

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICA POR MEDIO DE MICROALGAS  
COMO MATERIA PRIMA PARA BIORREFINERIAS

ELABORADO POR:

ALEXANDRA CEBALLOS MARQUINEZ

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

INGENIERIA AMBIENTAL

PAMPLONA NORTE DE SANTANDER

2019

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICA POR MEDIO DE MICROALGAS  
COMO MATERIA PRIMA PARA BIOREFINERIAS

ELABORADO POR:

ALEXANDRA CEBALLOS MARQUINEZ

DIRECTORA

DAISSY LORENA RESTREPO SERNA

INGENIERA QUIMICA. MSC.

TRABAJO DE GRADO MODALIDAD MONOGRAFÍA, PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

INGENIERIA AMBIENTAL

PAMPLONA NORTE DE SANTANDER

2019

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, a Dios por su misericordia, por darme la sabiduría y fortaleza espiritual para poder estar donde estoy. Y a quien le debo todo, al ser más maravilloso que existe en mi vida, a mi madre Marisely Marquinez, quien creyó en mí desde siempre, quien me dio su apoyo y amor en toda esta larga etapa incondicionalmente. A mi familia y amigas que siempre que quería decaer, me daban sus palabras de aliento para que continuara en mi proceso.

A mi directora Daissy Lorena Restrepo Serna, por su apoyo, respaldo y paciencia, quien con sus aportes fue de mucha ayuda. Al profesor Julio Isaac Maldonado Maldonado por su permanente seguimiento, gran interés en todos los aspectos del desarrollo de este trabajo. A todos aquellos profesores que indirectamente me acompañaron para poder llegar a esta etapa, brindando sus pequeños granos de arena para ser la persona que soy hoy en día, llena de nuevos saberes.

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	7
INTRODUCCIÓN .....	10
OBJETIVOS.....	12
Objetivo general .....	12
Objetivo específicos .....	12
<i>CAPITULO 1</i> .....	13
<i>1. GENERALIDADES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS</i> .....	13
1.1. Tipos de aguas residuales .....	13
1.1.1. Aguas residuales domesticas o aguas negras: .....	13
1.1.2. Aguas residuales industriales: .....	13
1.1.3. Aguas residuales grises: .....	14
1.1.4. Aguas blancas:.....	14
1.2. Características de las aguas residuales .....	15
1.2.1. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual .....	15
1.2.1.1. Características físicas. ....	16
1.2.1.1.1. Temperatura.....	16
1.2.1.1.2. Turbidez.....	16
1.2.1.1.3. Color .....	16
1.2.1.1.4. Olor.....	16

1.2.1.1.5.	Radioactividad.....	17
1.2.1.1.6.	Solidos totales.....	17
1.2.1.2.	Características químicas .....	17
1.2.1.2.1.	Materia inorgánica.....	18
1.2.1.2.2.	Materia orgánica.....	18
1.2.1.3.	Características biológicas .....	19
1.2.1.3.1.	Bacterias .....	19
1.2.1.3.2.	Algas.....	19
1.2.1.3.2.1.	Algas fotosintéticas .....	20
1.2.1.3.2.2.	Algas heterótrofas .....	20
1.2.1.3.3.	Hongos.....	20
1.3.	Tipos de tratamiento de las aguas residuales domesticas .....	20
1.3.1.	Procesos aerobios .....	21
1.3.3.	Tratamiento preliminar.....	24
1.3.3.1.	Desbaste.....	24
1.3.3.2.	Desarenado .....	24
1.3.4.	Tratamiento primario.....	24
1.3.4.1.	Sedimentación primaria.....	24
1.3.4.2.	Tanques de imhoff.....	25
1.3.5.	Tratamiento secundario .....	25

1.3.5.1.	Tanque de sedimentación secundaria .....	25
1.3.6.	Tratamiento terciario .....	25
1.3.6.1.	Desinfección .....	26
1.3.6.2.	Tratamiento de lodos .....	26
1.4.	Normativa de las aguas residuales.....	29
<i>CAPÍTULO 2</i> .....		30
2.	<i>CONCEPTOS DE LA MICROALGAS</i> .....	30
2.1.	Biología de las microalgas.....	30
2.1.1.	Parámetros a considerar en un cultivo de microalgas .....	32
2.1.1.1.	Luz.....	32
2.1.1.2.	Temperatura.....	32
2.1.1.3.	Nutrientes.....	33
2.2.	Tipos de microalgas.....	33
2.3.	Tratamiento de Aguas residuales con microalgas .....	36
2.3.1.	Ventajas.....	37
2.3.2.	Desventajas.....	38
<i>CAPÍTULO 3</i> .....		40
3.	<i>BIOREFINERIA</i> .....	40
3.1.	<i>Historia</i> .....	40
3.2.	<i>Biocombustible de primera generación</i> .....	41

3.3. <i>Biocombustible segunda generación</i> .....	41
3.4. <i>Biocombustible tercera generación</i> .....	41
3.5. <i>Producción de biogás a partir de la biomasa de las microalgas</i> .....	43
3.5.1. Producción de lípidos .....	47
3.5.2. Metodología de la producción de biogás .....	48
CONCLUSIONES .....	52
BIBLIOGRAFÍA .....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principales fuentes de aguas residuales municipales .....	14
Figura 2. Cuadro sinóptico de las características del agua residual .....	15
Figura 3. Esquema de los solidos .....	17
Figura 4. Proceso del tratamiento anaerobio .....	23
Figura 5. Etapas del proceso .....	28
Figura 6. Representación gráfica de biomasa de microalgas y su conversión a la bioenergía.....	38
Figura 7. Esquema de tratamiento de aguas residuales microalgas mediada con la producción de biomasa para la generación simultánea de biocombustible. ....	46



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Relación entre algunos constituyentes inorgánicos y el agua residual. ....	18
Tabla 2. Ventajas y desventajas del proceso anaerobio .....	22
Tabla 3. Ventajas y desventajas de cada proceso.....	23
Tabla 4. Tratamientos primarios, secundarios y terciarios.....	27
Tabla 5. Política y normatividad relacionada con el manejo y tratamiento de aguas residuales ...	29
Tabla 6. Ventajas y desventajas de los diferentes métodos de cosecha para microalgas.....	31
Tabla 7. Diferentes cultivo de microalgas con efluentes de digestión anaerobia para producir bioenergía .....	35
Tabla 8. Conceptos de biorrefinería .....	42
Tabla 9. Componentes del biogas .....	44
Tabla 10. Contenido en lípidos de algunas especies de microalgas .....	48

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales en Colombia se ha convertido en uno de los problemas ambientales más críticos y crecientes. La descarga de aguas residuales domésticas y los vertimientos agropecuarios están contaminando los ríos, las aguas subterráneas, los humedales y las represas de agua, causando un grave daño al medio ambiente y a la salud humana (A. Alvarado, 2016). Según (G. Dotto, 2019) la contaminación del agua es causado por una variedad de componentes químicos, físicos y biológicos que se generan a partir de los factores naturales y las actividades antropogénicas. Existen diferentes tipos de tratamiento de aguas residuales. El tratamiento primario consiste en la eliminación de sólidos gruesos, causando una reducción de la carga contaminante en sus aguas residuales, por medio de un sistema de filtración; el secundario, en el cual se lleva a cabo la degradación bacteriana de la materia orgánica a través de lagunas de oxidación, de lagunas de estabilización, de lodos activados y de filtros biológicos, como son los digestores anaerobios. Sin embargo, este tratamiento trae como consecuencia la generación de efluentes con elevadas concentraciones de nutrientes (principalmente amonios y fosfatos), por lo que es necesario aplicar el tratamiento terciario que consiste en procesos físicos y químicos especiales con lo que se logra la eliminación de dicho contaminantes del agua.

El agua es necesaria para conservar la vida en el planeta y se ha convertido en un recurso escaso. Por esta razón, las aguas residuales son usadas cada vez más para la agricultura, especialmente en las zonas más pobres y subdesarrolladas del planeta. Aunque, en principio, esto puede generar beneficios tanto para las plantaciones como para la economía de los agricultores, especialmente aquellos con pequeñas propiedades y recursos para su explotación, si su uso es indiscriminado puede generar problemas serios en la salud humana (Organizacion Mundial de la Salud, 2019).

El uso de microalgas es una alternativa ventajosa debido a su elevado contenido de lípidos, a su eficiencia fotosintética, su capacidad de crecer en aguas marinas, dulces, residuales y salobres, así como por su velocidad de crecimiento. La aplicación de microalgas en el tratamiento de aguas residuales es la utilización y transformación de los nutrientes a biomasa, para generar biocombustible amigables con el medio ambiente que en su producción y consumo no producen CO<sub>2</sub> durante su combustión. (D. Cheng, et al, 2018) Aporta que el uso de microalgas es eficiente para producción de oxígeno y un tratamiento clave para mejorar la calidad del efluente, así como la disponibilidad de este para la continua oxidación bacteriana de la materia orgánica en sistemas integrales, mediante el ciclo de oxigenación fotosintética de aguas residual.

Teniendo en cuenta esto, la presente monografía tiene por objeto analizar el uso de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales doméstica y su posterior uso como materia prima para biorrefinerías. Lo anterior considerando la creciente se ha surgido la necesidad de encontrar medios para el tratamiento de las aguas residuales que puedan ser tanto eficientes como de bajo costo con el fin de ser implementados en lugares donde los recursos económicos sean escasos.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Analizar la factibilidad que tendría la implementación del concepto de biorrefinería empleando microalgas obtenidas durante el tratamiento de aguas residuales domésticas.

### **Objetivo específicos**

- Determinar los productos a obtener a partir de las microalgas con un enfoque de biorrefinería
- Plantear lineamientos futuros, con respecto al tratamiento de aguas residuales con microalgas.
- Realizar una apropiación teórica y conceptual del concepto de microalgas.
- Plantear lineamientos futuros, con respecto a los alcances que se generan el tratamiento de aguas residuales.

# **CAPITULO 1**

## **1. GENERALIDADES DE LAS AGUAS RESIDUALES**

### **DOMESTICAS**

#### **1.1. Tipos de aguas residuales**

Las aguas residuales son las aguas usadas y solidos que por uno u otro medio se introducen en canales y son transportadas a un sistema de alcantarillado para ser dirigidas a una planta de tratamiento.

