



VICERRECTORADO ACADÉMICO  
ESCUELA DE POSGRADO

**TESIS**

**INFLUENCIA DE LAS MICRO-ALGAS SCENEDESMUS EN EL  
TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO  
DE CARGA ORGÁNICA, LIMA – 2014.**

PRESENTADO POR:

PACCHA HUAMANI, PABLO ROBERTO

PARA OPTAR

EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN POLÍTICAS PÚBLICAS:  
“SEGURIDAD NACIONAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE”

LIMA - PERÚ

2017

## **Dedicatoria**

A mi amada esposa, por su amor, comprensión, compañía, su apoyo incondicional y por ser lo mejor de mi vida. A mis hijos José y Cesar, por su inmensurable apoyo. De manera especial a todos y cada uno de ustedes mi gratitud infinito.

## **Agradecimiento**

A Dios, ser supremo que aún me da las fuerzas para seguir adelante. A la empresa “Esmeralda Corp S.A.C” por permitirnos la utilización de sus instalaciones, por su colaboración con el suministro de residuos y aguas residuales utilizadas, además de brindarnos las facilidades para la culminación de este trabajo.

## **Reconocimiento**

A la Universidad Alas Peruanas Escuela de Posgrado por haberme brindado los conocimientos necesarios para ser un excelente profesional.

## ÍNDICE

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Reconocimiento .....	iv
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
Resumo.....	xii
Introducción.....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>3</b>
1.1. Descripción de la problemática .....	3
1.2. Delimitación de la investigación .....	6
1.2.1. Delimitación espacial.....	6
1.2.2. Delimitación social.....	6
1.2.3. Delimitación temporal .....	6
1.2.4. Delimitación conceptual.....	7
1.3. Problemas de investigación .....	7
1.4. Objetivos de la investigación.....	8
1.4.1. Objetivo general .....	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
1.5. Hipótesis y variables de la investigación.....	9
1.5.1. Hipótesis general.....	9
1.5.2. Hipótesis secundarias .....	9
1.5.3. Variables (definición conceptual y operacional) .....	9
1.6. Metodología de la investigación.....	10
1.6.1. Tipo y nivel de investigación .....	10
1.6.2. Método y diseño de la investigación.....	11
1.6.3. Población y muestra de la investigación.....	11
1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	12
1.6.5. Justificación e importancia de la investigación .....	12
<b>CAPÍTULO II: MARCO FILOSÓFICO .....</b>	<b>14</b>
2.1. Fundamentación ontológica.....	14
<b>CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
3.2. Bases teóricas .....	27

3.2.2. Aguas residuales .....	45
<b>CAPITULO IV: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
4.1. Análisis de tablas y gráficos.....	62
4.1.2. Elección de la microalga “ <i>scenedesmus sp</i> ” .....	62
4.1.3. Metodología de la investigación utilizando la microalga “ <i>scenedesmus sp</i> ” .....	62
4.1.4. Campo de aplicación .....	64
4.1.5. Fundamento de la aplicación.....	64
4.1.6. Escenario de la investigación .....	68
4.1.7. Metodología del cultivo.....	69
4.1.8. Infraestructura del sistema .....	70
4.1.9. Descripción del sistema y área de cultivo.....	71
4.1.10. Descripción del medio de cultivo.....	72
4.1.11. Delimitación del experimento .....	73
4.1.12. Pruebas realizadas .....	73
4.1.13. Materiales y equipos .....	74
4.1.14. Parámetros.....	75
4.1.15. Manejo de la parte experimental .....	81
4.1.16. Cultivo de microalga.....	84
4.1.17. Diagnóstico de los sistemas de tratamiento .....	88
4.1.18. Funcionamiento de los experimentos.....	88
4.1.19. Parámetros.....	88
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS UTILIZANDO LA MICROALGA “SCENEDESMUS SP” .....	99
4.3. CONCLUSIONES .....	103
4.4. RECOMENDACIONES .....	105
4.5. FUENTES DE INFORMACIÓN .....	107
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	111

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b>	Clasificación de la Microalga empleada.....	26
<b>Tabla 2:</b>	Microalgas empleadas en la degradación de diversos Contaminantes.....	44
<b>Tabla 3:</b>	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua de categoría 3 manejados en la PTAR de Esmeralda Corp.....	53
<b>Tabla 4</b>	Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR....	54
<b>Tabla 5:</b>	Niveles de concentración en aguas residuales.....	56
<b>Tabla 6:</b>	Detalle de equipos de muestreo y materiales de siembra.....	73
<b>Tabla 7:</b>	Detalle de equipos y materiales de laboratorio.....	74
<b>Tabla 8:</b>	Primer cultivo de Microalga, con un tiempo de duración de dos semanas.....	84
<b>Tabla 9:</b>	Segundo cultivo de microalgas, con un tiempo de duración de dos semanas.....	85
<b>Tabla 10:</b>	Resultado de agua residual con/sin Microalgas del parámetro de Ph.....	88
<b>Tabla 11:</b>	Resultado del efluente con/sin Microalgas del parámetro de temperatura.....	90
<b>Tabla 12:</b>	Resultado del efluente con/sin Microalgas del parámetro de Oxígeno disuelto. ....	91
<b>Tabla 13:</b>	Resultados del efluente con/sin Microalgas del parámetro de Turbidez. ....	93
<b>Tabla 14:</b>	Resultados del efluente con/sin Microalgas del parámetro de DQO.....	94
<b>Tabla 15:</b>	Resultados del efluente con/sin Microalgas del parámetro de DBO5.....	95
<b>Tabla 16:</b>	Resultados del efluente con/sin Microalgas del parámetro de nitrógeno y fósforo Total.....	96

## LISTA DE FIGURAS

<b>Fig. 1:</b>	Ciclo de oxigenación fotosintética de aguas residuales.....	5
<b>Fig.2:</b>	Fases de crecimiento en cultivo estático de Microalgas.....	32
<b>Fig.3:</b>	Impacto de las Microalgas en la vida del hombre.....	40
<b>Fig.4:</b>	Esquema general de un proceso de lagunaje.....	43
<b>Fig.5:</b>	Porcentaje de los constituyentes de un agua residual.....	49
<b>Fig.6:</b>	Inicio de cultivo de Microalgas en matraces de 1000 ml.....	62
<b>Fig.7:</b>	Finalización de cultivo de Microalgas en matraces de 1000 ml.....	63
<b>Fig.8:</b>	Cultivo de Microalgas en recipientes de 7 L de capacidad.....	65
<b>Fig.9:</b>	Cultivo de Microalgas en recipientes de 20 L de capacidad....	65
<b>Fig.10:</b>	Extracción de Microalga con una pipeta de plástico.....	66
<b>Fig.11:</b>	Muestra microalgal depositada en la cámara Neubauer para su posterior observación.....	67
<b>Fig.12:</b>	Mapa señalando la entrada y PTAR de empresa “Esmeralda Corp. SAC.”.....	68
<b>Fig.13:</b>	Proceso de instalación de materiales de campo.....	70
<b>Fig.14:</b>	Apreciación de los materiales ya instalados al cilindro.....	70
<b>Fig.15:</b>	Medida de los cilindros usados en la investigación.....	71
<b>Fig.16:</b>	Tanque del Sedimentador, de donde se extrajo el medio de cultivo.....	71
<b>Fig.17:</b>	Desemboque del efluente de procesos hidrobiológicos en la cámara de rejillas.....	72
<b>Fig.18:</b>	Instrumento para medir pH modelo HI 98130.....	74
<b>Fig.19:</b>	Medidor de pH en pleno funcionamiento, se aprecia su lectura.....	75
<b>Fig.20:</b>	Modelo HI 98186 para medir oxígeno disuelto y Temperatura.....	75
<b>Fig.21:</b>	Sonda polarográfica, con una cubierta protectora para la membrana.....	76
<b>Fig.22:</b>	Limpieza de frascos con papel tizzue antes de su lectura.....	76
<b>Fig.23:</b>	Se aprecia la muestra siendo analizada en el Turbilímetro HI 83414.....	77
<b>Fig.24:</b>	Se aprecia este reactor modelo HI 839800 en funcionamiento con dos muestras.....	78
<b>Fig.25:</b>	Fotómetro multiparámetro HI 83224 con el cual se analizara el valor del DQO.....	78
<b>Fig.26:</b>	Utensilios para la medición del DBO5, como son los frascos	79
<b>Fig.27:</b>	Se aprecia el Oxitop Box o incubadora en pleno funcionamiento.....	79
<b>Fig.28:</b>	Inicio de experimento, se aprecia el color muy semejante.....	80
<b>Fig.29:</b>	Cambio de color debido al consumo de nutrientes por las	

	Microalgas.....	80
<b>Fig.30:</b>	Se aprecia el uso del microscopio para el conteo de las Microalgas.....	81
<b>Fig.31:</b>	Laboratorio utilizado en el proyecto de investigación.....	82
<b>Fig.32:</b>	Se aprecia las dos muestras ya extraídas tanto la de sin y con Microalgas.....	82
<b>Fig.33:</b>	Comportamiento del crecimiento microalgal – primer cultivo, con una concentración x 10(7) mg/L- Medio de cultivo agua des ionizada-tiempo 15 días.....	84
<b>Fig.34:</b>	Comportamiento del crecimiento microalgal –segundo cultivo, con una concentración x 10(7) mg/L- Medio de cultivo agua des ionizada-tiempo 15 días. ....	86
<b>Fig.35:</b>	Gráfica de la variación del resultado del parámetro de Ph.....	89
<b>Fig.36:</b>	Gráfica de la variación del resultado del parámetro de temperatura.....	90
<b>Fig.37:</b>	Gráfica de la variación del resultado del parámetro de oxígeno disuelto.....	92
<b>Fig.38:</b>	Gráfica de la variación del resultado del parámetro de turbidez.....	93
<b>Fig.39:</b>	Gráfica de la variación del resultado del parámetro de DQO.....	94
<b>Fig.40:</b>	Gráfica de la variación del resultado del parámetro de DBO5.....	95
<b>Fig.41:</b>	Gráfica de la variación del resultado del parámetro de Nitrógeno Total.....	97
<b>Fig.42:</b>	Gráfica de la variación del resultado del parámetro de Fósforo Total. ....	97

## Resumen

En este trabajo se pretende evaluar la influencia de la micro-alga *Scenedesmus sp* en el Tratamiento de Aguas Residuales, para esta investigación se utilizó efluentes de alto contenido orgánico con de una empresa de Alimentos procesados, esta empresa realiza el tratamiento de sus aguas servidas mediante tecnologías ya conocidas como sedimentación en pozas de percolación, lodos activados, químicos y biológicos. El tratamiento con micro-algas es un método nuevo para la empresa.

