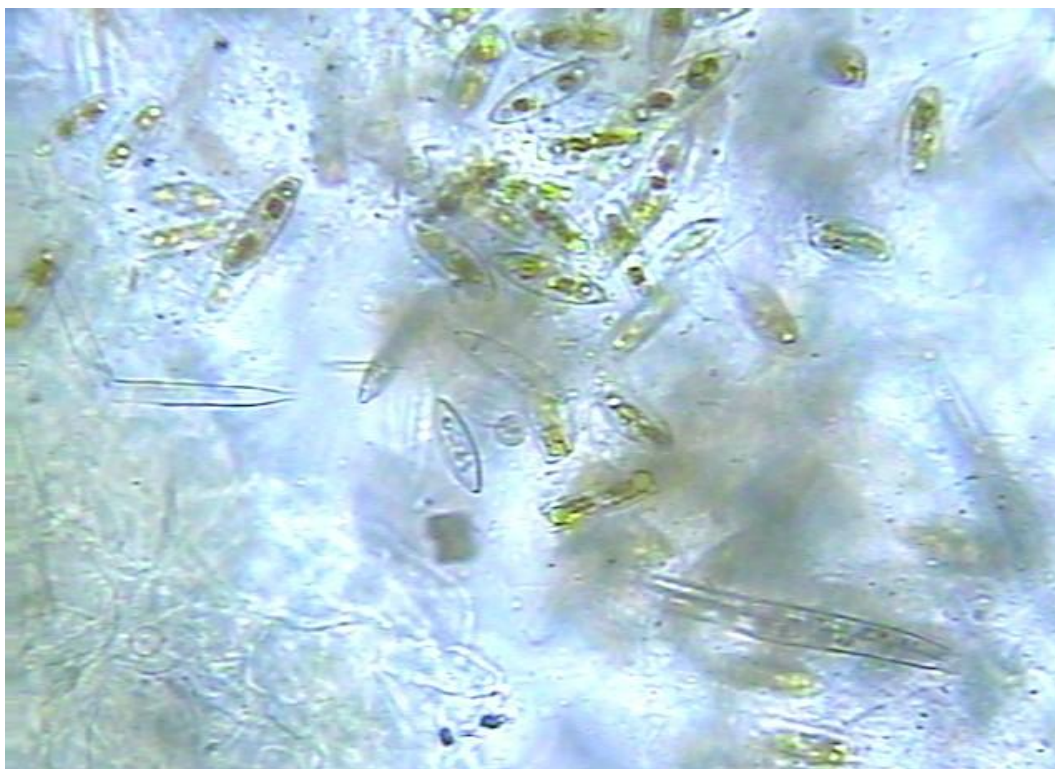


Figura 15. Muestra algas agua 2 grados (rama blanca) (2)