La desinfección del agua es un problema global. Las aguas residuales deben ser tratadas antes de la descarga para evitar la contaminación de compuestos carbonosos y de nutrientes en los cuerpos de agua que reciben y el medio ambiente. (A. Otondo. et al, 2018). Estas aguas residuales según el tipo de contaminación se clasifican en:

##### 1.1.1. Aguas residuales domesticas o aguas negras:

Son aquellas aguas que están contaminadas con sustancias fecales, orina, del aseo personal, de la cocina y de la limpieza de la casa. Procedentes de desechos orgánicos humanos o animales; Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos.

##### 1.1.2. Aguas residuales industriales:

Proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.

### 1.1.3. Aguas residuales grises:

Este tipo de aguas son provenientes de los detergentes, que son usados en lavamanos, tinas, duchas, lavaplatos y lavadoras aportantes de DBO.

### 1.1.4. Aguas blancas:

Pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.

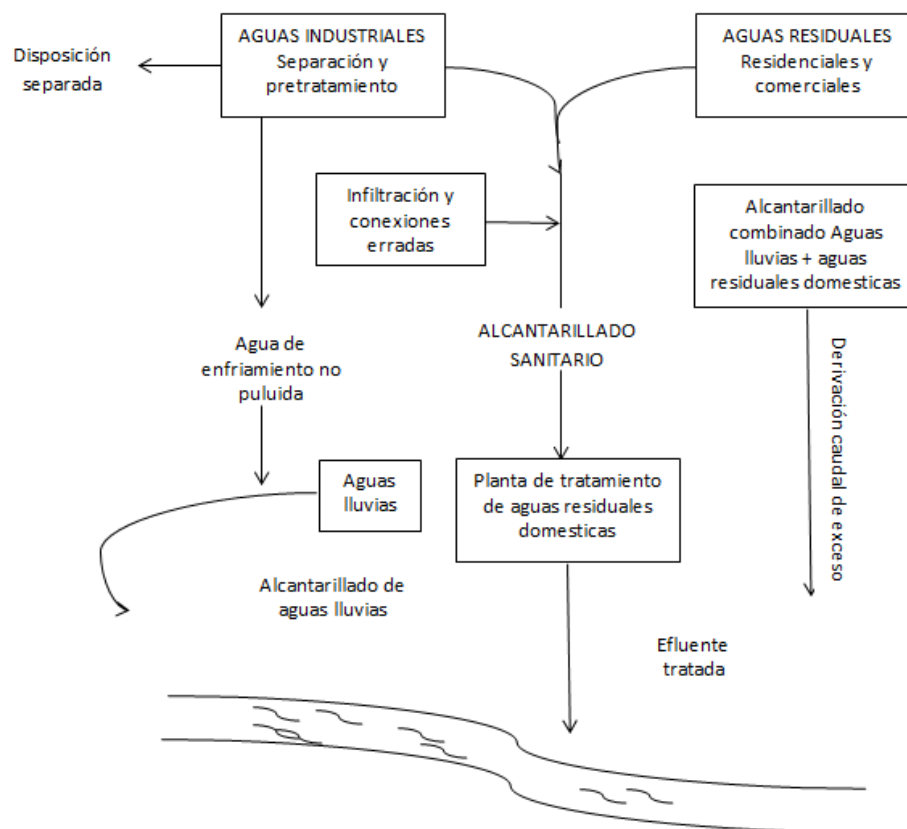


Figura 1. Principales fuentes de aguas residuales municipales

Fuente. Libro Tratamiento de AR (J. Romero )

## 1.2. Características de las aguas residuales

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental de cara al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recogida como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, así como para la gestión de la calidad medioambiental.

### 1.2.1. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual

A continuación, se describen brevemente los constituyentes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales, los contaminantes importantes para el tratamiento de las aguas, los métodos de análisis, y las unidades que se emplean para caracterizar la presencia de cada uno de los contaminantes en el agua residual.

La siguiente figura muestra las diferentes características de las aguas residuales y la reacción que tiene cada uno.

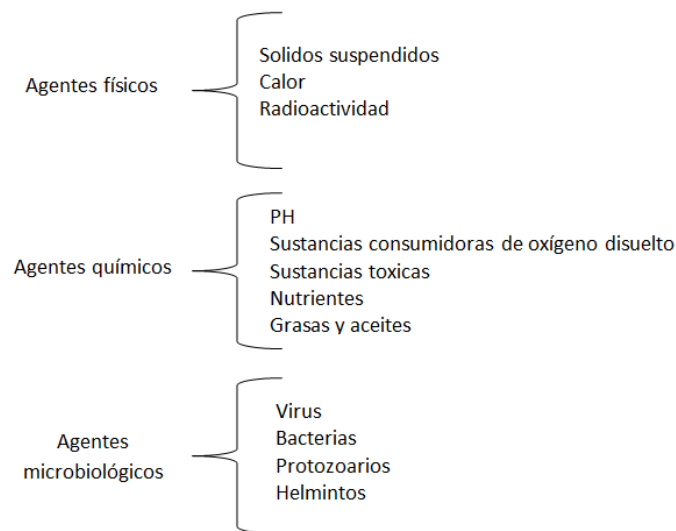


Figura 2. Cuadro sinóptico de las características del agua residual

Fuente: Adaptado (L. Souza, 2019)

### **1.2.1.1. Características físicas.**

#### 1.2.1.1.1. Temperatura

La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica. Las descargas calientes son otra causa de este aumento de temperatura.

#### 1.2.1.1.2. Turbidez

La turbidez es la falta de transparencia, debida a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parece y el valor de turbidez es más alto.

#### 1.2.1.1.3. Color

El color es un indicativo de la edad de las aguas residuales. El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce y el color cambia a negro. En esta condición, se dice que el agua residual es séptica.

#### 1.2.1.1.4. Olor

Una de los compuestos que contribuye en gran medida a la generación de malos olores es el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) que es un producto natural de la descomposición anaerobia de la materia orgánica, muy frecuentemente encontrado en drenajes y en plantas de tratamiento de aguas residuales.



#### 1.2.1.1.5. Radioactividad

Se denomina contaminación radioactiva o contaminación nuclear a la presencia no deseada de sustancias radioactivas en el entorno.

#### 1.2.1.1.6. Sólidos totales

Analíticamente se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a una temperatura entre 103 y 105°C.

Los sólidos se determinan por métodos gravimétricos y dependiendo del tratamiento previo a la pesada se clasifican los distintos tipos de sólidos.

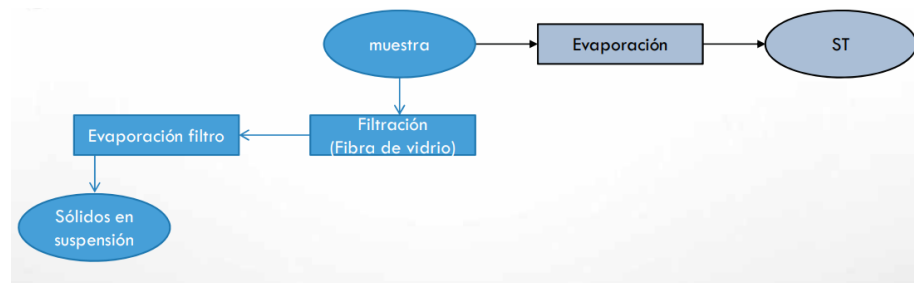


Figura 3. Esquema de los sólidos

Fuente: Adaptado (A. Torres, 2016)

#### 1.2.1.2. Características químicas

Las características químicas estarán dadas, principalmente, en función de los desechos que ingresan al agua servida.

#### 1.2.1.2.1. Materia inorgánica

Los componentes inorgánicos de mayor interés, en las aguas residuales, son: hidrogeno, cloruros, nitrógeno, fosforo, azufre.

En la siguiente tabla 1 se puede tallar algunos constituyentes inorgánicos que se generan en un agua residual

Tabla 1. Relación entre algunos constituyentes inorgánicos y el agua residual.

Elemento	Relación con el agua residual
Hidrógeno (pH)	El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico. El agua residual con una concentración adversa de ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos. Por lo general, el pH óptimo para el crecimiento de los organismos se encuentra entre 6.5 y 7.5.
Cloruros	Proceden de la disolución de suelos y rocas que los contienen y que están en contacto con el agua, intrusión del agua salada (zonas costeras), agua residual doméstica, agrícola e industrial. Suministra información sobre el grado de concentración del agua residual.
Nitrógeno	Nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Básico para síntesis de proteínas.
Fósforo	Incrementa la tendencia de proliferación de algas en el receptor. Íntimamente ligado, igual que el nitrógeno, al problema de la eutrofización. <sup>(4)</sup>
Azufre	Requerido en la síntesis de las proteínas y liberado en su degradación.

Fuente: Adaptado (Naturaleza del agua residual domestica)

#### 1.2.1.2.2. Materia orgánica

Constituye la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, siendo los principales compuestos que se pueden hallar: Proteínas (40-60 %), Carbohidratos (25-50 %) y Grasas y aceites (10 %) (S. Salama et al, 2017).

### 1.2.1.3. Características biológicas

Las aguas residuales, dependiendo de su composición y concentración, pueden llevarse a cabo una gran cantidad de organismos. También influyen en su presencia la temperatura y el pH, puesto que cada organismo requiere unos valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse.

#### 1.2.1.3.1. Bacterias

Juegan un papel fundamental en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Según (A. Hernandez & J. Labbe, 2015) Pueden clasificarse, en base a su metabolismo, en heterótrofas y autótrofas. Las bacterias autótrofas son aquellas que se nutren de compuestos inorgánicos, tomando la energía necesaria para sus biosíntesis a partir de la luz (bacterias fotosintéticas: familia *Thiorhodaceae*, *Chlorobiaceae*) o a partir de ciertas reacciones químicas (bacterias quimiosintéticas: *Nitrobacter*, *Nitrosomonas*, *Hydrogenomonas*, *Thiotrix*). En el tratamiento biológico de las aguas residuales, las bacterias heterótrofas constituyen el grupo más importante, por su necesidad de compuestos orgánicos para el carbono celular. Las bacterias autótrofas y heterótrofas pueden dividirse, a su vez, en anaerobias, aerobias, o facultativas, según su necesidad de oxígeno.