El objetivo de este estudio es verificar el uso eficiente de microalgas para mitigar CO<sub>2</sub>, y por lo tanto una mejor calidad del agua tratada. Esto permitirá a la empresa una ventaja de la producción sostenible y limpia.

Al tratar las aguas servidas y mitigar los niveles del CO<sub>2</sub> dados en el medio ambiente, el proyecto contribuirá con los tres pilares del desarrollo sostenible: económico, social y medio ambiente.

**Palabras clave:** Micro-alga *Scenedesmus SP* y Tratamiento de Aguas Residuales.

## **Abstract**

This research investigated the influence of micro-alga “Scenedesmus sp” in Wastewater Treatment Process. The sample to be analyzed was collected from Processed Foods Company, which had a high organic content. This company treats their wastewater using technologies such as percolation pit, activated sludge, chemical and biological process. Wastewater treatment with micro-algae is a new and economic alternative for the company.

The aim of this study is to verify the efficient use of microalgae to mitigate CO<sub>2</sub>, and thus a better quality of treated water. This will allow the company an advantage of sustainable and clean production.

Treat wastewater and mitigate CO<sub>2</sub> levels, the project will contribute to the three pillars of sustainable development: economic, social and environmental.

**Keywords:** Scenedesmus SP Micro-algae and Wastewater Treatment.

## Resumo

Neste trabalho é pretende avaliar o influência da microalgas “Scenedesmus sp” no tratamento de águas residuais, para este pesquisa utilizou-se efluentes do alto conteúdo orgânico com uma companhia da alimentos processados, Esta empresa faz no tratamento de águas residuais através tecnologias já conhecidas como lagoas de sedimentação de percolação lamas activadas, química e biológica. O Tratamento com microalgas é um novo e econômico método para a empresa.

O objetivo neste estudo é verificar a eficiente utilização da microalgas para mitigar de CO<sub>2</sub> e, assim obter uma melhor qualidade da água tratada. Isso permitirá que a empresa uma vantagem de produção sustentável e limpa.

Ao tratar águas residuais e os níveis de mitigar CO<sub>2</sub> dada no ambiente, o projeto contribuirá para os três pilares do desenvolvimento sustentável: econômica, social e ambiental.

**Palavras-chave:** Micro-alga Scenedesmus sp e tratamento de águas residuais

## Introducción

Las descargas de efluentes domésticos e industriales en los embalses, ríos, mantos acuíferos, zonas de cultivo, etc., generan graves problemas de contaminación del agua, las cuales pueden llegar a ocasionar alteraciones en los ecosistemas, a los sistemas agrícolas, acuícolas, así como serias afecciones a la salud. Por lo que es necesario el desarrollo de procesos biológicos alternativos de bajo costo para el tratamiento de estos efluentes. El empleo de sistemas integrales de bacterias-microalgas, representa una de las aplicaciones biotecnológicas de mayor importancia en el área ambiental.

En respuesta a la problemática existente, la presente investigación en busca de sistemas alternativos de tratamiento de aguas residuales, tiene como objetivo general evaluar el uso de la microalga "*Scenedesmus sp.*" en aguas con alto contenido de carga orgánica, la cual fue posible gracias al apoyo de la PTAR de la empresa Esmeralda Corp. (Lima, Perú).

En este trabajo de investigación se analizó el rendimiento de esta microalga con el fin de poder implementar este tipo de sistema en una PTAR de Perú bajo ciertos criterios para su correcto funcionamiento.

El desarrollo de este propósito general, se ha fijado como objetivo la influencia de esta Microalga para la remoción de nutrientes, fósforo y nitrógeno. Además de hallar parámetros como: temperatura, pH, turbidez, oxígeno disuelto, DQO (Demanda química de oxígeno) y DBO5 (Demanda biológica de oxígeno).

En el Primer Capítulo se desarrolla la metodología de la investigación aplicada, señalando las características del experimento: Sistema discontinuo. Se ha mencionado el diseño de la investigación donde se justifica el motivo para el desarrollo de este proyecto de investigación. Además se menciona el tipo de experimento realizado.

En el Segundo Capítulo se señalan algunos conceptos preliminares necesarios para la evolución a lo largo del informe haciendo mención en primer lugar a las propiedades y características morfológicas de la microalga utilizada; en segundo lugar los tipos de tratamiento de agua residual existentes y los parámetros que comprenden.

En el Tercer Capítulo se detallan la interpretación y discusión de los resultados en el experimento. Estos resultados son parámetros físico-químicos y el parámetro microbiológico de la DBO5. Finalmente se señala las conclusiones y recomendaciones necesarias de este estudio que abarco aproximadamente un año.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

### **1.1. Descripción de la problemática**

En el Perú, a fines del 2012, el 63,6% de la población urbana total obtuvo el servicio de alcantarillado administrado por empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS); el resto fue administrado directamente por las municipalidades o a través de operadores especializados (OES) en pequeñas ciudades, comités de agua o simplemente no cuenta con dicho servicio.

Durante ese año los sistemas de alcantarillado recolectaron aproximadamente 809,5 millones de metros cúbicos de aguas residuales, producto de las descargas de los usuarios conectados al servicio (doméstico, comercial e industrial). De ese volumen, sólo 32 % ingresaron a un sistema de tratamiento de aguas residuales, muchos de los cuales con deficiencias operativas y de mantenimiento, y el resto se descargó directamente a un cuerpo de agua (mar, ríos o lagos). Es decir que el porcentaje restante pasó a contaminar los cuerpos de agua superficial que se usan para la agricultura, pesca, recreación e incluso para el abastecimiento de agua potable. Si ello le sumamos la contaminación por fuentes mineras e industriales, se constituye un escenario que pone en riesgo la salud pública, genera deterioro de ecosistemas, crea limitaciones para la agroexportación e incrementa

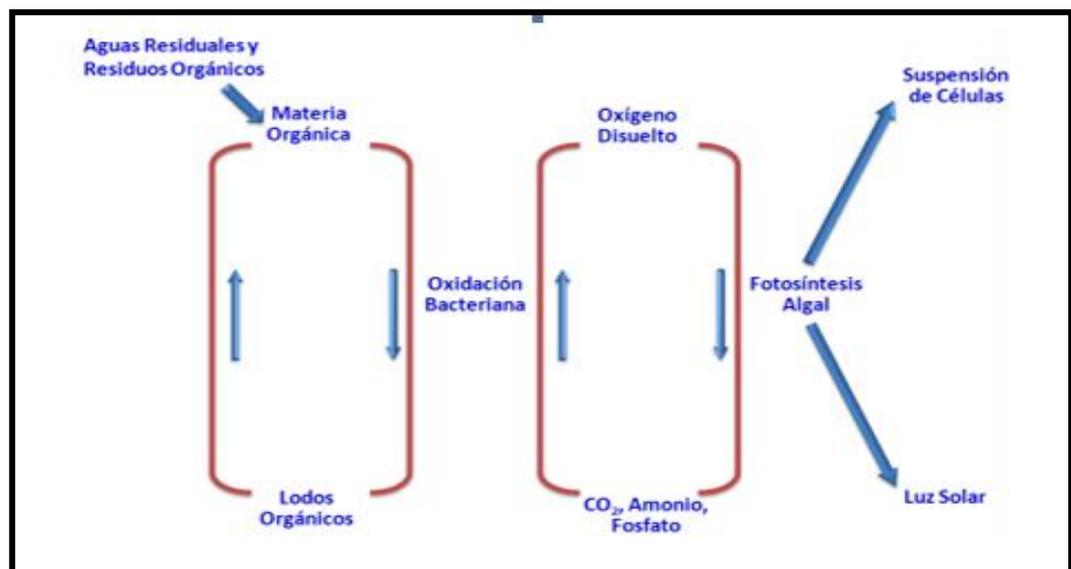
los costos de tratamiento del agua para fines de abastecimiento poblacional.

El agua que se consume en algunas localidades se obtiene de fuentes superficiales como ríos, corrientes y lagos. Estas fuentes naturales se contaminan continuamente con las descargas de agua residuales parcialmente tratadas o sin tratamiento que son el resultado de las diversas actividades domésticas e industriales de la vida cotidiana, lo que ocasiona serios problemas de contaminación colateral y eutrofización e incluso la muerte de algunos sistemas acuáticos, que reciben las descargas de materias superiores a la capacidad de auto-purificación de los ecosistemas.

La mayoría de aguas residuales, debido a su contenido de sustancias nutritivas, constituyen un medio apropiado para el crecimiento de muchas clases de seres vivos acuáticos, como las que usaremos en la presente investigación, a las cuales, desde ya un tiempo, se presta mayor consideración, por el importante papel que pueden desempeñar en la purificación de las aguas residuales. Dado que una gran variedad de estos microorganismos crece en medios completamente inorgánicos, confiriéndoles capacidades para remover nutrientes y al mismo tiempo producir material celular potencialmente útil. (Andrade Ruiz, 2011)

Los sistemas de tratamiento de aguas con microalgas son una alternativa eficiente y económica para el tratamiento de aguas residuales, esto debido a sus bajos costos de implementación y mantenimiento frente a los sistemas convencionales actuales. (García Trujillo, 2012). A su vez, la biomasa de estos microorganismos desarrollados en conexión con el tratamiento de aguas residuales, puede eventualmente llegar a convertirse en fuente productora de fertilizantes, alimentos animales y otros productos comerciales.

En el tratamiento de efluentes pueden ser consideradas como una alternativa de tratamiento terciario, debido a los procesos acoplados entre las bacterias aeróbicas, degradadoras de la materia orgánica y las microalgas, que asimilan los productos de la degradación y compuestos inorgánicos, para realizar una eficiente bioconversión de la energía solar. Generándose, así una producción de biomasa microalgal, mejorando la calidad de efluente y aumentando la concentración de oxígeno. Este sistema de valorización de tratamiento de aguas residuales, a través del cultivo de microalgas clorofitas, presenta importantes ventajas en aplicaciones integrales. Algunos parámetros a considerar son el tipo de efluente, la carga orgánica, la temperatura, la intensidad de luminosa, el género de Microalgas y el tipo de cultivo (mono algal y mixto).