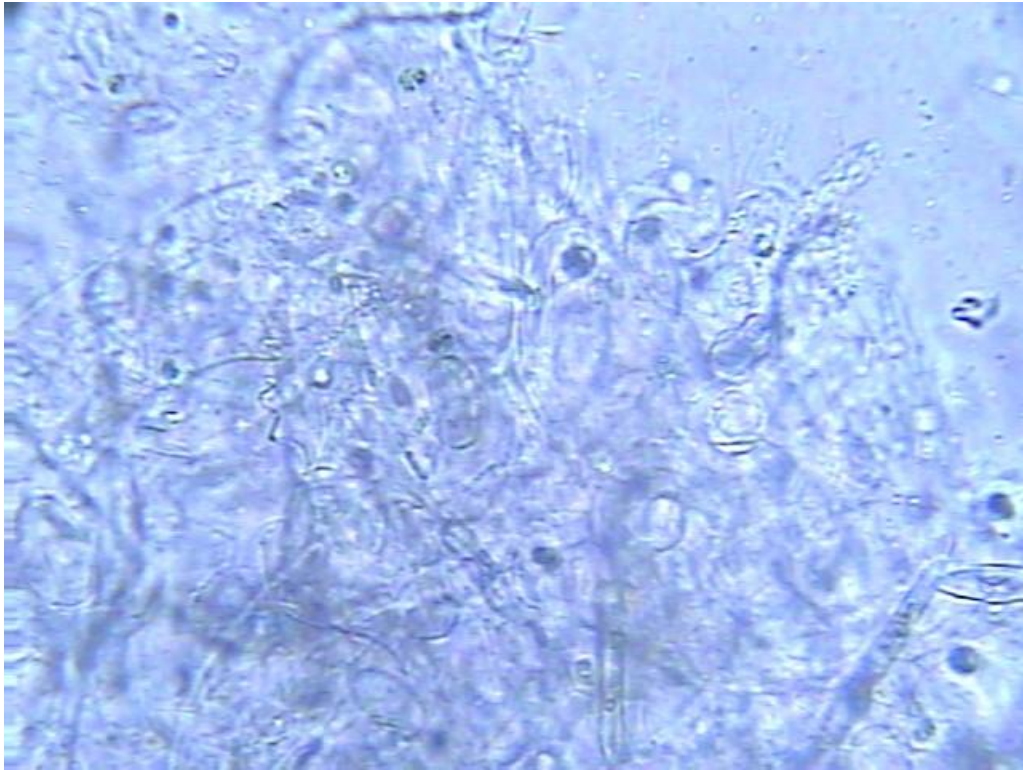


Figura 16. Muestra algas agua 2 grados (rama blanca) (3)



Figura 17. Muestra algas agua 2 grados (rama blanca) (4)

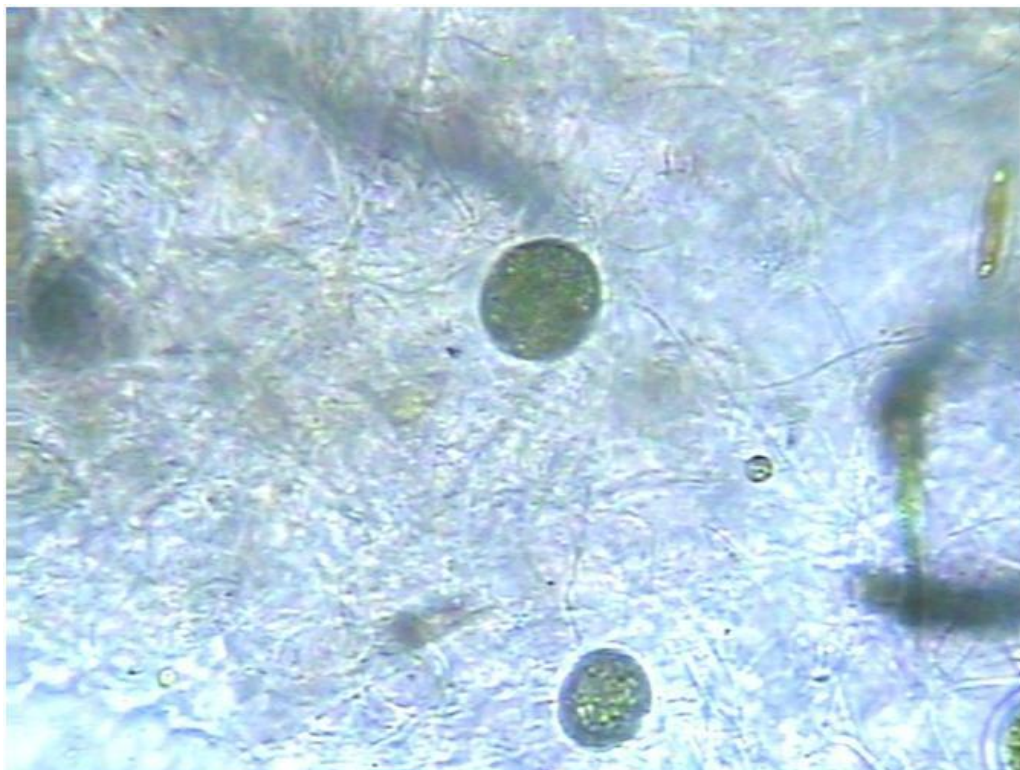


Foto 1. Muestra algas agua 2 grados (rama blanca)