#### 1.2.1.3.2. Algas

Las algas toleran un amplio espectro de condiciones ambientales con respecto a la temperatura, salinidad y calidad del agua. El uso de las algas como tratamiento del agua residual es habitual, como lo son los procesos biológicos que tienen lugar de forma natural en lagunas y lagos. Existen dos tipos de algas

#### 1.2.1.3.2.1. Algas fotosintéticas

Utilizan como nutrientes el nitrógeno y el fósforo del agua residual, capturan carbón y dióxido de carbono, utilizan energía solar y producen oxígeno como un producto residual (B. Liner, 2017).

#### 1.2.1.3.2.2. Algas heterótrofas

Utilizan compuestos químicos orgánicos para obtener el carbón y la energía (A. Hernandez & J. Labbe, 2015).

#### 1.2.1.3.3. Hongos

Es capaz de degradar moléculas orgánicas complejas, como las de los contaminantes emergentes en las aguas residuales. Estos contaminantes emergentes como antibióticos o antiinflamatorios.

### **1.3. Tipos de tratamiento de las aguas residuales domésticas**

El tratamiento de aguas residuales domésticas es un problema que compete al desarrollo local sostenible, para el saneamiento de estas aguas han surgido una serie de tecnologías. Es una instalación donde el agua sucia, o residual, es sometida a un proceso mediante el cual, por una combinación de diversos tratamientos físicos, químicos y/o biológicos se consigue eliminar la materia en suspensión, así como las sustancias coloidales y finalmente las sustancias disueltas que contiene. Todo esto para alcanzar unos niveles acordes con la normativa vigente y proporcionar una correcta integración de esta agua residual con el entorno, y obtener los

mejores rendimientos posibles. El tipo de tratamiento depende de las características del residuo líquido.

Las aguas residuales cuentan con grandes contaminantes y grandes procesos químicos que requieren de tratamientos especiales. Estos serán evacuados dentro del sitio en el cual son generadas como: tanques sépticos o a un sistema de alcantarillados o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y eventualmente bombas a una planta de tratamiento municipal.

Se sabe que uno de los tratamientos de mayor interés en las aguas residuales es el tratamiento biológico el cual se lleva a cabo mediante una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos como las bacterias para llevar a cabo la eliminación de componentes solubles en el agua. Estos procesos aprovechan la capacidad de los microorganismos de asimilar la materia orgánica y los nutrientes (nitrógeno y fósforo) disueltos en el agua residual para su propio crecimiento. Cuando se reproducen, se agregan entre ellos y forman unos flóculos macroscópicos. En este se encuentra dos procesos los aerobios y anaerobios.

### **1.3.1. Procesos aerobios**

Son los que cuentan con la presencia de oxígeno para degradar la materia orgánica con ayuda de los microorganismos, ya que estos se alimentan de dicha materia orgánica. (A. Alvarado, 2016) Dice que si existe oxígeno en el medio, éste será el aceptor final de electrones, lo que conlleva que se obtengan rendimientos energéticos elevados y una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias en condiciones.

Los procesos aerobios cuentan con algunos reactores para el tratamiento biológico de aguas residuales. La decisión respecto al reactor más apropiado viene dado por las características del efluente a tratar.

- Reactor biológico secuencial (SBR)
- Reactor biológico de membranas (MBR)
- Reactor biológico de lecho móvil (MBBR)

### 1.3.2. Procesos anaerobios

Es el proceso biológico en el cual los organismos asimilan su propio alimento sin presencia de oxígenos. Para (A. Alvarado, 2016) el tratamiento de aguas residuales domesticas con microalgas la digestión anaeróbica es la tecnología más utilizada ya que ayuda a convertir la materia orgánica a partir de aguas residuales en biogás, sin embargo, la eliminación de nutrientes se ve reducida.

Tabla 2. Ventajas y desventajas del proceso anaerobio

Ventajas:

- ◀ bajo consumo de energía; no se requiere aporte de O<sub>2</sub>
- ◀ posibilidad de recuperar y utilizar CH<sub>4</sub> como combustible (caro)
- ◀ el lodo obtenido es un lodo ya estabilizado

Desventajas:

- ◀ largo periodo de arranque si no se utiliza inóculo (4-6 meses)
- ◀ sensibilidad a variación de condiciones ambientales
- ◀ menor eficiencia en remoción de MO (aprox.80%)

Fuente: Adaptado (D. Cheng, et al, 2018)

Algunos reactores para los cuales es posible el tratamiento de aguas residuales en un proceso anaerobio

- UASB
- RAFAC



Figura 4. Proceso del tratamiento anaerobio

Fuente: Adaptado slidedeshare

Existen una gran variedad de formas de operar, dependiendo de las características del agua, así como de la carga orgánica a tratar. Los criterios que ayudan a seleccionar si es más conveniente un proceso aerobio, o bien si un proceso anaerobio (J. Romero, 2004).

Tabla 3. Ventajas y desventajas de cada proceso

	Aerobio	Anaerobio
Concentración materia orgánica	DQO<3.000 mg/L	DQO<3.000 mg/L
Espacio requerido	Muy elevado	Pequeño
Eliminación de nutrientes	Posible	No es posible
CAPEX (costes de inversión)	Bajo	Elevado
OPEX (costes de explotación)	Elevado	Bajo

Fuente: Adaptado. Blog condorchem

### **1.3.3. Tratamiento preliminar**

La etapa preliminar debe cumplir dos funciones: medir y regular el caudal de agua que ingresa a la planta y extraer los sólidos flotantes grandes y la arena (a veces, también la grasa). Los pretratamiento más usados en aguas residual domesticas son:

#### **1.3.3.1. Desbaste**

El desbaste tiene por objeto proteger a la estación de la posible llegada de grandes sedimentos que puedan provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación o dificultar los restantes tratamientos (A. Cuenca et al , 2014).

#### **1.3.3.2. Desarenado**

El objetivo de esta operación es eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguiente (A. Cuenca et al , 2014).

### **1.3.4. Tratamiento primario**

Reducen los sólidos en suspensión del agua residual. (A. Otondo et al , 2018) Dice que el principal objetivo del tratamiento primario es remover aquellos contaminantes que pueden sedimentarse, como los sólidos sedimentables y algunos sólidos suspendidos, o aquellos que pueden flotar como las grasas.

#### **1.3.4.1. Sedimentación primaria**



Involucra la evacuación de tanta materia sólida remanente como sea posible. El drenaje fluye hacia grandes tanques llamados Tanques de Sedimentación Primaria donde las partículas más pequeñas se asientan en el fondo.

#### 1.3.4.2. Tanques de imhoff

Se utiliza con el fin de efectuar simultáneamente una sedimentación y una digestión anaeróbica. Utilizado para el tratamiento primario en combinación con otro tratamiento secundario. Consta de 2 cámaras: la superior o cámara de sedimentación, por la que pasan las aguas negras a una velocidad muy reducida, permitiendo el asentamiento de la materia en suspensión; y la cámara inferior o de digestión, en la cual se desarrolla la digestión anaerobia de la materia sedimentada (A. Otondo. et al, 2018).

### **1.3.5. Tratamiento secundario**

El propósito del Tratamiento Secundario es completar el proceso de tal modo que se evacúe el 90% de los contaminantes. (A. Cuenca et al , 2014)

#### 1.3.5.1. Tanque de sedimentación secundaria

Permite a los micro-organismos y a los residuos sólidos crear cúmulos y asentarse (D. Cheng, et al, 2018). Alguna de esta mezcla llamada Lodo Activado, es una proceso de tratamiento por el cual, el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado arreador

### **1.3.6. Tratamiento terciario**

Tratamiento terciario o avanzado que está dirigido a la reducción final de la DBO; metales pesados, contaminantes químicos específicos, la eliminación de patógenos y parásitos.

Cuando los efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo secundario no cumplen con ciertos niveles de calidad se hace entonces necesario un tratamiento terciario o avanzado. Entre estos tratamientos se puede encontrar.

#### 1.3.6.1. Desinfección

El objetivo primordial de los procesos de desinfección, como parte del tratamiento de aguas residuales es la desactivación o destrucción de los microorganismos patógenos que puedan encontrarse en el agua residual municipal. Es la eliminación total del microorganismo que no son eliminados en el tratamiento secundario y que esta agua ya pasa hacer apta para el consumo humano.

#### 1.3.6.2. Tratamiento de lodos

El tratamiento de lodos generados en los procesos de tratamiento de aguas residuales está regulados bajo legislaciones específica, permitiendo una vez tratados adecuadamente, emplearlos en el sector agrícola como fertilizantes.

#### 1.3.6.3. Osmosis inversa

Consiste en la eliminación de sales al pasar el agua desde una disolución más concentrada a una más diluida.

#### 1.3.6.4. Intercambio iónico

Técnica utilizada para retirar sales en bajas concentraciones y para ello se emplean unas resinas que son capaces de retener iones temporalmente.

En la tabla 4 se presentan los diferentes tipos de tratamientos que se utilizan en una planta de tratamiento de aguas residuales

Tabla 4. Tratamientos primarios, secundarios y terciarios

Tratamiento primario (pretratamiento)	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
Homogenización	Lodos activados	Membranas:
Neutralización	- Convencional	- Microfiltración
Ajuste de pH	- Oxígeno puro	- Ultrafiltración
Coagulación	- Aireación extendida	- Osmosis inversa
Floculación	- De lecho móvil	- Electrodiálisis
Flotación	- De lecho fijo	Intercambio iónico
Filtración	- De lecho fluidizado	Adsorción
Desarenado	Biodiscos	Redox
Desaceitado	Filtros biológicos	Precipitación
Cribado	Lagunas aerobias	Ozono
	Lagunas anaerobias	Luz ultravioleta
	Digestión anaerobia	
	Sedimentación	
	Procesos anóxicos	
	Humedales artificiales	

Fuente: Adaptado. Blog ingeniería y medio ambiente

En la figura 5 se representa el tipo de tratamiento y cómo funciona en cada etapa del proceso cada uno de estos en una planta de tratamiento de aguas residuales.