**Fig. 1:** Ciclo de oxigenación fotosintética de aguas residuales.

**Fuente:** Salazar, (2005).

Las descargas de efluentes domésticos e industriales en los embalses, ríos, mantos acuíferos, zonas de cultivo, etc., generan graves problemas de contaminación del agua, las cuales pueden llegar a ocasionar alteraciones en los ecosistemas, a los sistemas agrícolas, acuícolas, así como serias afecciones a la salud. Por lo que es

necesario el desarrollo de procesos biológicos alternativos de bajo costo para el tratamiento de estos efluentes. El empleo de sistemas integrales de bacterias micro-algas, representa una de las aplicaciones biotecnológicas de mayor importancia en el área ambiental.

En respuesta a la problemática existente, la presente investigación en busca de sistemas alternativos de tratamiento de aguas residuales, tiene como objetivo general evaluar el uso de la micro-alga "*Scenedesmus sp.*" en aguas con alto contenido de carga orgánica, la cual fue posible gracias al apoyo de la PTAR de la empresa Esmeralda Corp. (Lima, Perú).

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **1.2.1. Delimitación espacial**

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de una planta procesadora de alimentos (Esmeralda Corp.), previamente se adquirió las microalgas en IMARPE (Instituto del mar peruano) y se recibió la respectiva capacitación para el cultivo de las microalgas.

### **1.2.2. Delimitación social**

Se usó aplicación de microalgas en los efluentes de aguas servidas que son evacuadas de la planta procesadora de alimentos (Esmeralda CORP), de igual manera se recolectó datos de los parámetros que se pretende disminuir (tratar), para lo cual se contó con el apoyo del personal de laboratorio de dicha empresa.

### **1.2.3. Delimitación temporal**

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo entre los meses de mayo a noviembre del 2015.

#### **1.2.4. Delimitación conceptual**

Este estudio presenta un método alternativo para mejorar la calidad del efluente de la PTAR en presencia de microalga “Scenedesmus sp” en diferentes concentraciones.

Las variables climáticas que afectan el crecimiento de estas microalgas son difíciles de controlar; sin embargo, en el presente estudio se identificara y establecerá que variables ejercen mayor influencia en la adaptación de estas microalgas así como sus interacciones.

En la mayoría de los casos de tratamiento de aguas residuales mediante micro-algas, los nutrientes como el P, NTK y demás seguirán siendo absorbidos aun después que alguno de ellos fueran consumidos del efluente.

Generalmente las microalgas crecen favorablemente sobre una zona sin movimiento, libre de competidores como algas, insectos y enfermedades. Las floraciones de algas compiten por nutrientes y provocan un cambio en la circulación del agua en pH, turbiedad, OD (oxígeno disuelto).

### **1.3. Problemas de investigación**

#### **1.3.1 . Problema principal**

¿Cómo influyen las micro-algas scenedesmus sp. en el tratamiento de los efluentes con alto contenido de carga orgánica, Lima - 2014?

### **1.3.2. Problemas secundarios**

- a) ¿Cómo influyen las micro-algas al inocular en el contenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en las aguas servidas?
- b) ¿Cómo influyen las micro-algas durante su cultivo en el laboratorio para su crecimiento influyen en las condiciones fisicoquímicas de las aguas servidas?
- c) ¿Cómo influyen las micro-algas en los mecanismos de degradación de la materia orgánica o su Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las aguas servidas?

## **1.4. Objetivos de la investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de las micro-algas *scenedesmus* sp. en el tratamiento de los efluentes con alto contenido de carga orgánica, Lima - 2014

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar si las micro-algas al inocular influyen el contenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en las aguas servidas.
- b) Precisar si las micro-algas durante su cultivo en el laboratorio para su crecimiento influyen en las condiciones fisicoquímicas de las aguas servidas.
- c) Establecer si las micro-algas influyen en los mecanismos de degradación de la materia orgánica o su Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las aguas servidas.

## **1.5. Hipótesis y variables de la investigación**

### **1.5.1. Hipótesis general**

Las micro-algas *scenedesmus* SP influirían significativamente en el tratamiento de los efluentes con alto contenido de carga orgánica, Lima - 2014

### **1.5.2. Hipótesis secundarias**

- a) Las micro-algas al inocular influirían favorablemente el contenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en las aguas servidas.
- b) Las micro-algas durante su cultivo en el laboratorio para su crecimiento influirían positivamente en las condiciones fisicoquímicas de las aguas servidas.
- c) Las micro-algas influirían favorablemente en los mecanismos de degradación de la materia orgánica o su Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las aguas servidas.

### **1.5.3. Variables (definición conceptual y operacional)**

- **Definición conceptual**

- **Micro-algas *scenedesmus*.-**

Las micro algas son organismos de elección en la biotecnología gracias a su amplia gama de potenciales bio-aplicaciones, como la sobre expresión de pigmentos, la biorremediación, la producción de biocombustibles y los estudios de toxicidad.

- **Efluentes con alto contenido de carga orgánica.-**

Fluido procedente de una instalación industrial con cantidad de materia orgánica en el líquido que ejerce un efecto negativo en el cuerpo receptor de agua, generalmente medida como DBO5.

- **Definición operacional**

VARIABLE INDEPENDIENTE (X)	VARIABLE DEPENDIENTE (Y)
X: Micro-algas <i>scenedesmus</i> SP	Y: Efluentes con alto contenido de carga orgánica

**(Indicadores) de X**

**(Indicadores) de Y**

X<sub>1</sub>: Micro-algas al inocular

Y<sub>1</sub>: Contenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en las aguas servidas.

X<sub>2</sub>: Micro-algas durante en su cultivo

Y<sub>2</sub>: Condiciones fisicoquímicas de las aguas servidas

X<sub>3</sub>: Micro-algas en tratamiento de aguas residuales

Y<sub>3</sub>: Degradación de la materia orgánica

## 1.6. Metodología de la investigación

### 1.6.1. Tipo y nivel de investigación

#### a) Tipo de investigación

Por el tipo de investigación, el presente estudio reunió las condiciones necesarias para ser denominado como: aplicada, pues su

principal objetivo se basa en resolver problemas prácticos, con un margen de generalización limitado.

#### **b) Nivel de investigación**

Descriptivo correlacional porque miden conceptos, definen variables y explica la relación entre las mismas además de cuantificar la relación entre ellas.

### **1.6.2. Método y diseño de la investigación**

#### **a) Método de investigación**

El método del presente trabajo de investigación es hipotético deductivo.

#### **b) Diseño de la investigación**

La investigación respondió a un diseño de estudio descriptivo explicativo, con sistemas de medición, perteneciente a la clase de diseño de un estudio con intervención. También se le conoce como un diseño experimental de tipo longitudinal o diacrónica, estudiando la relación entre dos o más variables dependientes e independientes, con un diseño de medidas repetidas con tres o más tratamientos (Sujetos x tratamientos).

### **1.6.3. Población y muestra de la investigación**

#### **a) Población**

Se tomó como población la Microalga "*Scenedesmus sp.*"

#### **b) Muestra**

- Efluente a tratar de la empresa de Alimentos procesados.
- Efluente tratado al final del experimento.

#### **1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

##### **a) Técnicas**

Se utilizó la técnica de Observación, en el cual se tomó la información, se registraron los datos de los parámetros para luego ser analizados y realizar las interpretaciones.

##### **b) Instrumentos**

En esta investigación se usaron instrumentos para cada uno de los parámetros que nos ayudara para determinar la calidad del efluente.

El método para contar algas, implica el uso de un dispositivo que permita el conteo. De todos los dispositivos conocidos el más usado en los laboratorios comerciales es el hemocitómetro o cámara Neubauer

#### **1.6.5. Justificación e importancia de la investigación**

##### **a) Justificación**

La necesidad de un tratamiento terciario o avanzado se ha hecho necesaria más allá del tratamiento secundario de aguas residuales para los compuestos de NTK y P, metales en solución y DQO soluble.

La inmensa mayoría de estos tratamientos son complejos y pueden representar un porcentaje muy elevado de los costos totales de tratamiento. Los procesos de eliminación de nutrientes, generalmente clasificados como de tratamiento terciario, consisten

básicamente en productos químicos-biológicos, físico-químicos, bioquímicos, y los sistemas biológicos.

Estos sistemas han mejorado de modo que han hecho posible que la eliminación de nutrientes sea casi completa. Sin embargo, el costo del tratamiento es cada vez más alto. Recientemente, varias plantas acuáticas se han propuesto para la eliminación de los nutrientes de Nitrógeno y Fósforo.

La presencia de nitrógeno amoniacal en el efluente de las aguas residuales provoca graves desequilibrios en la naturaleza por ser responsable en parte de la eutrofización de lagos y embalses, y consume el oxígeno disuelto en las aguas, son corrosivos y la demanda de utilizar cloro para una alta desinfección del efluente de la planta de tratamiento secundario

## **b) Importancia**

En el escenario mundial y nacional la crisis del agua se agudiza día a día y es por ello que el tema de los tratamientos de aguas se ubica dentro de los de mayor importancia. Si a lo anterior le sumamos que el tratamiento que realizaremos es biológico es decir con microalgas y no químico su relevancia es mayor.

## **c) Limitaciones**

Esta investigación trata de mostrar el grado de purificación que se obtiene al inocular microalgas en los efluentes de aguas servidas de la empresa procesadora de alimentos, pero no se pretende a potabilizar el agua.

## **CATÍTULO II: MARCO FILOSÓFICO**

### **2.1. Fundamentación ontológica**

Desde que el hombre decidió vivir de manera asociada lo primero que buscó fue la protección ante los fenómenos del clima y protegerse de las bestias, inicialmente moró en cuevas y posteriormente construyó sus casas. En el momento que decide dejar de ser cazador y recolector, se establece de manera estacionaria en un determinado lugar junto a su clan y surge la necesidad de saciar su sed, sale a buscar el líquido elemento: el agua.