Figura 18. Muestra RB algas agua 6 grados (1)

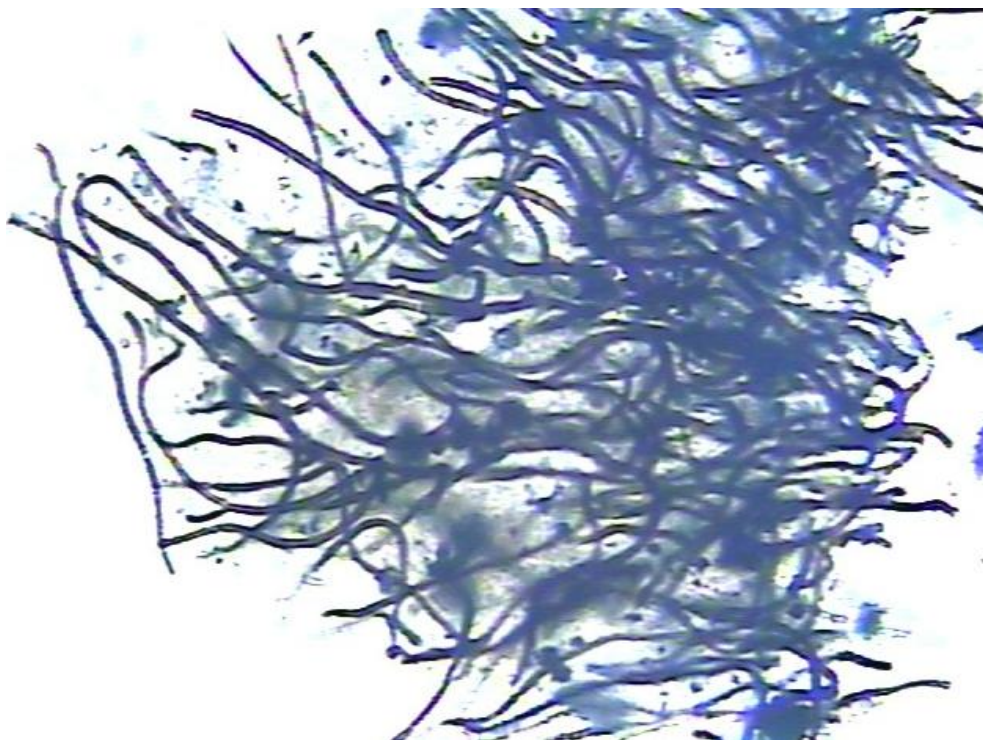


Figura 19. Muestra RB algas agua 6 grados (2)



Figura 20. Muestra corrida cuatro playa (1)