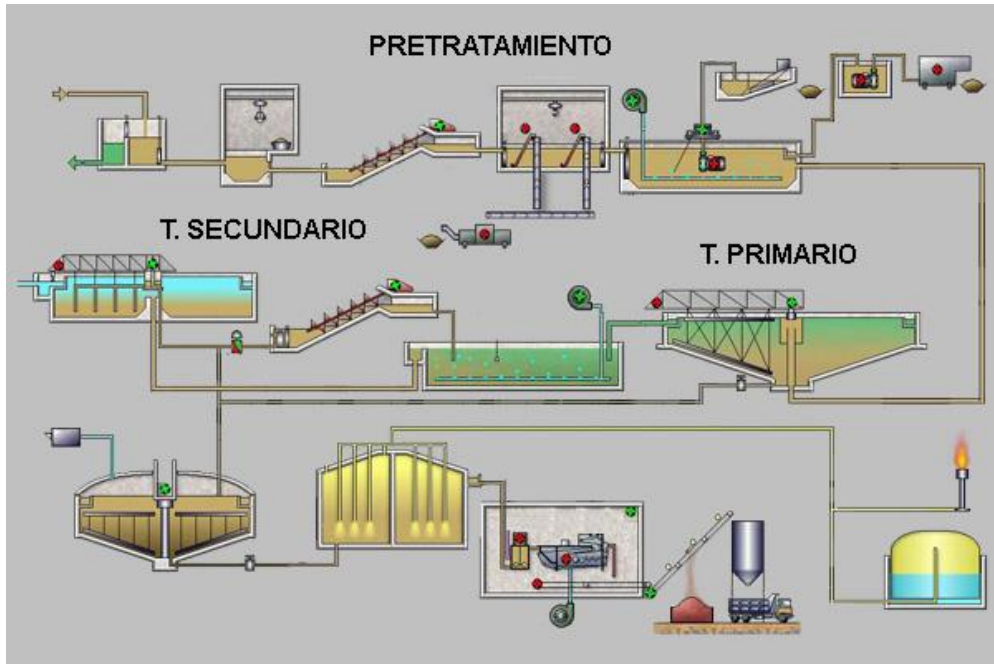


Figura 5. Etapas del proceso

Fuente: Adaptado (josepf, 2015)

## 1.4. Normativa de las aguas residuales

En la siguiente tabla, se puede observar la normativa relacionada con el manejo y el tratamiento de aguas residuales, documento, entidad u organismo que expide la norma y el tema u objetivo.

Tabla 5. Política y normatividad relacionada con el manejo y tratamiento de aguas residuales

<b>Sector Salud</b>	
Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
Ley 9 de 1979	Código Sanitario Nacional
Decreto 1594 de 1984	Uso del agua y vertimientos
<b>Sector Agua Potable y Saneamiento Básico</b>	
Ley 142 de 1994	Régimen de los servicios públicos domiciliarios
Ley 373 de 1997	Uso Eficiente y Ahorro del agua
Resolución 1096 de 2000	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento - RAS.
<b>Medio Ambiente</b>	
Ley 99 de 1993	Organiza el SINA y crea el Ministerio del Medio Ambiente.
Decreto 3100 de 2003	Tasas retributivas
Resolución 372 de 1998	Monto de las tasas mínimas para las tasas retributivas
Decreto 155 de 2004	Tasas por utilización del agua
Resolución 240 de 2004	Establece tarifa mínima para las tasas por utilización de agua
Decreto 1180 de 2003	Licencias Ambientales
<b>Documentos de Política</b>	
Constitución Política Nacional. 1991.	
Ley 812 de 2003 por la cual se aprueba el Plan Nacional de Desarrollo 2003-2006, hacia un Estado comunitario.	
Lineamientos de Política para el Manejo integral del agua. Aprobado por el Consejo Nacional Ambiental en 1996.	
Política pública para el sector de agua potable y saneamiento básico de Colombia. 2001.	
Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia. Aprobado por el Consejo Nacional Ambiental en 2000.	
Conpes 3146 de 2001, Estrategia para consolidar la ejecución del Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres en el corto y mediano plazo.	
Conpes 3164 de 2002, Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia – Plan de Acción 2002 – 2004.	
Conpes 3177 de 2002, Acciones Prioritarias y Lineamientos para la Formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales (PMAR)	
Ley 812 de 2003, Ley del Plan Nacional de Desarrollo 2002 –2006 Hacia un Estado Comunitario.	
Lineamientos de la Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros – LPNOEC. Adoptado por los miembros de la Comisión Colombiana del Océano en 2003.	

Fuente: Adaptado. Ministerio del medio ambiente

# *CAPÍTULO 2*

## *2. CONCEPTOS DE LA MICROALGAS*

### **2.1. Biología de las microalgas**

El uso de microalgas como depuradoras de aguas residuales se dio a comienzo de los años 50 cuando oswald y sus colaboradores, les surgió la idea de la utilización de cultivos masivos de microalgas para el tratamiento de aguas residuales y producción de proteínas (L. Souza, 2019). Las microalgas poseen una capacidad ficorremediadora que consiste en la eliminación o biotransformación de contaminantes de un medio líquido o gaseoso. El Biohidrógeno, bioetanol, biodiesel y biobutanol hace referencia a los biocombustibles como gaseosos y líquidos que se producen predominantemente a partir de biomasa (W. Wu, 2019). Estos compuestos contaminantes son captados por la biomasa algal y pueden ser recuperados mediante su cosecha (A. Hernandez & J. Labbe, 2015). Esta capacidad resulta en un sistema de cultivo con 2 propósitos: eliminación de contaminantes y producción de biomasa con fines comerciales. Ambos objetivos dependen del sistema de cultivo, o las especies cultivadas y los factores ambientales. Las microalgas son una fuente de productos de alto valor que cubren una amplia gama de aplicaciones. Sin embargo, los costos incurridos por el cultivo de ellos hacen que sea un proceso costoso (L. Souza et al, 2019).

Las técnicas más comunes empleadas actualmente en microalgas de interés de derechos y la recuperación son centrifugación, la coagulación, la técnica de la electroforesis, floculación, filtración, flotación, sedimentación por gravedad y separación magnética (M. Mubarak et al, 2019). Otra tecnología utilizada para aumentar el contenido de sólidos en suspensión de las

algas es la deshidratación procesamiento que se utiliza antes de la extracción de petróleo y el cual es eficiente (I. Udom, 2015).

La tabla 6 muestra las ventajas y desventajas de los diferentes métodos que se utilizan a la hora de cosechar microalgas como se puede observar la floculación es el método más eficiente debido a su bajo costo y la facilidad de ejecución que permite grandes cantidades de cultivo con energía reducida.

Tabla 6. Ventajas y desventajas de los diferentes métodos de cosecha para microalgas

Método utilizado	Ventajas	Desventajas
Centrifugación	Se necesita menos tiempo.	Alto consumo de energía, que causa daño a las células debido a las fuerzas gravitatorias, se necesita un equipo costoso.
Coagulación	Permite el tratamiento de grandes cantidades de cultivos de microalgas.	Costoso en dosis altas, provoca problemas de contaminación.
Electroforesis	La selectividad, la eficiencia energética y la rentabilidad.	Ensuciamiento de los catódicos los sistemas se dañan por las altas temperatura.
Flotación	Más eficaz y beneficioso que la sedimentación.	Requiere tamaño un gran tamaño de partículas de biomasa algal, las burbujas de gran tamaño rompen los flocs, proceso costoso.
Separación magnética	Bajos costos operativos, ahorro de energía y un funcionamiento sencillo.	La fabricación es compleja y costosa, requiere gran cantidad de tierra, proceso muy lento.
Filtración	Filtración selectiva es posible.	Requiere de un elevado periodo de la membrana.
Floculación	El costo y la energía necesario son menos, pueden utilizar una alta variedad de microalgas.	Algunos tipos de floculantes como quitosano pueden ser costosos, a altas dosis provoca la contaminación.

Fuente: Adaptado. (M. Mubarak et al, 2019)

Con respecto a la eliminación de nutrientes, los mecanismos implicados en este proceso pueden ser deficientes, por ejemplo,  $\text{NH}_4^+$  la eliminación se puede lograr ya sea por absorción de

microalgas, volatilización debido a un aumento pH, O por oxidación a nitrato por bacterias nitrificantes (A. Garcia et al, 2019).

### **2.1.1. Parámetros a considerar en un cultivo de microalgas**

La elección de las especies a cultivar depende directamente de la finalidad que se le desea brindar a la biomasa resultante o si el cultivo es para ficorremediación (Victor, 2019). Las especies algales predominantes dentro de un sistema abierto dependen de factores ambientales, operacionales y parámetros biológicos. En un sistema cerrado se pueden lograr cultivos monoespecíficos aislados del medioambiente (K. Azianabiha, 2019).

#### 2.1.1.1. Luz

La intensidad lumínica es uno de los principales parámetros a considerar en un cultivo. En ausencia de limitación por nutrientes, la fotosíntesis se incrementa con el aumento de la intensidad lumínica, hasta alcanzar la máxima tasa de crecimiento específica para cada especie en el punto de saturación por luz (L. Moreno, 2019).

#### 2.1.1.2. Temperatura

La temperatura es una de las variables más estudiadas debido a la facilidad de variación y su relación con el incremento del coste económico total del proceso. Además se ha analizado la gran importancia de la temperatura en la producción de los ésteres que constituyen el biodiesel (A. Torres, 2016).



### 2.1.1.3. Nutrientes

El nitrógeno es el nutriente más importante para las microalgas (después del carbono) y se incorpora como nitrato o como amonio. Es también un factor crítico para regular el contenido de lípidos de las microalgas (L. Moreno, 2019).