El agua significó mucho para el hombre de la antigüedad y conforme fue evolucionando el agua siguió manteniendo un lugar primordial en su vida. En la antigua Grecia ya Tales de Mileto señalaba al elemento agua como materia primordial para la explicación filosófica de todo tipo de vida en el mundo. El agua era tan importante que los sabios de aquella Grecia lo señalaban en sus relatos, como dice Homero en la *Ilíada* al asegurar un nivel de primacía del dios Océano por ser de quien nacen los ríos y mares. De igual manera Mesopotamia y Egipto surgen como dos grandes culturas rodeadas del agua de los ríos que las atraviesan, y de su importante influencia en el oriente medio de la antigüedad.

Posteriormente, durante la edad media el agua se convierte en parte de la propiedad de los gobernantes y de los nacientes Estados, toda

persona debería de pagar impuestos por su uso, de ser considerada una deidad por los griegos y la explicación de la vida humana y de las demás especies en el mundo, paso a ser un artículo de lucro para quienes gobernaban y de vida para los agricultores, quienes esperan las lluvias y las aguas de los ríos para poder hacer germinar sus semillas y alimentarse junto a sus familias. En la época de la revolución francesa y la liberación de la opresión real hacia los desposeídos, reasume su posición de elemento esencial para la vida del hombre y de sus alimentos, la ilustración le otorga el lugar que le pertenece, los poetas, los músicos y los gobernantes de aquella época le agradecen sus bondades, el hombre se reconcilia con el líquido elemento.

En el siglo XIX las ciencias han avanzado a velocidades impensadas, y los gobernantes han hecho cambiar el pensamiento de sus ciudadanos y surge en ellos un pensamiento colectivo de ambición por lo que no les propio, sean riquezas minerales, forestales o animales que poseían los vecinos, esto genera conflictos de espectro que traspasa fronteras y el agua vuelve a ser mal degradada por los humanos, se envenenan ríos, muere el ganado y las personas llenas de ira se convierten en soldados. En el siglo XX los humanos continúan con sus ideas beligerantes y las guerras se vuelven transcontinentales, se enfrentan unos a otros los países por tierra, aire y mar, el agua del mar se ve invadido por grandes naves que llevan en su interior mortíferas armas de guerra y junto a ella las amenazas de extinción.

En la actualidad las amenazas de no contar con el líquido elemento es la creciente explosión demográfica que amenaza un mundo desequilibrado, donde hay territorios con mucha agua y otros casi eriazos, donde el agua como medio de vida humana necesita ser potabilizada para poder ser utilizada en la dieta diaria, en la urbanidad de las urbes surgen problemas que deben ser atendido con prontitud por los gobernantes de turno y se buscan opciones como los tratamientos de

las aguas grises mediante mecanismos que permitan su conversión para su reemplazo.

Así como los antiguos griegos dieron un lugar especial al agua como elemento imprescindible en la vida del ser humano, ahora es igual reivindicar el lugar que le pertenece, pero mediante la biotecnología y su modernidad.

“El agua potable es un recurso cada vez más limitado y caro, cuyo consumo ha aumentado notablemente. En algunas partes del planeta, ya de por sí conflictivas, su escasez podría ser una causa de conflictos” (González, 2014, p.26). De igual manera “El agua es vida, pero también sabe que puede ser muerte y reflejar, incluso, las pesadillas de los grupos que no la tienen o están amenazados por una abundancia descontrolada debido a las inclemencias del clima. El mismo recurso, si pudiese hablar, renegaría de la mezquindad del ser humano por la basura que este envía en sus cauces o por el modo en que suprime su libertad al ajustarla a sus necesidades” (Peña, 2004, pág. 11).

El desarrollo de esta investigación es una gran propuesta para lograr mitigar la contaminación ambiental, ya que como resultado de esta permitirá influir en forma positiva al desarrollo sostenible del país, ello dependerá de los objetivos del proyecto que se pretenda realizar, con el fin de obtener un producto que se pueda aplicar en diferentes aspectos de la agricultura, riego de parques y jardines en zonas urbanas, etc., con ello se puede demostrar la importancia y aplicación de este proceso en la utilización del tratamiento de las aguas residuales con cultivos de microalgas.

La sociedad se verá beneficiada al utilizar las algas *scenedesmus sp.* En el tratamiento de aguas residuales de los efluentes ya que evitamos el uso de productos químicos que dañan al medio ambiente, será de un gran beneficio para el ecosistema y un aporte valioso para el desarrollo

de la población por la importancia que tiene la depuración de las aguas residuales; dada la creciente problemática con el tratamiento se podría plantear como una posible alternativa de bajo costo para la descontaminación de estas.

## CATÍTULO III: MARCO TEÓRICO

### 3.1. Antecedentes

Ramos Suárez, J. L. (2014).en su tesis” *Producción de biogás a partir de biomasa de la microalga scenedesmus sp. Procedente de diferentes procesos*”. Universidad Politécnica de Madrid. Nos indica que:

En este trabajo de Tesis Doctoral se ha estudiado la posibilidad de emplear las microalgas, concretamente el género Scenedesmus, como sustrato para la producción de biogás mediante digestión anaerobia, así como los residuos que se producen como consecuencia de su utilización industrial para diferentes fines. La utilización de las microalgas para la producción de biocombustibles es un tema de gran actualidad científica, en el que residen muchas expectativas para la producción a gran escala de biocombustibles que supongan una alternativa real a los combustibles fósiles.

Existen numerosas investigaciones sobre la conversión a biogás de las microalgas, sin embargo aún hay poco conocimiento sobre la utilización de la digestión anaerobia como tratamiento de residuos de microalgas en un concepto de biorrefinería. Residuos que pueden ser generados tras la extracción de compuestos de

alto valor añadido (p. ej. aminoácidos) o tras la generación de otro biocombustible (p. ej. biodiésel). Es en este aspecto en el que esta Tesis Doctoral destaca en cuanto a originalidad e innovación, ya que se ha centrado principalmente en tres posibilidades:

Empleo de *Scenedesmus* sp. como cultivo energético para la producción de biogás. - Tratamiento de residuos de *Scenedesmus* sp. generados tras la extracción de aminoácidos en un concepto de biorrefinería. - Tratamiento de los residuos de *Scenedesmus* sp. generados tras la extracción de lípidos en un concepto de biorrefinería. Los resultados obtenidos demuestran que la microalga *Scenedesmus* como cultivo energético para producción de biogás no es viable salvo que se empleen pretratamientos que aumenten la biodegradabilidad o se realice codigestión con otro sustrato.

En este último caso, la chumbera (*Opuntia maxima* Mill.) ha resultado ser un sustrato idóneo para la codigestión con microalgas, aumentando la producción de biogás y metano hasta niveles superiores a 600 y 300 L kgSV<sup>-1</sup>, respectivamente. Por otro lado, el tratamiento de residuos generados tras la extracción de aminoácidos mediante digestión anaerobia es prometedor. Se obtuvieron elevados rendimientos de biogás y metano en las condiciones de operación óptimas (409 y 292 L kgSV<sup>-1</sup>, respectivamente).

Aparte de la generación energética por medio el metano, que podría emplearse en la propia biorrefinería o venderse a la red eléctrica o de gas natural, reciclando el digerido y el CO<sub>2</sub> del biogás se podría llegar a ahorrar alrededor del 30% del fertilizante mineral y el 25% del CO<sub>2</sub> necesarios para el cultivo de nueva biomasa.

Por lo tanto, la digestión anaerobia de los residuos de microalgas en un concepto de biorrefinería tiene un gran potencial y podría

contribuir en gran medida al desarrollo de esta industria. Por último, una primera aproximación al tratamiento de residuos generados tras la extracción de lípidos muestra que éstos pueden ser empleados para la producción de biogás, como monosustrato, o en codigestión con glicerina, ya que son fácilmente biodegradables y el rendimiento potencial de metano

Marqués, RJF (2013). En su tesis "*Producción de biodiesel por microalgas Scenedesmus Obliquus y Nannochloropsis sp .: optimización de los procesos de pre-tratamiento y conversión*". Universidad de Lisboa. Nos indica que:

En el presente estudio, la idoneidad de las microalgas *Scenedesmus obliquus* y *Nannochloropsis sp.* Se evaluó la materia prima para la producción de biodiesel. Se estudiaron algunos pretratamientos para la rotura celular de biomasa seca de microalgas, en particular mecánicos (molino de café y molino de bolas), con el fin de extraer la fracción lipídica. Los resultados mostraron que *Nannochloropsis sp.* Y *Scenedesmus obliquus* tenían un contenido de lípidos aproximado de 35 g / 100 g ps y 17 g / 100 g ps, respectivamente, y que no había necesidad de un pretratamiento particular para el *Scenedesmus obliquus* mientras que para *Nannochloropsis sp.*

Era necesario un molido relativamente agresivo. La fracción lipídica de *Scenedesmus obliquus* tenía un valor ácido de 8 mgKOH / gy una composición de ácidos grasos dominada por ácido palmítico (23%), oleico (37%) y linoleico (14%). Para *Nannochloropsis sp.*, Los lípidos extraídos tuvieron un valor ácido de 82 mg KOH / gy los principales ácidos grasos fueron ácido palmítico (33%), palmitoleico (36%) y oleico (20%). En ambos casos, se determinó que las fracciones lipídicas tenían un contenido de materia insaponificable por encima del 95%.

También se estudió el proceso de transesterificación directa para las microalgas y, debido al alto valor ácido, se evaluó la influencia del volumen de metanol, la concentración de catalizador ácido y el tiempo de reacción del *Scenedesmus obliquus* para producir FAME.

Los resultados mostraron que es posible producir aproximadamente 40 g / 100 g ps y 18 g / 100 g ps ésteres metílicos de ácidos grasos de *Nannochloropsis* sp . Y el *Scenedesmus obliquus*, respectivamente. Para evaluar el potencial de recuperación de biomasa residual se determinó el contenido total de lípidos, azúcares totales, proteínas y minerales. Los resultados para el *Scenedesmus obliquus* fueron 32 g / 100 g ps, 34 g / 100 g ps, 18 g / 100 g ps y 6 g / 100 g ps, respectivamente, y para el *Nannochloropsis* sp . 51 g / 100 g ps, 18 g / 100 g ps, 8 g / 100 g ps y 7 g / 100 g ps, respectivamente. Para evaluar el potencial de recuperación de biomasa residual se determinó el contenido total de lípidos, azúcares totales, proteínas y minerales. Los resultados para el *Scenedesmus obliquus* fueron 32 g / 100 g ps, 34 g / 100 g ps, 18 g / 100 g ps y 6 g / 100 g ps, respectivamente, y para el *Nannochloropsis* sp . 51 g / 100 g ps, 18 g / 100 g ps, 8 g / 100 g ps y 7 g / 100 g ps, respectivamente. Para evaluar el potencial de recuperación de biomasa residual se determinó el contenido total de lípidos, azúcares totales, proteínas y minerales. Los resultados para el *Scenedesmus obliquus* fueron 32 g / 100 g ps, 34 g / 100 g ps, 18 g / 100 g ps y 6 g / 100 g ps, respectivamente, y para el *Nannochloropsis* sp . 51 g / 100 g ps, 18 g / 100 g ps, 8 g / 100 g ps y 7 g / 100 g ps, respectivamente.