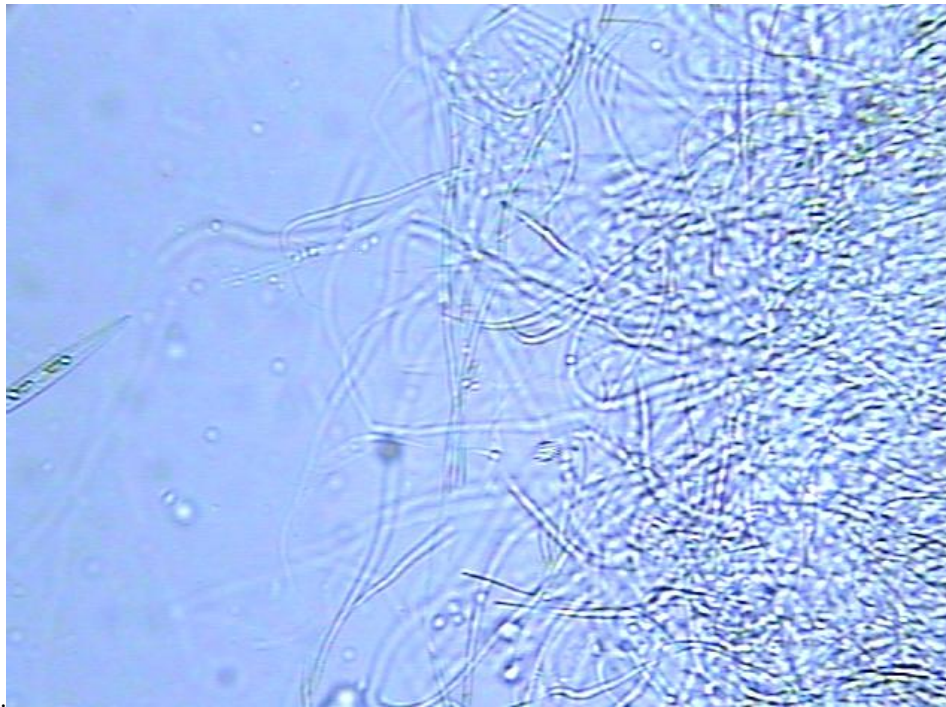


Figura 21. : Muestra corrida cuatro playa (2)

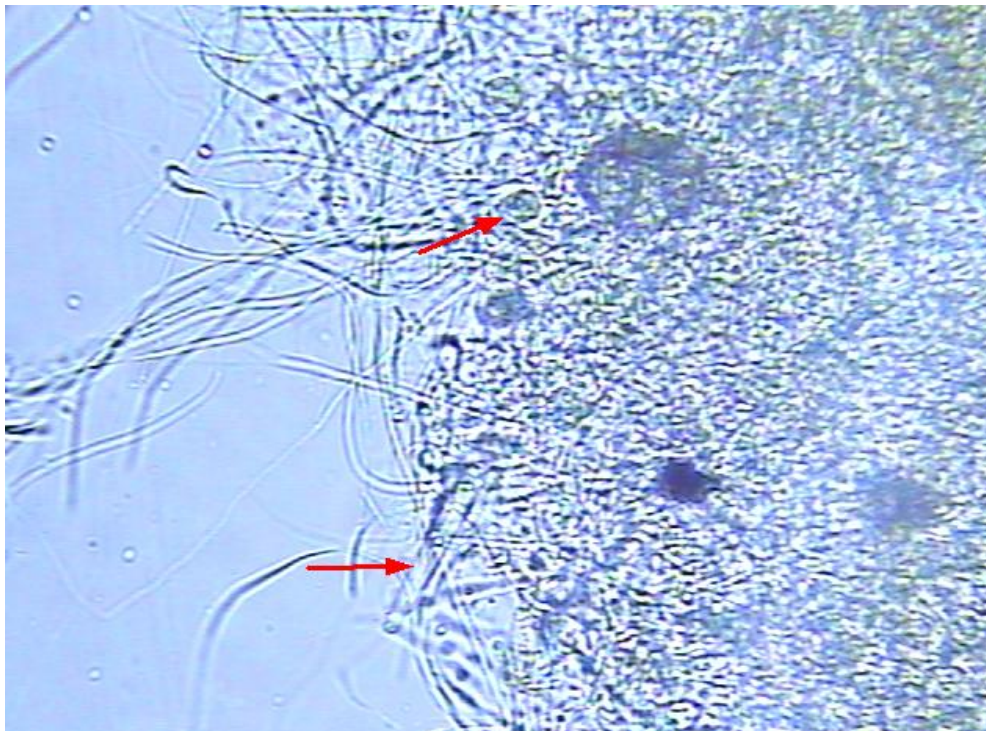


Figura 22. : Muestra reservorio (1)



Figura 23. : Muestra reservorio (2)