## 2.2. Tipos de microalgas

La transformación de biomasa orgánica a bioingeniería es uno de los procesos biológicos más ampliamente aplicados para la producción de hidrogeno y metano con diferentes tipos de bacterias. (Q. Lui et al, 2019) encontró un efecto mutuo entre algas y bacterias en un sistema simultáneo, el cultivo de algas-bacterial podría mejorar la asimilación de nutrientes y resultar en una productividad de biomasa superior, las bacterias asimilan carbono orgánico para el crecimiento y proporcionan CO<sub>2</sub> que es más favorable para las microalgas, mientras que las microalgas producen oxígeno y otros nutrientes que podrían ser utilizados por las bacterias, según (Y. Chen et al, 2017) algunas bacterias anaerobias como *Clostridium spp.* Son el principal procedimiento para la conversión de biomasa en hidrógeno, pero durante el proceso de fermentación oscura, la mayor parte del carbono permanece en la fase líquida en forma de ácidos grasos volátiles, alcoholes y acetona. Durante el proceso de metanogénesis, la reducción de la DQO es más eficiente, mientras que en la acidogénesis la mayoría de los hidrógenos se consume pero contenidos de nitrógeno y fósforo todavía permanecen en cierta medida. Si esto pasa el biogás generado no va hacer altamente eficiente por lo que va ser emitido a la atmosfera y causar el calentamiento global.

Para (L. Souza et al, 2019) Las microalgas *C. sorokiniana* como genero *Chlorella* es predominante en los sistemas de cultivo en el tratamiento de agua residual, Asimismo, es resistente a las condiciones extremas de pH alcalinas. Estas microalgas se aclimataron a la dirección anteriormente efluente para ser utilizado como inóculo.

Además, la presencia de otros microorganismos en las aguas residuales, tales como bacterias, también juega un papel importante en la promoción de la eliminación de nutrientes y el crecimiento de microalgas (A. Garcia et al, 2019). Para (V. Akubude, 2019) la especies oleaginosas han sido considerados como fuentes prometedoras de aceite para biocombustibles, como sustitutos de la gasolina, el queroseno y el diésel, siendo tanto renovable, neutral del carbono y necesaria para la sostenibilidad ambiental y económica con su potencial biotecnológico.

La siguiente tabla muestra la eliminacion de digestion anaerobio y residuos de microalga y la mejor eficiencia del biogas y DQO.

Tabla 7. Diferentes cultivo de microalgas con efluentes de digestión anaerobia para producir bioenergía

microorganismo utilizado	Efluente y biogás composición	mejora Biogas asimilación de carbono de referencia
<b>Scenedesmus oblicuo, palea Nitzschia AD interno estéril efluente y desulfurado</b>	biogás con 33% de CO <sub>2</sub>	61-84% CH <sub>4</sub> eliminación de la DQO 60-68%
<b>Chlorella pyrenoidosa mutante PY-ZU1</b>	digestato estiércol de cerdo efluente, suministrado con 15% de CO <sub>2</sub>	- eliminación de la DQO 79%
<b>Scenedesmus oblicuo</b>	AD interno estéril efluente y el biogás desulfurado con 34% de CO <sub>2</sub>	61-82% CH <sub>4</sub> 63% de eliminación de DQO 62% de CO <sub>2</sub> eliminación
<b>Scenedesmus sp.</b>	digestato porcina Raw y el biogás no tratados con 26% de CO <sub>2</sub> y 3000 ppm H <sub>2</sub> S	- 66% de CO <sub>2</sub> eliminación
<b>Chlorella sp. mutante MM2</b>	biogás aguas residuales AD porcina, desulfurado con 20% de CO <sub>2</sub> fotobiorreactor al aire libre, tiempo soleado	70-87% CH <sub>4</sub> 80% de CO <sub>2</sub> eliminación
<b>Chlorella sp.</b>	AD interno estéril efluente desulfurado y biogás con 31% de CO <sub>2</sub>	64-94% CH <sub>4</sub> eliminación de la DQO 79%
<b>Scenedesmus sp.</b>	AD interno estéril efluente desulfurado y biogás con 35% de CO <sub>2</sub>	62-94% CH <sub>4</sub> eliminación de la DQO 93%
<b>S. oblicuo FACHB-31</b>	Porcina aguas residuales AD efluente en DQO 1600 mg / L, el biogás desulfurado con 37% de CO <sub>2</sub>	59-87% CH <sub>4</sub> 75% de eliminación de DQO 78% de CO <sub>2</sub> eliminación
<b>Chlorella sp. MB-9</b>	Biogás a partir de cerdos de aguas residuales AD, desulfurado con 20% de CO <sub>2</sub>	69-91% CH <sub>4</sub> 86% de CO <sub>2</sub> eliminación

Fuente: Artículo de revista (Y. Chen et al, 2017)

Teniendo en cuenta esto, las cantidades de nutrientes esenciales necesarios para el cultivo de microalgas, aproximadamente 40 y 10 mg/L de nitrógeno total y fósforo, respectivamente. Por lo que es factible desde el punto de vista económico, práctico y sostenible (L. Souza et al, 2019).

La integración de la digestión de los lodos y el cultivo de microalgas puede hacer frente a los problemas de sostenibilidad tanto de energía y eliminación de residuos. Desde una perspectiva económica, la utilización de residuos para el cultivo de microalgas y el procesamiento de múltiples niveles para la extracción de la energía total de la mezcla puede reducir los costes de cultivo y así reducir los precios de los biocombustibles asociados. (A.

Niccolal, 2019) dice que este proceso deben ser abordados antes de la implementación a gran escala: primero, identificación de una cepa de microalgas robusto capaz de utilizar tanto el carbono orgánico e inorgánico, tolerando los niveles de pH extremos y la acumulación de grandes cantidades de lípidos o hidratos de carbono; segundo, la optimización de los factores bióticos y abióticos asociados con la digestión anaerobia y el cultivo de microalgas, minimizando la entrada de energía y la huella de carbono; tercero, métodos de cosecha eficaces para la biomasa de microalgas de baja densidad y de bajo costo; y cuarto, cepas modificados genéticamente para satisfacer los requisitos del proceso.

### **2.3. Tratamiento de Aguas residuales con microalgas**

A medida que aumenta la demanda de agua potable, la escasez de agua se está convirtiendo en serios problemas a causa del cambio climático y la contaminación del agua. Por lo tanto, las tecnologías de tratamiento de agua que purifican las aguas residuales son cada vez más importantes (S. Hwan et al, 2019). Este tipo de aguas cuentan con una gran cantidad de metales pesado que son muy difícil de detectar o elimina, por lo cual constituyen un medio apropiado para el crecimiento de microalgas, las cuales han demostrado su capacidad para remover cantidades apreciables de nutrientes. Estas grandes cantidades de nutrientes se generan mediante procesos agrícola y actividades industriales, lo que inevitablemente puede causar eutrofización acuática en el medio ambiente (Q. Lui et al, 2019). Según (P. Kiran, 2019)la eutrofización se presenta debido a la presencia de compuestos nitrogenados y de alta convergencia de amonio debido a alimento desintegración proteína. El Cultivo de microalgas

junto con tratamiento de aguas residuales proporciona una producción de biomasa con alto valor económico y también asegura la eliminación segura de aguas residuales eliminación de nutrientes inorgánicos (nitrógeno y fósforo) para el crecimiento de microalgas (L. Souza et al, 2019). (O. Kamolafe, 2015) Aporta que después del tratamiento las microalgas pueden reciclar CO<sub>2</sub>, y la biomasa de algas residual después de la extracción de aceites se puede utilizar como fertilizantes o se fermenta para producir alcohol. Para la generación de biomasa Se requiere pre-tratamiento para reducir la carga orgánica (disuelto y sólidos en suspensión) antes de aplicarla al cultivo de microalgas, tales como la sedimentación (L. Souza et al, 2019). Estos nutrientes se pueden encontrar en abundancia en diferentes tipos de flujos de residuos tales como lixiviados de vertederos, el compostaje filtrados procedentes de los sitios de compostaje anaeróbico, y los hogares y residuos líquidos municipales (L. Moreno, 2019).

#### 2.3.1. Ventajas

- Las aguas residuales son un bajo costo y un excelente medio libremente disponibles para varios crecimientos de microalgas. Contiene macro y micro-nutrientes que soportan el crecimiento de microalgas, Nitrato, amonio, fosfato, urea, y minerales traza son los principales nutrientes microalgas. El carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) son los tres nutrientes de la más captura cuando se evalúa una fuente de aguas residuales para la mejora del crecimiento de microalgas (S. Salama et al, 2017).
- mayor rendimiento fotosintético con la productividad de lípidos superior.
- Menor impacto ambiental.
- Mitigar CO<sub>2</sub> emisiones combinadas con la generación de biomasa.
- Las bacterias aerobias, que son las encargadas de oxidar y eliminar los contaminantes orgánicos presentes en los efluentes.

- Las microalgas son capaces de crecer en cualquier tipo de agua residual.

### 2.3.2. Desventajas

- Baja accesibilidad de las células a la luz
- La evaporación
- La necesidad de grandes extensiones de terreno
- Exposición a contaminación por parte de organismos heterótrofos de rápido crecimiento

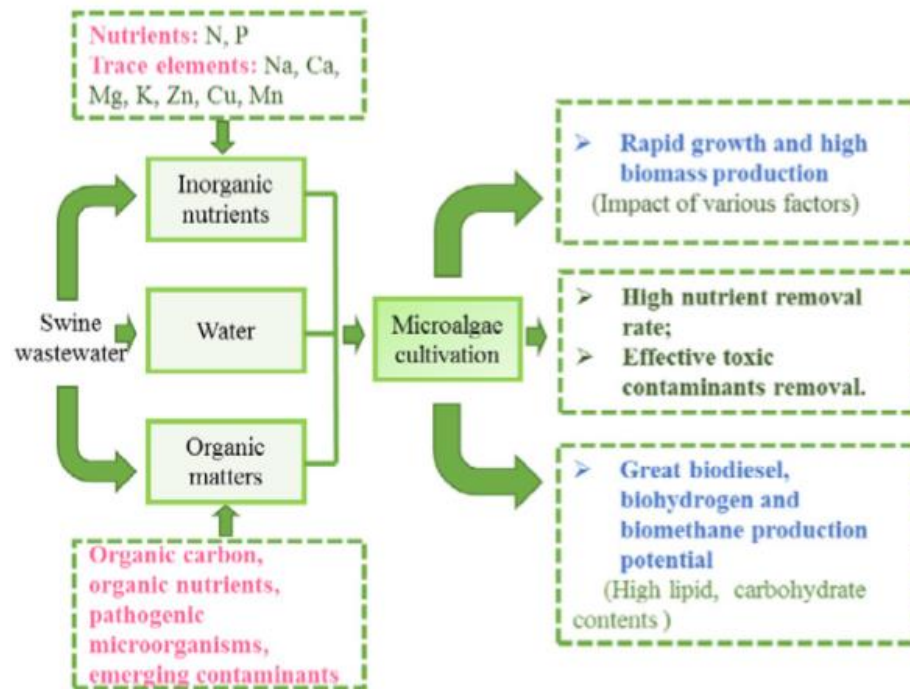


Figura 6. Representación gráfica de biomasa de microalgas y su conversión a la bioenergía.