Ishaq, AG (2016). En su trabajo de investigación "*Las actividades antibacterianas del extracto lipídico y pigmentario de Scenedesmus sp. Aislado de las aguas temporales de Endau Rompin*". Universidad Tun Hussein Onn Malasia. Nos señala que:

La búsqueda de alternativas que pudieran eludir el uso de compuestos antimicrobianos sintéticos es el resultado de una demanda mundial de nuevos agentes antimicrobianos a partir de fuentes naturales. Este estudio cubrió la investigación e investigación del potencial antibacteriano de la microalga verde de agua dulce *Scenedesmus sp.* Aislado de las piscinas temporales de la roca de Taman Negara Johor Endau Rompin, Malasia.

El pigmento bruto y los extractos de lípidos de la microalga se ensayaron usando el método de difusión de pozos de agar para su actividad antibacteriana contra patógenos transmitidos por los alimentos, *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) y *Salmonella sp.* (ATCC 14028). Posteriormente, se evaluaron las actividades antibacterianas de los extractos en alimentos marcados con *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) a través del recuento de colonias bacterianas.

Las concentraciones inhibitorias mínimas (MIC) de ambos extractos se evaluaron utilizando un ensayo de dilución de caldo de cultivo. Los resultados de este estudio mostraron que el extracto de pigmento en concentraciones que oscilaban entre 0,35 mg / ml y 3,48 mg / ml mostró actividad antibacteriana frente a *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) con zonas medias de inhibición de 4,67 mm a 17,33 mm. Del mismo modo, el extracto lipídico a concentraciones comprendidas entre 0,085 mg / ml y 0,85 mg / ml mostró actividad antibacteriana contra *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) con zonas medias de inhibición de 1,33 mm a 15,67 mm. *Sin embargo, ambos extractos no mostraron ninguna actividad contra Salmonella sp.* (ATCC 14028). La MIC del pigmento y los extractos de lípidos fueron 80 µg / ml y 21 µg / ml, respectivamente.

En los alimentos picados con *S. aureus* (ATCC 25923), Se observaron colonias bacterianas superpuestas en número de dos

muestras de lípidos (0,1 mg / ml - 0,2 mg / ml) y pigmento (0,41 mg / ml - 0,81 mg / ml). Sin embargo, no hubo crecimiento de colonias bacterianas en ambas muestras de lípido a 0,8 mg / ml - 1 mg / ml y pigmento a 2,83 mg / ml - 4,05 mg / ml. *Los resultados de la actividad antibacteriana indican que Scenedesmus sp.* Los extractos de lípidos o pigmentos contienen metabolitos secundarios con un gran potencial como aditivo alimentario.

Cougo, CDG (2017). En su tesis "*Usando el Fourier de infrarrojos técnica de transformada de espectroscopia (FTIR) para estimar las concentraciones de carbohidratos y lípidos en Scenedesmus sp.*". Universidad del Rio Grande. Nos señala que:

Con los descubrimientos de las innumerables aplicaciones potenciales de la biomasa de microalgas es necesario el desarrollo de herramientas que ayuden a aumentar la productividad de los cultivos. La espectrometría por infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) es una técnica versátil y rápida utilizada en la identificación, caracterización y cuantificación de diversos compuestos moleculares. Su aplicación está definida de acuerdo con la región espectral a ser analizada.

El objetivo es para desarrollar una metodología que hace posible el uso de la espectroscopia de FTIR en el mediodos infrarrojo (MIR) para cuantificar los niveles de lípidos, proteínas, hidratos de carbono y las células de *Scenedesmus sp.* Para este propósito, la biomasa de *Scenedesmus sp.* Se analizó diariamente por métodos tradicionales ya través del espectro FTIR. Posteriormente los datos fueron correlacionados con las bandas de absorción características de cada compuesto. El modelo generado para lípidos en la región entre 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$  obtuvo el mayor coeficiente de correlación ( $R^2$ ) de 0,8265. Para los carbohidratos, la banda de absorción que mejor representó las conexiones características fue entre 1200-950 $\text{cm}^{-1}$ , con  $R^2 =$

0,8023. Para las proteínas, la elección del método tradicional no mostró buena relación con los resultados del FTIR. Cuando la concentración celular se correlacionó con el área total se obtuvo  $R^2 = 0,7900$ .

Por último, se realizaron experimentos para validar los modelos predichos, obteniendo buenos resultados para la cuantificación de lípidos y carbohidratos. *El FTIR se muestra a ser una herramienta eficaz para estimar el contenido de lípidos y carbohidratos de Scenedesmus sp.* Además, el FTIR permite análisis simultáneo de múltiples metabolitos que permitirá el monitoreo más detallado del cultivo en un tiempo de análisis mucho más corto y con alta reproducibilidad de los resultados.

Con las descubiertas de las numerosas aplicaciones potenciales de microalgal biomasa, es necesario desarrollar herramientas para ayudar a aumentar la productividad de la cultivación.

Infrared spectrometry con Fourier transform (FTIR) es la versátil y rápida técnica utilizada en la identificación, la caracterización y la cuantificación de varios molecular compuestos. Su aplicación es definida según la región de la región. El objetivo de este trabajo es el desarrollo de la metodología que hace posible el uso de la espectroscopia de FTIR en la región del infrarrojo medio (MIR) para cuantificar los lípidos, proteínas y carbohidratos contenidos células de *Scenedesmus sp.*

Para ello, el *Scenedesmus sp.* La biomasa se determinó diariamente por métodos tradicionales y por el espectro de espectro. Posteriormente la fecha se correlacionó con la selección de la cantidad de frecuencia de cada compuesto. El modelo generado por lipids en la región entre 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$  obtuvo el coeficiente de corrección de correlación ( $R^2$ ) de 0.8265. Los carbohidratos, la tasa de respuesta que mejor representó los

valores estimados fueron entre 1200-950cm<sup>-1</sup>, con R<sup>2</sup> = 0.8023. Para la proteína, la elección del método tradicional no muestra una buena relación con los resultados FTIR. Cuando la celda. La elección del método tradicional no mostró una buena relación con los resultados de la FTIR. Cuando la celda ... La elección del método tradicional no mostró una buena relación con los resultados de la FTIR.

López I. (2016) en su tesis "*Análisis de efectividad de Chlorococcum littorale y Scenedesmus sp. En biorremediación de aguas residuales*" Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras. Nos señala que:

Las aguas residuales se definen como el agua resultante de un proceso, en el cual se ha contaminado. La biorremediación es una opción para complementar el proceso de tratamiento de las aguas residuales. Chlorococcum littorale y Scenedesmus sp. son microalgas que han sido poco estudiadas con el fin de remediar las aguas residuales, por lo cual surge la necesidad de determinar su efectividad. Los mejores resultados se observaron con la solución: 75% medio y 25% de agua residual después de lodos activados en ambos casos.

En las disoluciones de C. littorale existió una remoción de fósforo total de 57% y de nitrógeno total de 94% y en Scenedesmus sp. hubo remoción de fósforo total de 52% y de nitrógeno total de 92%. Con los resultados obtenidos se hicieron pruebas estadísticas de ANOVA y Tukey. En este estudio realizado en el Tecnológico de Monterrey, se determinó que las algas C. littorale y Scenedesmus sp. pueden ser utilizadas como una alternativa para aprovechar las aguas residuales después de un tratamiento primario y secundario, y antes de descargarlas a un efluente, con el fin de obtener biomasa para producir energía y suplementos alimenticios para animales, además de reducir aún más los niveles de contaminación en las aguas residuales.

Culebro J. (2015). En su tesis “Cosechado de microalgas cultivadas en lagunas de alta carga para el tratamiento de aguas residuales: efecto del almidón sobre la floculación y la producción de biogás” nos indica que:

Los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales basados en la simbiosis entre microalgas y bacterias son una alternativa sustentable atractiva principalmente si se integran en la producción de biocombustibles.

En el proceso de producción de biocombustibles, en el que la separación o cosecha de microalgas es uno de los pasos claves que implica también los altos costos del sistema. El objetivo de este estudio fue el de evaluar el efecto de un coagulante orgánico de bajo costo (almidón de papa) en la separación de biomasa algal y sucesivamente en la producción de biogás de la biomasa separada. En el estudio se realizaron una serie de pruebas experimentales (jar test) para determinar la dosis óptima de almidón de papa, logrando una recuperación de hasta el 96 % de biomasa.

Para observar el efecto del coagulante en la producción de biogás se realizaron las pruebas de potencial bioquímico de metano en muestras de biomasa algal con las dos dosis óptimas de almidón. Los resultados de esta prueba muestran claramente el efecto positivo que se produce al adicionar coagulante., las muestras adicionadas con 10 mg/L de almidón aumentaron su producción de biogás en un 7,7 %. En las muestras con 25 mg/L de almidón se obtuvo un incremento mayor de producción de biogás alcanzando 14,7 % más, en comparación con las muestras patrón que no se les adiciono almidón.

## 3.2. Bases teóricas

### 3.2.1. Micro-alga *scenedesmus* SP

Esta especie de microalga utilizada en esta investigación pertenece al grupo de las algas verde fotosintéticas, son unicelulares y han sido utilizadas en las investigaciones por probar su efectividad en el tratamiento de aguas residuales y la obtención de una biomasa de alta calidad.