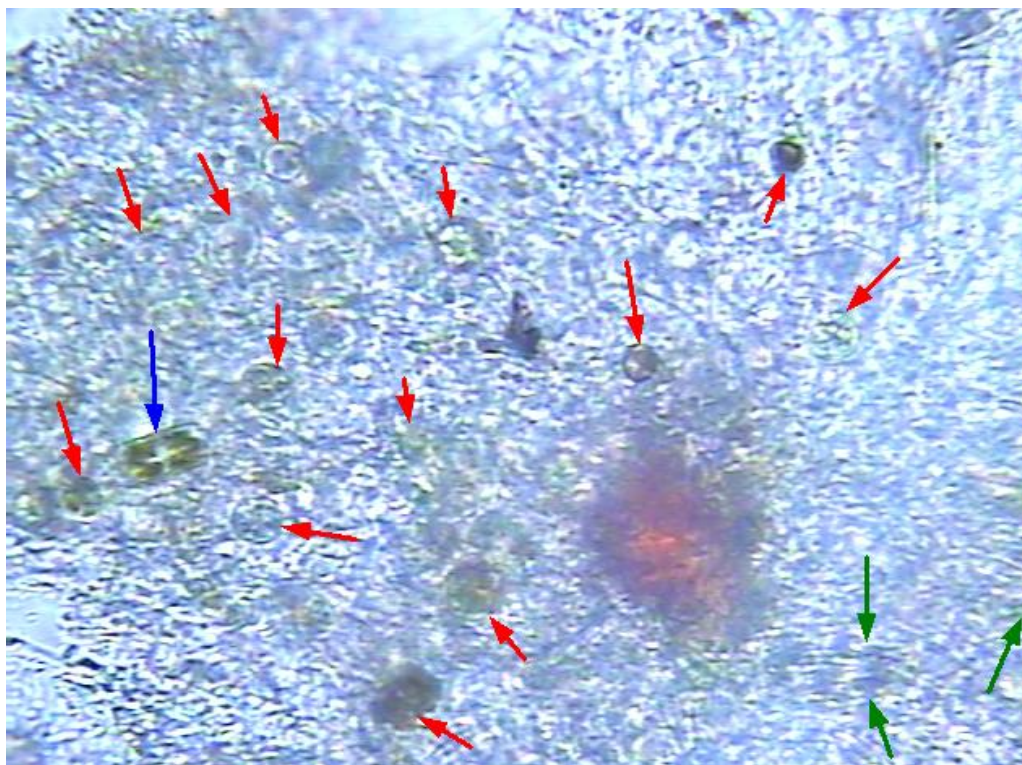


Figura 24. Muestra corrida uno playa (1)



Figura 25. Muestra corrida uno playa (2)