Fuente: Adaptado (D. Cheng, et al, 2018)

### 2.3.3. Productos derivados del cultivo de microalgas

El cultivo de microalgas permite la obtención de diversos productos para fines energéticos. Cierta parte de los procesos y de las especies de algas usadas son secretos industriales, aunque ya se puede afirmar que se está trabajando en la obtención de los siguientes productos:

#### 2.3.3.1. Biodiesel

Ciertas microalgas, con la finalidad de flotar y captar con ello mejor la luz solar, producen aceites que almacenan entre sus membranas (J. Chen, 2018). Es posible extraer estos aceites y emplearlos como combustible en motores diésel.

#### 2.3.3.2. Bioetanol

Para obtener bioetanol directamente de las microalgas. El sistema se basa en el cultivo de un tipo de microalgas verde azuladas denominadas cianobacterias que se alimentan de CO<sub>2</sub> y que producen de manera natural etanol (Y. Young, 2019).

#### 2.3.3.3. Biomasa

Las algas contienen celulosa que se puede emplear para distintos fines, entre ellos el energético. (J. Chen, 2018) Afirma que el poder calorífico del kilogramo de biomasa de alga es similar al del carbón. Otro uso que tiene la biomasa de algas es la producción de papel.

#### 2.3.3.4. Biopetróleo

Se ha desarrollado un proceso que permite obtener biopetróleo a partir de las algas. Aunque no se conocen públicamente los detalles, en principio se trataría de reproducir de manera artificial y acelerada los procesos biológicos que dieron lugar al petróleo de origen fósil. Este biopetróleo mantendría las ventajas y los usos del petróleo actual (combustibles, plásticos y petroquímica) siendo incluso necesario refinarlo, pero evitando sus inconvenientes (contaminación por azufre y otros metales pesados, emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera).

# CAPÍTULO 3

## **3. BIORREFINERIA**

### **3.1. Historia**

La conservación de los recursos naturales así como su adecuada gestión están entre las principales acciones a conseguir un desarrollo sostenible para el siglo XXI. A medida que pasa el tiempo observamos como la explotación de petróleo aumentado por esto (T. Fazal, 2017) en colaboración de otros autores aporten que el crecimiento económico supone alcanzar una producción industrial basada en recursos sostenible, reduciendo la dependencia de recursos fósiles no renovables como el carbón el petróleo y el gas natural y con ello el incremento del CO<sub>2</sub> en la atmosfera. Además hay que tener en cuenta que mientras la producción energética está basada en varias materias prima como el viento, sol, agua, biomasa o energía nuclear; la de los productos químicos y materiales está basada exclusivamente en biomasa. Por lo tanto a medida de que avanza la tecnología va a ser posible sustituir la producción actual de refinerías de petróleo basada en materia prima fósiles por la producción de bioenergía bioproductos y biomateriales derivados de diferentes tipos de biomasa lo que llamamos como biorrefinerias. Las microalgas son materia prima de biomasa que ha encontrado aplicación notable en la producción de biodiesel. Estas son famosos para tener alto contenido de lípidos, CO<sub>2</sub> mitigación de emisiones, la tasa de crecimiento rápido y uso de la tierra no cultivables para el cultivo (V. Akubude, 2019). Estas cualidades presente microalgas como ventajoso sobre otros diversos materia prima. A medida que la demanda de energía está creciendo en todo el mundo, aproximadamente el 80% del consumo total de energía se entrega a partir del petróleo, gas natural y carbón con un aumento



de las emisiones de gases de efecto invernadero que debe ser reducido en un 10% en 2020 según la Unión Europea previsto objetivos y se espera que el consumo anual de combustibles de origen fósil aumente aproximadamente un 90% en 2030 (J. Curcas, 2017).

### **3.2. *Biocombustible de primera generación***

Estos son aquellos producidos de biomasa como aceite de palma, caña de azúcar, aceite de soya entre otros comestible; su tecnología de producción están desarrolladas y existen plantas para su comercialización.

### **3.3. *Biocombustible segunda generación***

Los biocombustibles de segunda generación se obtienen a partir de biomasa lignocelulósica. Esta biomasa procede de residuos de cultivos, de subproductos de las industrias alimentaria y forestal. A diferencia de los de primera generación, estos residuos no sólo no tienen valor económico en el contexto en el que se generan, sino que suelen provocar problemas ambientales durante su eliminación.

### **3.4. *Biocombustible tercera generación***

Son producidos a través de microorganismos como los hongos, levaduras, microalgas; estos pueden acumular grandes cantidades de lípidos. Los biocombustibles de tercera generación específicamente derivados de microalgas son la fuente de energía alternativa que puede evitar los principales inconvenientes de primeras y segunda generación biocombustibles derivados de caña de azúcar, la agricultura lignocelulósica y residuos forestales (W. Wu, 2019).

Tabla 8. Conceptos de biorrefinería

Biomass transformation processes	Biorefining
• <i>Linear production chains</i>	• <i>Combination of flows of matter from several bioindustries</i>
• <i>Materials in competition with food</i>	• <i>Reduction in the competition with fertile land by making use of waste</i>
• <i>Limited exploitation</i>	• <i>High productivity of bioproducts per unit area</i>
• <i>Consumption of non-renewable energy</i>	• <i>Consumption of a high percentage of energy from biomass</i>
• <i>Urban industrial zones</i>	• <i>Positive environmental impact</i>
• <i>Major industrial complexes (oil refinery)</i>	• <i>Expectation of revitalizing rural areas</i>

Fuente: Adaptado. (V. Akubude, 2019)

Las microalgas como una fuente de materia prima del biodiesel son los siguientes:

- El crecimiento de microalgas es extremadamente rápido en comparación con las plantas terrestres, y la biomasa se puede doblar dentro de las 24 h.
- El contenido de aceite de la biomasa de microalgas puede alcanzar más de 50% del peso celular seco.
- El rendimiento de aceite por la superficie cultivada es mayor que la de los cultivos de semillas oleaginosas.
- Las microalgas son microorganismos acuáticos, y por lo tanto no compiten por los terrenos necesarios para los cultivos agrícolas.
- La producción de microalgas no compite con la producción de alimentos para consumo humano.
- Las microalgas son capaces de crecer en condiciones que no son adecuados para los cultivos.

- Las microalgas puede convertir CO<sub>2</sub> en biomasa, y puede reducir la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.
- Los biocombustibles producidos a partir de microalgas no contienen azufre, y son no tóxicos y altamente biodegradable.

### **3.5. *Producción de biogás a partir de la biomasa de las microalgas***

La creciente demanda de energía conduce a la búsqueda de biocombustibles sostenibles como el biodiesel a partir de fuentes renovables como la biomasa de algas. Especialmente, las microalgas se han convertido en cada vez más popular como materia prima del biodiesel en segundo lugar a sus tasas de crecimiento rápido y relativamente alto nivel de lípidos (Victor, 2019). Uno de los principales problemas que enfrenta la humanidad en el siglo 21 son los problemas de calidad del agua y el suministro de energía. La población del mundo necesitará 70% de productos alimenticios, 50% de energía, 50% de agua y un 50 - 80% de disminución en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (S. Salama et al, 2017). Existe un interés creciente en el acoplamiento de tratamientos de residuos biológicos para la producción de bioenergía. El método consiste en utilizar microalgas para tratar aguas residuales y luego usa la biomasa de algas recolectadas para generar biocombustibles. Teniendo en cuenta estas estimaciones, todas las reservas de petróleo son susceptibles de ser consumidos por 2064 y, por tanto, el desarrollo de fuentes de energía renovables requiere atención inmediata. Una fuente de energía renovable prometedora que ha surgido para reemplazar posiblemente petróleo crudo y satisfacer las necesidades futuras de energía es el biodiesel (S. junio et al , 2019). Las ventajas para la producción de biocombustibles a partir de biomasa de microalgas incluye que muchas especies de microalgas tengan alto contenido en lípidos (20 – 50), la tasa de crecimiento más alta en un período muy corto de tiempo y la disponibilidad de diversos compuestos químicos

de alto valor a partir de la biomasa de algas (D. Cheng, et al, 2018). Otras ventajas de las algas como fuente de aceite para biocombustibles incluyen su capacidad para crecer a tasas elevadas que exhiben un tiempo de duplicación rápido biomasa (normalmente 1-6 días) y la producción de 10-20 veces más aceite en 1 año que cualquier planta de cultivo de aceite (V. Akubude, 2019) . Para (L. Souza et al, 2019) Las desventajas para la producción de biocombustibles a partir de biomasa de microalgas es que el cultivo sea a escala comercial, la productividad de lípidos inestable, regulación de la temperatura para el sistema de cultivo, y el costo de energía para la recolección de la biomasa y la extracción de los lípidos.

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente por metano y dióxido de carbono, y pequeñas porciones de otros gases, como H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, entre otros. Además que la composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del tipo de proceso.

Tabla 9.Componentes del biogas

Componentes	Fórmula Química	Porcentaje %
Metano	CH <sub>4</sub>	60-70
Gas Carbónico	CO <sub>2</sub>	30-40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1.0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1
Ácido Sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0.1

Fuente: Articulo de revision (J. Ricardo, 2015)

Tras completarse el proceso de tratamiento de residuos, la biomasa algal resultante puede aprovecharse en otros ámbitos. Se ha comprobado la generación de metano (biogás) o biodiesel, una línea de investigación que está siendo objeto de profundo estudio. La obtención de metano se produce por digestión anaerobia, al suprimir el oxígeno que necesitan estos organismos fotosintetizadores. Por otra parte, las microalgas pueden constituirse como fuente de biodiesel debido a su gran contenido en lípidos y su rápido crecimiento. Por ejemplo, el contenido de aceites supera en muchas especies el 30 por ciento de su peso seco, y en algunas incluso el 75 por ciento (S. Gupta, 2016).