CLASIFICACIÓN	<i>Scenedesmus</i> sp.
División	Chlorophyta
Clase	Chlorophyceae
Orden	Chlorococcales
Familia	Scenedesmaceae
Género	<i>Scenedesmus</i>
Especie	<i>Sp.</i>

**Tabla 1:** Clasificación de la Microalga empleada.

El género *Scenedesmus*, fue descrito por primer vez por Teodoresco en 1905, y su nombre fue otorgado por M. F. Dunal, que fue el primero en reconocer que el color rojo de ciertos reservorios hipersalinos era producto por ésta alga. Este género posee 29 especies y una gran cantidad de variedades aún no muy bien definidas; su reproducción es usualmente asexual por formación de autocolonias o autocenobios.

Todas las algas de este género son unicelulares pero se diferencian enormemente en tamaño y forma. Sus dimensiones varían entre 8 y 25  $\mu\text{m}$  de largo y 5-15  $\mu\text{m}$  de ancho.

Pueden ser ovoides, periformes, alargadas o esféricas con una papila apical bien definida cuando se trata de individuos pequeños, y ovoides o elípticas con un estrechamiento en la parte central y una papila apical muy pequeña o ausente cuando las células son grandes.

El volumen celular del ejemplar más grande de este género, mayor que el de las demás estirpes de *Scenedesmus*, es el orden de 300-1000  $\mu\text{m}^3$ . En condiciones ambientales desfavorables se transforma en una esfera rojiza de 2000  $\mu\text{m}^3$ . Su principal característica morfológica es la ausencia de una pared celular rígida de polisacárido. La célula está incluida en una delgada y elástica membrana plasmática, esto lo permite responder rápidamente a cambios osmóticos, alterando su forma y volumen celular. Por otro lado, ésta falta de pared celular rígida aumenta su sensibilidad a fuerzas de tensión externa e impone algunas limitaciones a la manipulación de los cultivos (Hoek, Mann y Jahns, 1995).

El género *Scenedesmus* es muy común en todo tipo de aguas dulces. Desempeña un papel importante en la producción primaria y contribuye a la purificación de las aguas eutróficas. Las células de *Scenedesmus* están unidas en grupos de 4, 8 o raramente 16, denominados cenobios (Becker, 1984) (Camacho et al, 1989).

## **CULTIVO DE MICROALGAS**

El hombre ha puesto su esfuerzo hacia el cultivo de las microalgas desde hace aproximadamente 40 años; sin embargo el cultivo terrestre de las plantas empezó desde hace más 5000 años, siendo la cantidad de dinero gastada para investigación y el desarrollo en todo el mundo para cultivar microalgas de menos del 1% de todo lo que actualmente se gasta para la investigación y el desarrollo del

cultivo de plantas terrestres; a pesar del hecho de que los sistemas acuáticos son capaces de un rendimiento mucho más elevado por hectárea, de la materia fotosintetizada, que las plantas de suelo (Horstmann, 1985).

Las ventajas del cultivo de microalgas se pueden resumir en tres puntos según (Cohen, 1986):

1. El cultivo de microalgas es un sistema biológico eficiente de utilización de la energía solar para producir materia orgánica. Las microalgas crecen más rápido que las plantas terrestres y es posible obtener mayores rendimientos anuales de biomasa.
2. La composición bioquímica pueden modificarse fácilmente variando las condiciones ambientales y/o la composición del medio de cultivo.
3. Bajo ciertas condiciones, muchas especies de microalgas pueden acumular en altas concentraciones compuestos de interés comercial, tales como proteínas, lípidos, almidón, glicerol, pigmentos naturales o biopolímeros.

El tipo de cultivo a escoger para el crecimiento microalgal es de suma importancia ya que dependerá de este para una biomasa eficiente; el cultivo de microalgas en **fotobiorreactores**, el cual se utilizó en este trabajo de investigación, presenta una alta tasa de productividad frente a los cultivos abiertos, esta ventaja, aunada a determinados factores ambientales, se relaciona directamente con la cantidad y calidad de biomasa algal obtenida.

Los sistemas cerrados de cultivos de microalgas son reactores transparentes, de plástico o vidrio, con geometrías de diverso tipo: tubulares, cilindros o planas. Se empezaron a desarrollar con posterioridad a los sistemas de lagunaje y su configuración y geometría dependen de condiciones locales, del producto a obtener y de las especificaciones económicas del sistema.

Una de las principales ventajas por las cuales se desarrolla este tipo de cultivo es la mayor facilidad de mantener un monocultivo, sin contaminación por otras especies, que proporcione un producto de pureza apta para su procesado en la industria farmacéutica o alimentaria. Es también más fácil mantener un cultivo durante períodos largos, ya que la protección contra otras contaminaciones biológicas (depredación o toxicidad) es más fácil. Los parámetros de proceso son en definitiva más controlables y la productividad alcanzada en estos sistemas de cultivo cerrado es mayor.

- **Crecimiento**

El crecimiento microalgal se rige por la ley del mínimo, es decir, el factor limitante del crecimiento es aquel que está presente en cantidades más próximas al mínimo crítico necesario para la microalga para todos o el mayor número de parámetros. Ahora bien, estas condiciones, o límites para un parámetro, generalmente cambian cuando un segundo parámetro fluctúa (Cañizares, 1994).

En el cultivo masivo, el rendimiento alcanzado depende tanto de la concentración de las células en el cultivo como del grado en que las células pueden desarrollar su potencial de crecimiento. Por tanto, para conseguir un cultivo de microalgas en crecimiento activo, es necesario: un inóculo viable de tamaño mínimo, suministrado de nutrientes y micro elementos, adecuadas condiciones químicas y físicas (luz, aireación, temperatura, salinidad) y energía (Cañizares, 1994).

Las características del crecimiento y la composición de las microalgas se saben que dependen en gran medida de las condiciones de cultivo

Además de los factores mencionados anteriormente, otro aspecto importante a considerar en el cultivo de microalgas es la asociación de estas con las bacterias, la cual comienza a ser

mejor entendida. Se ha sugerido que el mejor crecimiento se da en cultivos libres de bacterias (axénicos), condiciones que son difíciles y costosas de conseguir. Sin embargo, parece ser que muchas especies de microalgas crecen mejor en asociación con las bacterias. En los casos en los que esto se ha podido observar se sabe que se debe a la producción de cianocobalamina (B12) que lleva a cabo la bacteria y que la proporciona a la microalga (Hoff y Snell, 2001).

También se hace necesario el conocimiento de la cinética de crecimiento de cada especie en cada determinado volumen. Independientemente de la especie y el volumen al que es cultivada se reconoce un patrón estándar de crecimiento indicado por las siguientes fases (Fogg y Thake, 1987). Son cinco las fases de crecimiento en un cultivo típico de microalgas. En las que se definen por el número de células presentes a un tiempo (edad) determinado por las condiciones de cultivo (Hoff y Snell, 1989 en: Uribe, 1994).

#### **A. Fase de latencia o fase inicial**

Es poco el incremento o densidad celular, es una fase de adaptación de las células a las nuevas condiciones de medio. Muchas enzimas metabólicas llegan ser inactivas y las concentraciones de materiales celulares caen a niveles que afectan la división de la célula. Esta fase se puede dilatar entre 2 a 4 días, dependiendo del tamaño y del estado del inoculo.

#### **B. Fase exponencial o desarrollo logarítmico**

La división celular se incrementa en función del tiempo. El incremento de la población existente debido a que las células están asimilando los nutrientes en el medio y su proceso de reproducción asexual es activo. La fase exponencial puede

presentarse del segundo al tercer día después de inoculado, si se controla la dilución del cultivo esta etapa puede prolongarse por semanas.

### **C. Fase de declinación de la fase exponencial**

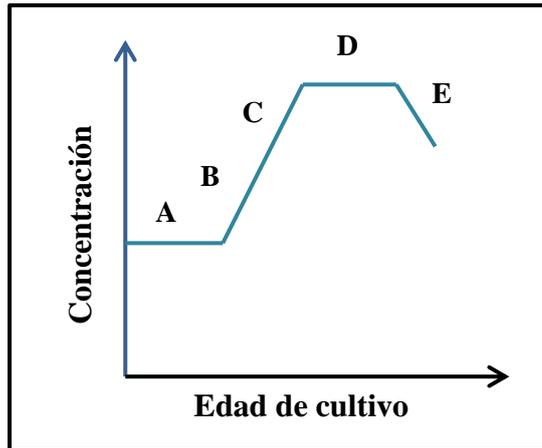
La división celular es lenta cuando los nutrientes han sido consumidos y su carencia limita el crecimiento. Puede durar de uno a dos días en que la edad de cultivo alcanza su valor máximo.

### **D. Fase estacionaria**

En esta fase el factor limitante (carencia de nutrientes) y tasa de crecimiento está balanceados, es decir que las densidades celulares se mantienen relativamente constante por un período relativamente prolongado. Fase muy corta en grupos de cultivos donde los nutrientes son consumidos y no reemplazados.

### **E. Fase de declinación o muerte**

Las células sufren la completa limitación por escasez de nutrientes, la densidad celular comienza a fenecer rápidamente liberando azúcares, proteínas lípidos los cuales son aprovechados en algunos casos por bacterias oportunistas que se alimentan de ella desplazando a la población que aún se mantiene viva, pero que rápidamente colapsa.



**Fig. 2:** Fases de crecimiento en cultivo estático de micro-algas.

- **Factores de importancia**

A continuación se comenta la influencia de factores influyentes en el desarrollo de las micro-algas. Lo expuesto es en general válido para todo tipo de cultivo, aunque en ocasiones se centra más en los cultivos cerrados por ser en éstos donde su control es realmente posible y por ser un fotobiorreactor de lo que en este trabajo se trata.

- **Luz**

La luz es uno de los factores que determinan los procesos de fotosíntesis en los productos primarios, su crecimiento será proporcional a la intensidad de la luz recibida siempre que ésta se sitúe por debajo de un cierto valor máximo (fotolimitación). En los cultivos cerrados se prefiere de una fuente de luz artificial en vez de la exposición directa a la luz solar, porque la radiación ultravioleta de ésta es nociva para las células, cabe resaltar que existen especies de micro-algas que no toleran la iluminación continua ya que requieren fotoperíodo. Las más empleadas en acuicultura como *Chaetoceros*, *Dunaliella* e *Isochrysis* si la aceptan (Paniagua et al., 1989; De la lanza, 1990).

La iluminación artificial puede contribuir a una producción continua, pero obviamente a mayor costo económico y

energético. Ante la necesidad de elección de luz artificial, es importante conocer el espectro de absorción de las algas cultivadas, que depende de los pigmentos mayoritarios presentes en ellas.