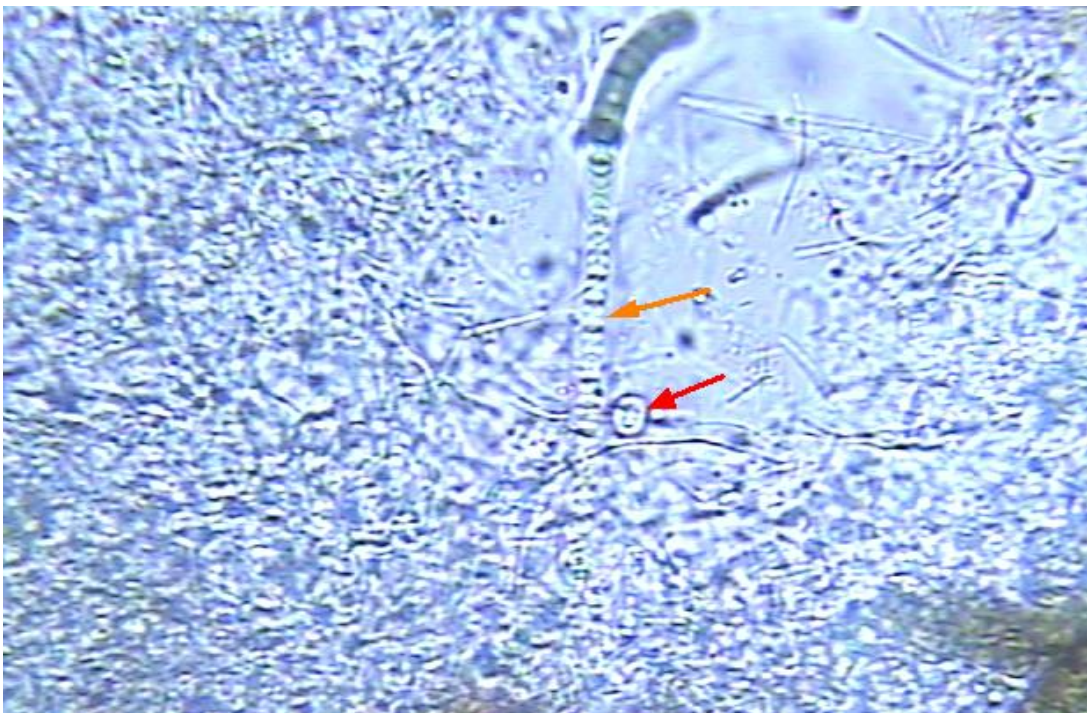


Figura 26. : Muestra salida de corrida dos

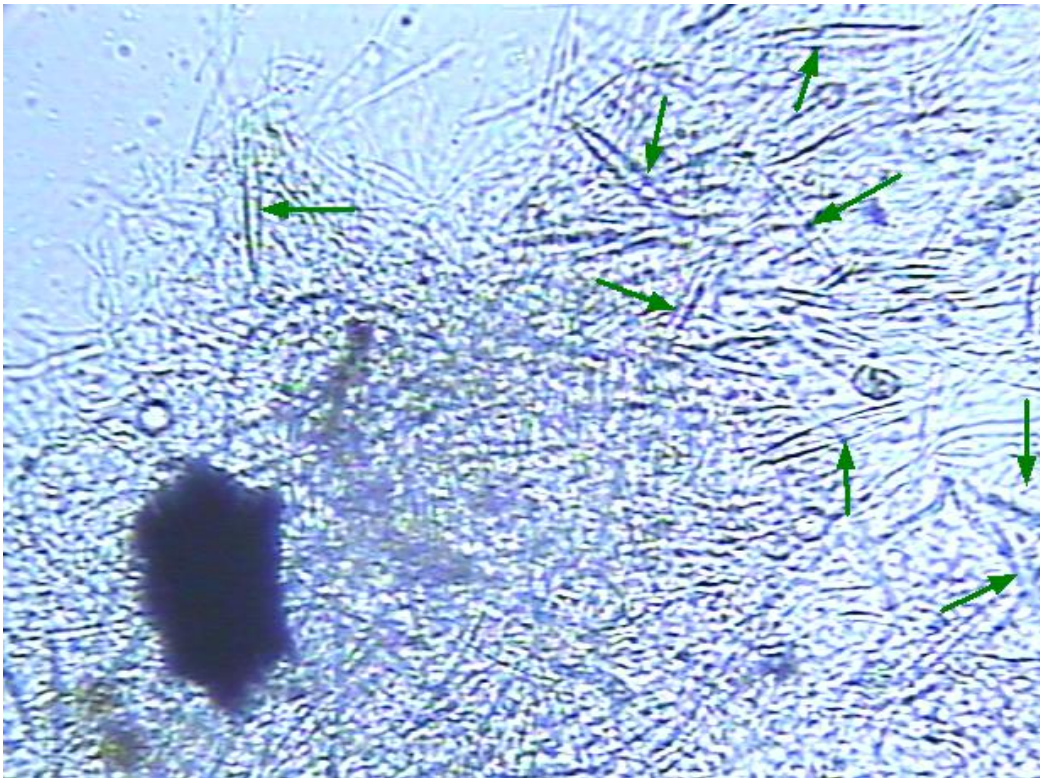


Figura 27. : Muestra corrida dos con burbujas (1)