La mayoría de los procesos de producción de biocombustibles podrían ser sostenibles debido a las bajas emisiones y el uso de fuentes renovables, pero la producción de biocombustibles a partir de microalgas no es ambientalmente competitivo debido a un elevado consumo energético de la extracción y recolección de aceite (W. Wu, 2019).

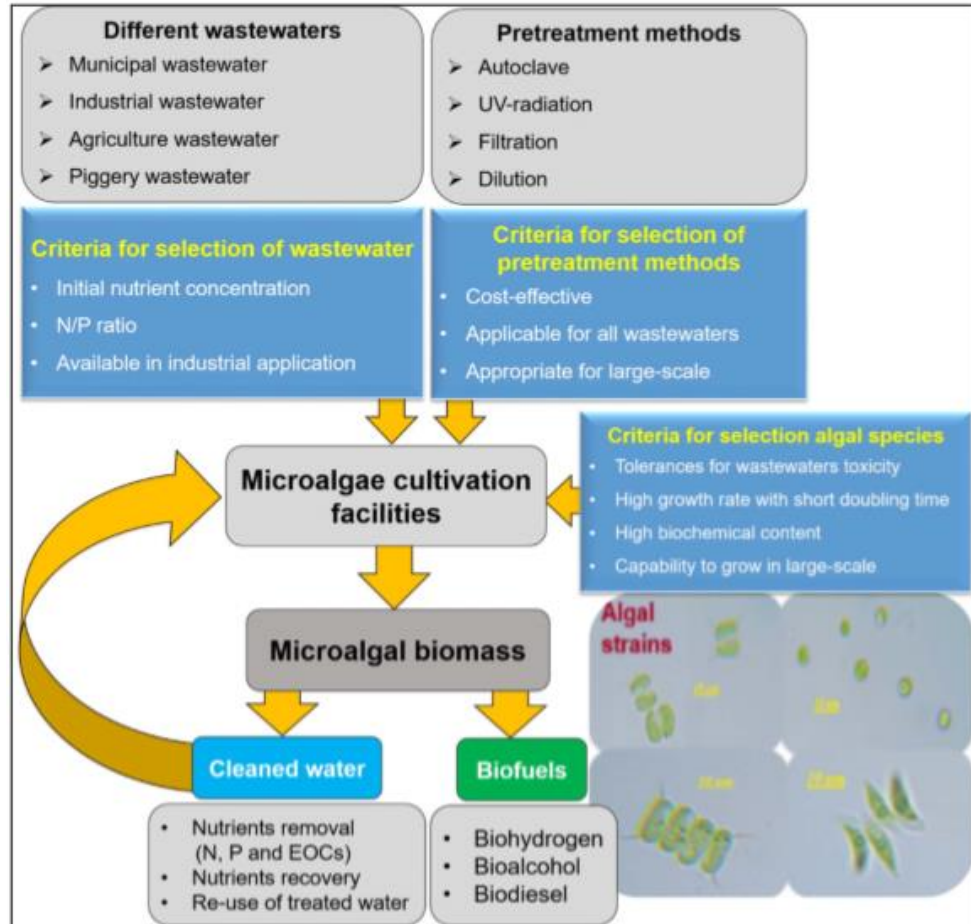


Figura 7. Esquema de tratamiento de aguas residuales microalgas mediada con la producción de biomasa para la generación simultánea de biocombustible.

Fuente: Adaptado (S. Salama et al, 2017)

El crecimiento de la demanda de energía, sobre todo, en los países en desarrollo ha dado lugar a la fuerte demanda de combustibles fósiles. Yendo con el actual escenario energético, uno tiene que cambiar a fuentes de energía renovables para el desarrollo sostenible. Producción de combustibles a partir de materia prima de base biológica es uno de tales procesos que pueden ofrecer una solución sostenible en el escenario energético actual (S. Raghuvanshi, 2018).

### 3.5.1. Producción de lípidos

En esta sección del capítulo 3 se analizara la eficiencia del obtención de lípidos aportados por diferentes autores para (S. Raghuvanshi, 2018) la producción lípidos considera en lugar de la eficiencia debido al enfoque de la energía. La producción de lípidos, tanto para los procesos (es decir, de extracción y de transesterificación) se toma como 99%. La productividad de crecimiento de las algas se toma como 25%. El potencial de las microalgas como fuente renovable para la producción de biodiesel sostenible es prometedora debido a la capacidad de almacenar más cantidad de lípidos (20 - 75% en peso) (J. Curcas, 2017). La acumulación de lípidos en las microalgas generalmente se produce a expensas del crecimiento celular más lento, debido a las condiciones de estrés. Por lo tanto, es razonable evaluar la producción de lípidos el concepto de la productividad más importante desde el punto de vista ingenieril.

Generalmente, el contenido de lípidos y la composición de ácidos grasos de cada materia prima del biodiesel son factores importantes a considerar en el proceso de producción de biodiesel (V. Akubude, 2019). Tabla 1 muestra el contenido de lípidos de algunas especies de microalgas y que indica que algunas de las especies de algas tienen contenido de lípidos más del 50%. El contenido de lípidos y la composición de ácido graso tienen efecto significativo sobre el rendimiento y calidad del biodiesel producido.

Tabla 10. Contenido en lípidos de algunas especies de microalgas

especies de microalgas	contenido de lípidos (% de peso seco)
<i>Anabaena cylindrica</i>	4-7
<b>Ankistrodesmus sp.</b>	24-41
<i>Botryococcusbraunii</i>	25-80
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	21
<i>Chlorella emersonii</i>	28-32
<i>Chlorella minutissima</i>	57
<i>Chlorella protothecoides</i>	57.9
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	2
<i>Chlorella sp</i>	28-32
<i>Chlorella vulgaris</i>	14-22
<i>Cryptocodiniumcohnii</i>	20
<i>Cryptocodiniumcohnii</i>	20-51
<i>Cylindrothecasp</i>	16-37
<i>Dunaliellabioculata</i>	8
<i>Dunaliellaprimolecta</i>	23
<i>Dunaliella salina</i>	6
<i>Dunaliellatertiolecta</i>	35.6
<i>Euglena gracilis</i>	14-20
<b>Hormidium sp.</b>	38
<i>Isochrysis</i> sp	25-33
<i>Monallanthussalina</i>	> 20
<b>Nannochloris sp.</b>	30-50
<i>Nannochloropsissp</i>	31-68

Fuente: Adaptado (V. Akubude, 2019)

### 3.5.2. Metodología de la producción de biogás

Las microalgas podría ser un agente prometedor para la producción de bioenergía y mitigación de CO<sub>2</sub>, no sólo por su alto contenido de aceite, sino también por varias ventajas que tiene a su favor; alta eficiencia fotosintética y eficiente tasa de crecimiento que permite la recolección en el corto espacio en comparación con las plantas terrestres, baja calidad del agua puede ser utilizada para el crecimiento tales como aguas residuales de ganado (Y. Young, 2019).



El Sistema de producción de microalgas a biocombustibles, han sido bien establecida se centra en la producción de biomasa, la cosecha, las tecnologías de conversión, y la extracción de los productos útiles (W. Wu, 2019). Para estudiar la producción de Biodiesel a partir de microalgas, fue diseñado un proceso para minimizar el consumo de agua, así como el consumo de energía Y la totalidad de los pasos de este proceso, incluyendo diseños, tecnologías y aspectos técnicos que se han discutido a fondo.

Las microalgas son complejas en su composición y requieren sistemas de cosecha especializada. Se compone de un gran grupo de organismos heterótrofos, fotosintéticos de diferentes grupos filogenéticos, que representan muchas divisiones taxonómicas. Son organismos unicelulares microscópicos que utilizan la luz solar como fuente de energía y CO<sub>2</sub> como fuente de carbono para producir biomasa, con mayores rendimientos que las plantas fotosintéticas (V. Akubude, 2019).

“La recolección de microalgas implica tres componentes generales recuperación a saber, la biomasa, la deshidratación, y secado. Existen varias técnicas que se pueden emplear, pero la elección de la técnica de recolección adoptado depende de las características de microalgas, por ejemplo, tamaño, densidad, y el valor de los productos”. Según (A. Hernandez & J. Labbe, 2015) Las microalgas pueden ser cosechados utilizando micro-pantallas esencialmente a través del método de centrifugación, floculación método, sedimentación por gravedad, filtración, tamizado, flotación o mediante técnicas de electroforesis.

Los proyectos en cultivo masivo de microalgas para el desarrollo de las energías renovables fueron estudiados debido a la crisis del petróleo de 1970 (V. Akubude,

2019). En Xalapa, Veracruz, científicos mexicanos, en colaboración con colegas de España e Italia, han desarrollado e instalado una biorrefinería para el tratamiento de aguas residuales por medio de microalgas, que al tiempo produce biomasa con alto valor agregado para la generación de biocombustibles. Se trata de un sistema sustentable que incluye una laguna de fitotratamiento de agua clasificada como contaminada, la cual genera agua fitotratada que permite el cultivo de microalgas capaces de acumular lípidos en sus células, a fin de obtener biodiesel de buena calidad.

- El primer paso es una laguna de fitofiltración aquí se determinara si la planta utilizada es eficiente
- En esta parte se produce el biogás e hidrógeno a partir de esta biomasa hidrolizada.

Los biocombustibles son una alternativa eficaz debido a que tienen menores impactos económicos y ambientales; sin embargo, especialistas advierten que su producción y uso deben apegarse a estrictos criterios de sustentabilidad, garantizando que no impacten indebidamente la calidad del aire, agua y suelo (Y. Young, 2019).