En el caso de los cultivos abiertos estos organismos fotosintéticos sólo emplean la fracción del espectro de luz solar que es fotosintéticamente activa, es decir entre 350 y 700 nm. Esta fracción fotosintéticamente activa supone un 40% de la radiación total del Sol. La mayor parte de los ecosistemas naturales vegetales presentan una eficiencia de alrededor del 1% en lo que a conversión de energía lumínica en biomasa se refiere.

Se puede generalizar diciendo que es necesario encontrar, para cada especie, la densidad óptima de cultivo para cada configuración de reactor, de modo que la intensidad de luz incidente y transmitida en el cultivo permita el crecimiento de las micro-algas e impida su inhibición.

- **Nutrientes:**

Se sabe que un desbalance en la proporción suministrada de nutrientes, invariablemente se manifiesta ya sea como un descenso en el crecimiento o hasta la detención del mismo (Hoof y Snell, 2001). Un aspecto importante a considerar es la disminución de nutrientes como factor importante limitativo en el cultivo y como control de calidad nutricional en los denominados cultivos masivos. Los principales nutrientes minerales que éstas toman del medio y necesitan para su desarrollo son:

**a) Carbono:** Las micro-algas pueden emplear como fuente de carbono el CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera, con la ayuda de una enzima llamada anhidrasa carbónica. Algunos sistemas

de cultivo inyectan aire enriquecido en dióxido de carbono en el reactor.

Una ventaja de los fotobiorreactores frente a los sistemas abiertos de cultivo es un menor escape de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Investigaciones recientes apuntan al uso de membranas para favorecer la transferencia de gas al seno del fluido en el cultivo (Posten, 2009).

**b) Nitrógeno:** El contenido en nitrógeno de la biomasa puede suponer desde un 1% hasta más del 10% y depende de la disponibilidad y el tipo de fuente de nitrógeno. En general, las micro-algas pueden tomar nitrógeno del medio en forma de urea, amonio, nitrato, nitrito, nitrógeno gas y óxidos de nitrógeno en algunos casos.

**c) Fósforo:** Es otro de los macronutrientes esenciales en el crecimiento de las micro-algas. Es tomado en forma de ortofosfato (P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>), cuya concentración en equilibrio con las formas protonadas depende lógicamente de pH del medio. La cantidad necesaria de fósforo es mucho menor que la de nitrógeno para una misma cantidad de biomasa generada, como se ha podido comprobar.

Diversos autores han concluido que la relación N: P en el medio de cultivo influye en la toma de nutrientes por parte de las micro-algas, de modo que cuanto más próxima esté a la composición de los microorganismos, mayor crecimiento y toma de nutrientes tendrá lugar.

**d)** En un estudio (Xin, 2010) se demostró, para la micro-alga *Scenedesmus sp.*, que ésta crece más rápidamente con amonio, seguido de urea y finalmente de nitrato. Sin embargo, la eliminación de fósforo y nitrógeno fue más

completa en el cultivo donde éste está presente en forma de nitrato y urea que en aquél con amonio.

- **Salinidad:**

La salinidad del medio de cultivo dependerá de la micro-alga empleada; en los cultivos interiores este parámetro no es controlado y se maneja la salinidad presente del mar, por otro lado, en los cultivos exteriores la salinidad se convierte en el parámetro control en el crecimiento de la micro-alga (Abalde et al., 1995).

Las variaciones de este parámetro influyen escasamente en la productividad primaria y en un mayor grado en los procesos de selección de especies. Las condiciones de hipersalinidad se desarrollan más rápidamente en los estanques, que, en los estuarios, debido al proceso de evaporación.

- **pH:**

El pH en la mayoría de cultivos de micro-algas se encuentra entre 7 y 9, con un óptimo entre 8,2- 8,7. El control de pH se consigue mediante aireación o adición de CO<sub>2</sub>, este control es necesario, dado que, un alto o bajo exceso de pH disminuye el crecimiento de la micro-alga por el rompimiento de muchos procesos celulares. Como se ha explicado, el proceso fotosintético de fijación de CO<sub>2</sub> provoca un aumento gradual de pH en el medio debido a la acumulación de OH, lo que puede promover la eliminación de nitrógeno en forma de amoníaco por *stripping* a la atmósfera y eliminación de fósforo por precipitación de ortofosfato.

- **Aireación:**

En los cultivos de micro-algas la aireación es benéfica por que logra una distribución homogénea de las células y los nutrientes, a su vez mejora la distribución de la luz a las células asegurando que permanezcan fotosintéticamente activas, evitando así que se sedimenten. Además, a través del aire se suministra CO<sub>2</sub> el cual permite una estabilización del pH del cultivo (Richmond, 1986).

- **Temperatura:**

La actividad biológica de las micro-algas está directamente relacionada con la temperatura, bajas temperaturas no matan a las micro-algas, pero, puede provocar una disminución en el crecimiento, por otro lado, temperaturas altas provocarían un colapso en la mayoría de micro-algas. La temperatura ideal en los cultivos, para este crecimiento, está en un intervalo de 16 a 27°C con un óptimo de 24°C.

- **Medición**

La medición de la biomasa es importante en el cultivo para tener un recuento directo de la población celular y se puede hacer a través de diferentes métodos como son: el conteo celular, a través de una cámara de conteo; este es uno de los métodos mayormente realizados, y el cual se ejercerá en esta investigación.

Otros métodos que se podrían utilizar para la medición de biomasa podría ser, la medición de la densidad óptica o absorbancia, con ayuda de un espectrofotómetro; que tiene la ventaja de poder leer varias muestras en un corto tiempo y es un método de alta precisión. También se utiliza el método de fluorimetría que mide la concentración de clorofilas; la

desventaja de esto radica en que la concentración de clorofila a, no permanece constante durante toda la curva de crecimiento del alga, por lo que los valores no son constantes. Finalmente, el método de la cuantificación de biomasa a través del peso seco; este método también es muy utilizado.

## **PRINCIPALES TIPOS DE CULTIVO DE MICROALGAS**

- **Cultivo Estático**

Este sistema no permite adicionar o remover nada de la fase líquida después de la inoculación en un medio apropiado con un inóculo viable. Por lo tanto, un sistema estático puede sostener o soportar la multiplicación celular solo por un tiempo limitado y con cambios progresivos en la composición del medio y la intensidad de luz dentro del cultivo; por lo que el tiempo prolongado de cosecha afecta desfavorablemente la cantidad y calidad nutritiva de las microalgas (Vonshak, 1986; Fulks y Main, 1991). El empleo de estos cultivos generalmente es para fines de bioensayo o bien para transferencia a volúmenes mayores.

- **Cultivo Semicontinuo**

Los cultivos semicontinuos son un tipo de cultivo que se diluyen a intervalos regulares; de tal manera que a la población se le permite crecer hasta que alcance una densidad deseada, se cosecha parcialmente y después se adiciona una cantidad igual de medio fresco. La concentración de biomasa es monitoreada para estimar la frecuencia y la proporción adecuada de dilución (Vonshak, 1986; Fulks y Main, 1991).

Este tipo de cultivo se emplea frecuentemente en los sistemas de producción de microalgas debido a su simplicidad y a la ventaja que representa obtener raciones de alimento diariamente, lo cual es de importancia para los organismos

filtoalimentadores, que tienen una actividad de filtración discontinua (Trujillo y Voltolina, 1994).

- **Cultivo Continuo**

En los sistemas continuos de cultivo, las microalgas son cosechadas continuamente y reciben un constante llenado del medio nutritivo, en el cual el nivel de crecimiento está gobernado por la cantidad del nutriente limitante. Este cultivo nos permite un crecimiento exponencial continuo, lo cual es posible cuando todos los factores que estimulan el crecimiento celular son balanceados por aquellos factores que contribuyen la pérdida de células, para que la concentración celular se mantenga constante. Existen dos modalidades de cultivo continuo: Cultivo turbidostático y quimiostático (Vonshak, 1986; Fulks y Main, 1991).

- **Cultivo Turbidostático**

En este sistema la frecuencia que se cosechan los organismos dependen de un nivel celular preestablecido, cuya biomasa es determinada por un aparato óptico que mide la turbidez de la densidad de cultivo y controla la velocidad de dilución. La limitación de nutrientes no se presenta (Vonshak, 1986; Fulks y Main, 1991).

- **Cultivo Quimiostático**

En este cultivo la frecuencia del recambio continuo de una parte del cultivo depende de la disminución de un nutriente vital, cuyo nivel de concentración en el cultivo es establecido, de tal manera que el nivel de crecimiento es regulado por el surtido del nutriente limitante y no por la densidad celular la cual permanece constante (Fulks y Main, 1991).

## PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MICROALGAS EN EL MUNDO

El cultivo de micro-algas y el uso práctico de su biomasa como fuente de algunos compuestos tiene su origen en Alemania durante la Segunda Guerra Mundial quién empezó la producción de micro-algas como fuente de proteína para la alimentación humana. La industria de estos microorganismos comenzó en los años 60 con el desarrollo de los procesos de *Chlorella*, siguiendo en los años 70 con *Spirulina* (una cianobacterias) y en los años 80 con *Dunaliella salina*. En las últimas décadas ha ocurrido un extraordinario avance en la investigación básica sobre la producción y utilización de algas, pero el escepticismo ante la utilización de fuentes de proteínas distintas a las convencionales, el alto costo de producción del cultivo de algas y los criterios de salubridad han dificultado su implantación como complemento alimenticio en la nutrición humana.