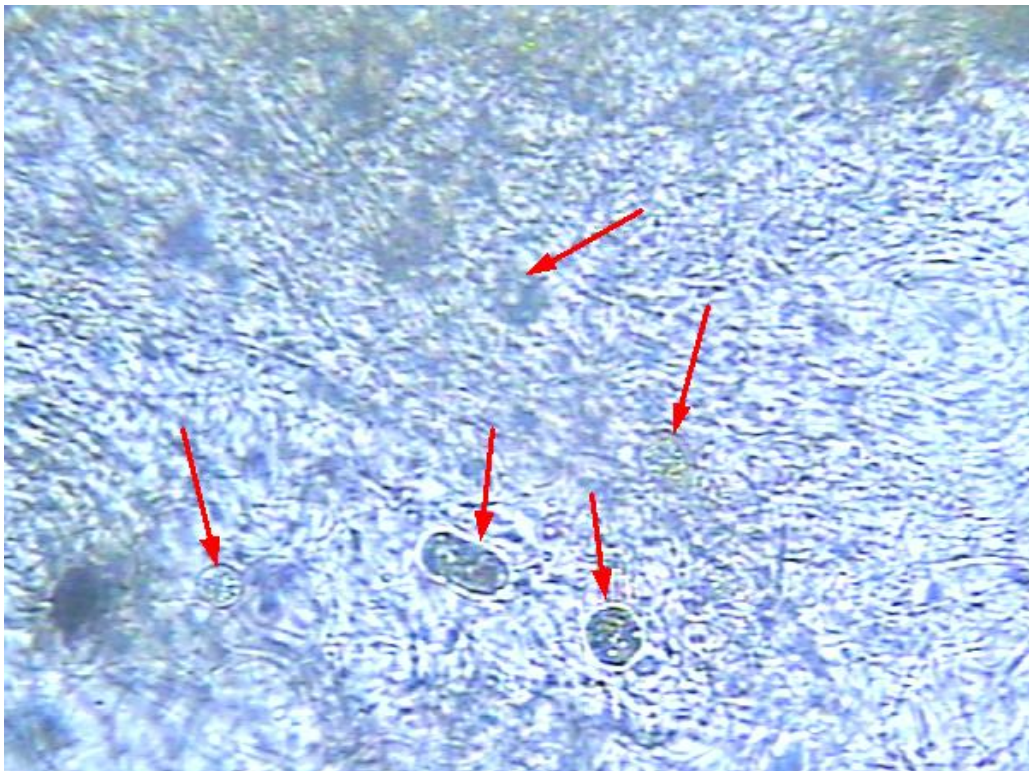


Figura 28. : Muestra corrida dos con burbujas (2)