### **3.6. Aplicaciones**

La biomasa derivada del proceso de purificación de aguas residuales puede ser utilizada como fertilizante para cultivos. Se trata de una buena solución, ya que tiene como ventaja respecto a la aplicación de estiércol bruto la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas y la mejora de la calidad del suelo, según (S. Deshmukh,

2019). Además, algunos tipos de microalgas, como la 'chlorella vulgaris' presentan concentraciones de proteínas más elevadas que las semillas de soja, lo que las hace apropiadas incluso para la alimentación animal. Otra de las aplicaciones que también se ha investigado es la posibilidad de combinar la depuración fotosintética de los purines con la acuicultura. Según (W. Wu, 2019) este sistema, la biomasa generada en fotobiorreactores (sistemas de cultivo de microalgas dotados de luz, agua y nutrientes necesarios para la optimización de la fotosíntesis) sirve de sustrato al zooplancton, parte del plancton constituida por seres que se alimentan de materia orgánica que ya está elaborada y que a su vez pueden servir como fuente proteica de alimentación animal.

La capacidad de las microalgas para captar y asimilar CO<sub>2</sub> durante el proceso de crecimiento hace que sea más una de manera ambientalmente sostenible de la mitigación de las emisiones de dióxido de carbono, las industrias que emiten grandes cantidades de gas durante sus operaciones también pueden utilizar algas para CO<sub>2</sub> capturar y por lo tanto generan subproductos útiles al mismo tiempo, a partir de la microalga. Aplicación de algas para tratamiento de aguas residuales a través de técnicas de biorremediación es un proceso eficiente de control de la contaminación que elimina nitrógeno, fósforo y metales pesados tales como zinc cadmio, níquel, plomo (V. Akubude, 2019).

Los factores que influyen para la conversión de biomasa son la calidad de la biomasa, materia prima, y el deseo contenido energético. Las microalgas como materia prima renovable y prometedora para Biorrefinerías ha ganado importancia debido a su actividad fotosintética, el secuestro de dióxido de carbono y un rápido crecimiento (M. Hemalatha, 2019).

## CONCLUSIONES

Las microalgas pueden crecer en zonas no aptas para las actividades agrícolas, se acumulan grandes cantidades de lípidos, y no requiere de grandes tierras para el cultivo. El tratamiento de microalgas ayuda a la aceleración y la industrialización global de manera exponencial aumento del consumo de combustibles fósiles desde principios del siglo 20. El agotamiento de las reservas de petróleo y el aumento de los problemas ambientales planteados por el uso de combustibles petroquímicos. Está causando severamente la emisión de gases de efecto invernadero y el calentamiento global, lo que justifica el desarrollo de alternativas más ecológicas y sostenibles. Especialmente CO<sub>2</sub> es uno de los principales factores del efecto invernadero efecto que convertirse en un problema ambiental crítico.

El uso de microalgas como *Cyanophyta* y *Synechocystis* es bastante efectivo para la depuración de aguas residuales urbanas, especialmente en lo que tiene que ver con la remoción de nutrientes y la disminución de parámetros como SST, DQO y nitrógeno, aunque en el caso del fósforo no lo es tanto. De igual manera, se pudo constatar que las microalgas son efectivas en el tratamiento de aguas residuales, cuando se llevan a cabo de manera anaerobia.

El tratamiento de aguas residuales con microalgas es eficiente para cualquier tipo de aguas ya sean industriales pesquera agrícolas o domésticas. Por último se pudo concluir que el tratamiento de aguas residuales con microalgas es efectivo para la producción de bioenergía, ya que es amigable con el medio ambiente

## **RECOMENDACIONES**

Según lo investigado Antes de realizar el proceso de escalado en la producción de microalgas para la fermentación en efluentes, se requiere investigación en parámetros adicionales como factores abióticos como la combinación de temperatura, la intensidad de luz, CO<sub>2</sub>, control de pH y factores bióticos como la selección de la especies de microalgas.

## BIBLIOGRAFÍA

- A Santos et al. (2015). Use and potential applications of microalgae. En F. Lamiot.
- A. Alvarado. (2016). Domestic wastewater treatment for sustainable local development: the case of the unitary water, nutrient and energy treatment system (SUTRANE) in San Miguel Almaya, Mexico. Redalyc.org.
- A. Cuenca et al . (2014). Domestic wastewater treatment for sustainable local development: the case of the unitary water, nutrient and energy treatment system (SUTRANE) in San Miguel Almaya, Mexico. . Scientific information system.A. Garcia et al. (2019). Wastewater-leachate treatment by microalgae\_ Biomass, carbohydrate and lipid production. *Elsevier*.
- A. Hernandez & J. Labbe. (2015). Microalgae, culture and benefits. *Biología Marina y Oceanografía*.
- A. Niccolal. (2019). Microalgae of interest as a food source: Biochemical composition and digestibility. *Algae Research*.
- A. Otondo et al . (2018). Energy evaluation of wastewater treatment with microalgae, *Chlorella vulgaris*. *Elsevier* .
- A. Otondo. et al. (2018). Energetic evaluation of wastewater treatment using microalgae, *Chlorella*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.
- A. Torres. (2016). Wastewater analysis.

o el 08 de Agosto de 2019, de Algas: From exhaustion to recovery of

resources:<https://www.iagua.es/blogs/barry-liner/algas-agotamiento-recuperacion-recursos>

D. Cheng, et al. (2018). Biomass of microalgae from porcine wastewater and its conversion to bioenergy. Elsevier Ltd.

G. Dotto. (2019). Adsorption in Water Treatment. *Chemistry Molecular Sciences and Chemical Engineering*.

I. Udom. (2015). the collection of microalgae grown in wastewater. *bioenvironmental technology*.

J. Chen. (2018). The potential of microalgae in biodiesel production. *Renovable y sostenible Energy Reviews*.

J. Curcas. (2017). Biodiesel production from microalgae grown in domestic wastewater: Feasibility study and Egyptian case. *Renovable y sostenible Energy Reviews*.

J. Ricardo. (2015). Biogas production from wastewater and agricultural waste. Zamorano, Honduras. J. Romero . (s.f). caracterizacion de aguas residuales . En J. R. Rojas, *Tratamineto de Aguas Residuales* .

J. Romero. (2004). Wastewater treatment Theories and Design principles. Bogota: Colombian School of Engineering.josepf. (2015). *wikipedia*. Obtenido de Esquema.

K. Azianabiha. (2019). The evaluation of the viability of microalgae cultivation in agricultural wastewater: Nutrient characteristics. *Environmental Technology & Innovation*.

- L. Moreno. (2019). Effect of environmental factors on biomass and lipid production of microalgae grown in wastewater. *Algae Research*.
- L. Souza. (2019). Microalgae cultivation for municipal and piggery wastewater treatment in Brazil. *Elsevier*.
- L. Souza et al. (2019). Microalgae cultivation for municipal wastewater treatment and pig farming in Brazil. *Ingenieria de Procesos de agua* .
- M. Hemalatha. (2019). Microalgas de BioRe fi Nery con el diseño de la recuperación de recursos en cascada asociada a tratamiento de aguas. *Tecnologia bioambiental*.
- M. Mubarak et al. (2019). Flocculation: An effective way to harvest microalgae for biodiesel production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.
- Nature of domestic wastewater. (s.f.). Recuperado el 2019, de biblioteca:  
[http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_135\\_183\\_88\\_1242.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_135_183_88_1242.pdf)
- O. Kamolafe. (2015). The production of biodiesel from microalgae grown in indigenous wastewater. *Bioenvironmental technology*.
- Organizacion Mundial de la Salud*. (2019). Recuperado el 20 de Mayo de 2019, de  
<https://www.who.int/es/news-room/feature-stories/detail/2016-year-in-review-key-health-issues>
- P. Kiran. (2019). Biomass production from Chlorella microalgae grown in sewage, kitchen wastewater Biomass production from Chlorella microalgae grown in sewage, kitchen wastewater Biomass production from microalgae Chlorella grown in sewage, kitchen sewage using industrial. *Carbon Resource Conversion*.



- Q. Lui et al. (2019). Microalgae based wastewater treatment for nutrient recovery. *Bioenvironment Technology*.
- S. Deshmukh. (2019). Biodiesel microalgae: A review of oil extraction, fatty acid composition, properties and ff effect Biodiesel microalgae: A review of oil extraction, fatty acid composition, properties and ff effect Biodiesel microalgae: A review of the oil extraction, fat. *Fuel Processing Technology*.
- S. Gupta. (2016). Wastewater to biofuels: Comprehensive assessment of the various Florida flocculants in the composition Wastewater to biofuels: Comprehensive assessment of the various Florida flocculants in the composition Wastewater to biofuels: Comprehensive assessment . *Green engineering*.
- S. Hwan et al. (2019). Thermally regenerable multi-functional membrane for heavy-metal detection and removal. *Elsevier*.
- S. junio et al . (2019). Microalgae biodiesel production in China: A preliminary economic analysis. *Renovable y sostenible Energy Reviews*.
- S. Raghuvanshi. (2018). Comparative study of the life cycle approach used for the production of biodiesel from microalgae grown in wastewater and freshwater. *ScienceDirect*.
- S. Salama et al. (2017). Recent progress in the production of microalgae biomass along with wastewater treatment for the generation of biofuels. *Renovable y sostenible Energy Reviews*.
- T. Fazal. (2017). Bioremediation of textile wastewater and successive biodiesel production using microalgae. *Renovable y sostenible Energy Reviews*.

- V. Akubude. (2019). Production of biodiesel from microalgae via nanocatalyzed transesterification process: A review. *Materials Science for Energy Technologies*.
- Victor, M. M. (2019). Biodiesel production approach from microalgae in supercritical conditions by the prism method. *Fuel Processing Technology*.
- W. Wu. (2019). Life cycle assessment of upgraded microalgae-to-biofuel chains. *Bioresource Technology*.
- Y. Young. (2019). Bioenergy microalgae with carbon capture and storage (BECCS): A sustainable biotechnological process emerging for the reduction of CO<sub>2</sub> Bioenergy microalgae with carbon capture and storage (BECCS): A sustainable biotechnological process emerging for the r. *Bio-resources Technology Reports*.
- Y. Chen et al. (2017). Waste biorefineries — integrating anaerobic digestion and microalgae cultivation for bioenergy production. *Elsevier*.