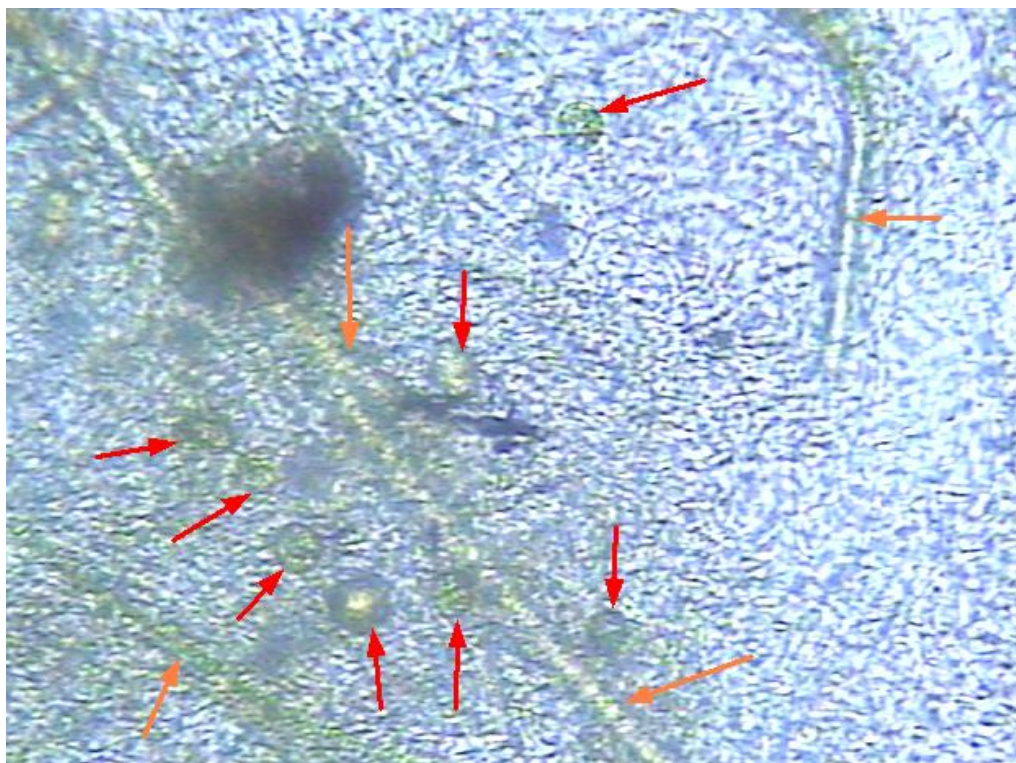


Figura 29. : Muestra corrida dos lado Oswaldo

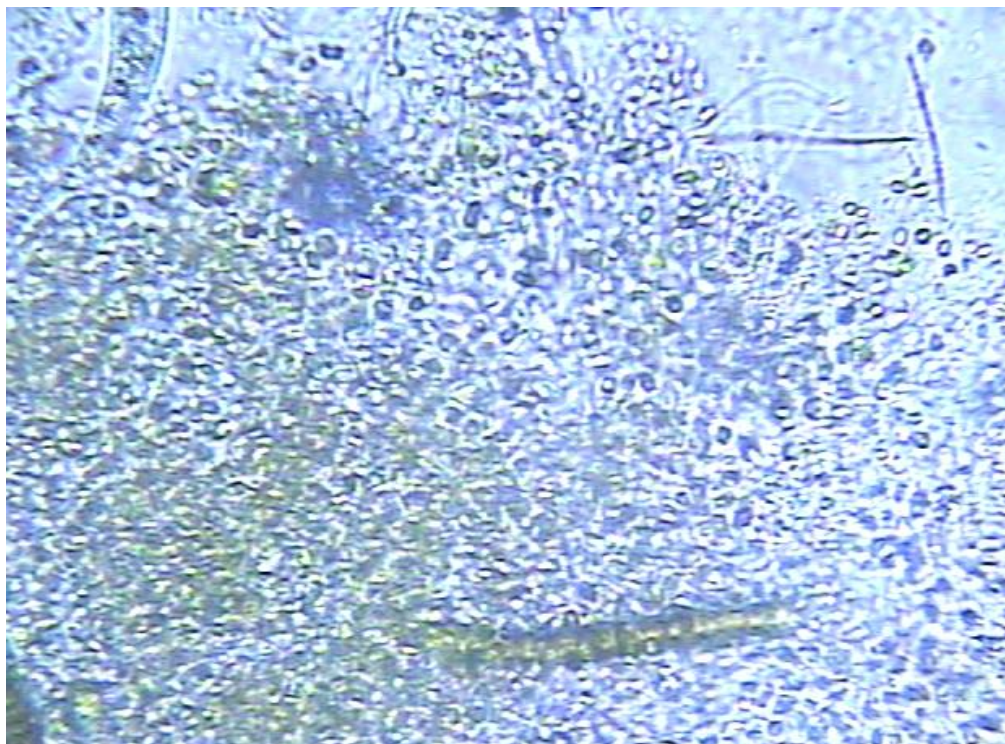


Figura 30. Filtro de canasta