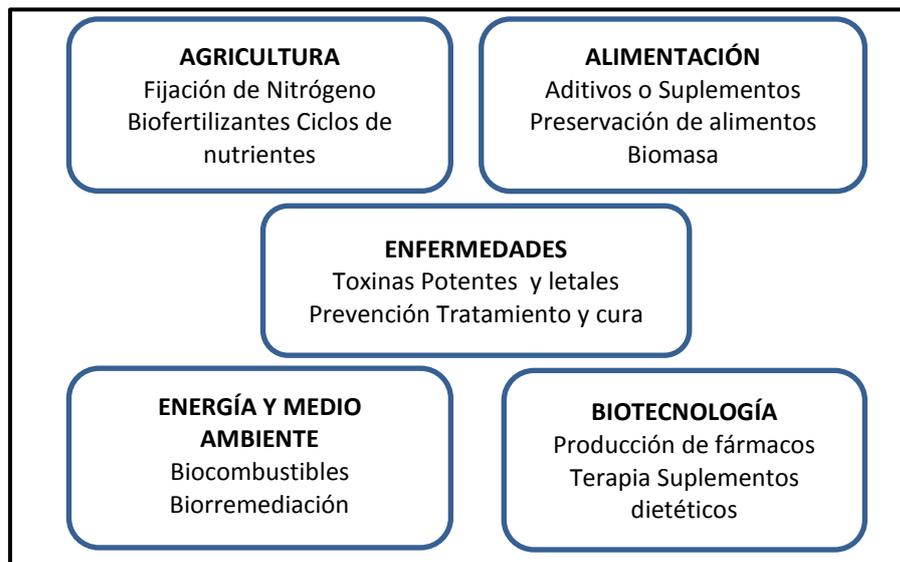
En los años 90, el departamento de energía de los Estados Unidos realizó un estudio sobre la factibilidad del uso de distintas especies de micro-algas para producción de biodiesel, dejándose a un lado debido a los bajos costos del petróleo.

Otras iniciativas privadas surgieron en Europa, principalmente en Holanda y España, llegando a comercializar con éxito tanto aceite como biomasa de micro-algas, además de vender la tecnología de cultivo a diversas empresas (Sánchez Varo, 1996).

Estudios han demostrado la potencialidad de las algas para producir una amplia gama de compuestos polisacáridos, lípidos, proteínas, pigmentos, vitaminas, esteroides, enzimas, antibióticos, productos químicos y farmacéuticos, biocombustibles, etc. La mayor parte de la biomasa de estas algas se comercializa como alimentos medicinales; se usan en sistemas de tratamiento de

aguas pudiendo retirar metales pesados, macronutrientes, etc. del medio acuático.

Muchos conceptos relacionados con los cultivos a gran escala de microalgas han evolucionado como es el caso de las técnicas de ingeniería genética que permiten la manipulación de genes específicos para producir masivamente estos compuestos (Sánchez Varo, 1996).



*Fig. 3: Impacto de las micro-algas en la vida del hombre.*

## **BARRERAS Y AVANCES EN LA PRODUCCIÓN DE MICROALGAS**

A pesar del potencial de las micro-algas para su aprovechamiento en los sectores de la energía, depuración y fabricación de productos de alto valor añadido, el desarrollo de su producción a nivel industrial o semi-industrial se ha visto impedido en algunos casos por una falta de rentabilidad económica. Algunos de los motivos, que a su vez constituyen posibles campos de mejora, son los siguientes:

- ✓ La selección de especies debe permitir al mismo tiempo la producción de biodiesel y de otros productos de valor añadido.

- ✓ Los sistemas de producción precisan de mayor grado de desarrollo que permita alcanzar eficiencias fotosintéticas mayores.
- ✓ Aún existen problemas a solventar en la mantención de monocultivos, evitando la contaminación.
- ✓ La evaporación debería ser reducida, así como las pérdidas de difusión de CO<sub>2</sub>.
- ✓ La energía necesaria en el proceso debe ser minimizada a toda costa, ya que en ocasiones el gasto energético total (bombeo, transferencia de CO<sub>2</sub>, separación, secado, extracción, etc.) no compensa con la energía obtenida.
- ✓ La existencia de pocas plantas industriales en funcionamiento, y el recelo de sus dueños a compartir información, hace difícil la recolección de datos para realizar balances completos y optimización.

En consecuencia, la investigación actual en micro-algas se desarrolla en varios frentes, como el de la ingeniería: diseño de fotobiorreactores donde el aprovechamiento de la luz sea óptimo, la simulación de dinámica de fluidos para estudiar el efecto que tienen las condiciones hidrodinámicas y la agitación en la productividad, el estudio del empleo de membranas para inyectar el CO<sub>2</sub> en el cultivo, la modelación de los procesos de toma de nutrientes, y en definitiva circunstancias que nos lleve a maximizar la productividad y disminuir el consumo energético.

Asimismo, existe un gran potencial en la combinación de procesos de los que las micro-algas son participes, como la obtención de biodiesel, que a su vez fijan gases de escape, o la digestión anaerobia para obtención de metano por las micro-algas tras haberse extraído los lípidos u otras sustancias. La combinación de varios procesos mejora la viabilidad económica y medioambiental.

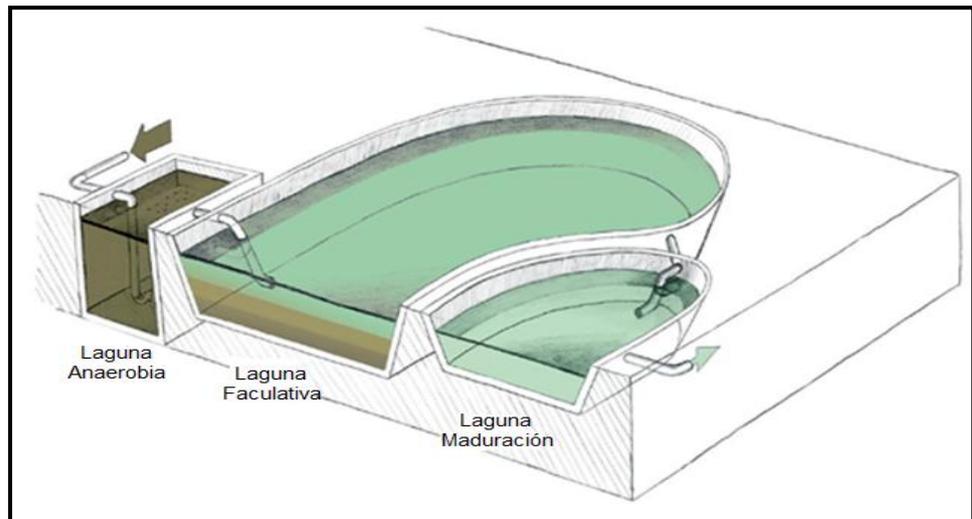
En esta línea cabe la posibilidad de combinar la producción de micro-algas y el tratamiento de aguas, de modo que se produce un importante ahorro en el consumo de nutrientes, ya que éstos provienen de un agua residual que, por su parte, ha de ser tratada.

### **MICROALGAS EN UN SISTEMA DE DEPURACIÓN**

El empleo de las micro-algas para la depuración de aguas residuales ha sido promovido desde finales de la década de los cincuenta (Oswald, 1957). En los años 70 se desarrollaron en los EEUU sistemas abiertos de cultivo de Micro-algas para el tratamiento de aguas residuales, donde se transformaba la biomasa obtenida en metano (Ugwu 2008). Sin embargo, este sistema de tratamiento ha visto frenada la extensión de su uso debido a la gran superficie de terreno que necesita, y a la extensión de otros sistemas como el de fangos activados. Las algas son empleadas en numerosas partes del mundo para el tratamiento de aguas residuales, pero a pequeña escala.

La capacidad de las algas de eliminar nitrógeno y fósforo del agua las convierte sin embargo en una posibilidad real para la eliminación de nutrientes del agua residual. De hecho, se ha demostrado que en la eliminación del fósforo pueden ser tan eficientes como el tratamiento químico convencional (**Hoffman, 1998**). Sus principales ventajas son el menor costo, ya que no son necesarios productos químicos, y la recuperación de los nutrientes en forma de biomasa que puede ser empleada como fertilizante. Por otro lado, el consorcio algas-bacterias, en que las primeras generan el oxígeno necesario para la respiración de las segundas, cuya descomposición a su vez proporciona los nutrientes necesarios, junto a la energía lumínica, para la fotosíntesis, ha sido estudiado por diversos autores.

Los principales sistemas de depuración con algas son lagunas de estabilización no demasiado extensas, o sistemas de lagunaje de alta carga (*high rate algal ponds* o *HRAP* en inglés). Estos sistemas son canales de oxidación de poca profundidad y con sistemas mecánicos de mezclado, han demostrado gran eficacia en el tratamiento de agua residual.



**Fig. 4:** Esquema general de un proceso de lagunaje.

Uno de los principales motivos por el que estos cultivos de microalgas no son empleados en el tratamiento de agua residual a gran escala es la dificultad y costo de la separación de la biomasa generada del agua depurada, debido al pequeño tamaño de las algas y su baja densidad en un sistema de canales de oxidación. A este respecto, se ha investigado con especies de cianobacterias filamentosas con alta capacidad de auto floculación, así como con biomasa fijada. Por otro lado, para una eliminación de nutrientes efectiva son necesarias altas productividades de biomasa fotosintética, así como la selección de microalgas que soporten las condiciones del medio y los posibles contaminantes.

<b>MICROALGAS</b>	<b>TIPOS DE AGUA RESIDUALES</b>
<b>Prototheca Zopfi</b>	Hidrocarburos derivados del petróleo
<b>Chlorella pyrenoidosa</b>	Tintes azoicos en aguas residuales
<b>Chlorella sp.</b>	Residuos de ganadería digeridos anaeróbicamente
<b>Ankistrodesmus y Scenedesmus</b>	Aguas residuales de industria del papel y alperujos
<b>Spirulina platensis</b>	Agua residual urbana
<b>Chlorella sokoniana</b>	Agua residual en heterotrofia sin luz
<b>Botryococcus braunii</b>	Agua residual tras tratamiento secundario
<b>Scenedesmus</b>	Altos niveles de amonio en efluente de digestión anaerobia.

**Tabla 2:** *Microalgas empleadas en la degradación de diversos contaminantes*

### 3.2.2. AGUAS RESIDUALES

Es una combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casas, edificios comerciales, fábricas e instituciones combinada con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente.

- **Agua Residual Artificial**

Las aguas residuales artificiales permiten un primer estudio simplificado a escala de laboratorio, mediante el cual el análisis de los principales componentes puede hacerse sin necesidad de tener en cuenta variables desconocidas como factores bióticos. La mayoría de medios contienen elevadas concentraciones de determinados nutrientes y no presentan materia orgánica u otras sustancias potencialmente tóxicas. Es por ello que los estudios que comparan el crecimiento de micro-algas en aguas reales y artificiales obtienen valores mayores para las aguas artificiales,

aunque la eliminación de nutrientes sea similar. Mediante aguas residuales artificiales se eliminan también inhibiciones por sustancias segregadas por otros microorganismos, competencia de otras bacterias por el sustrato o incluso depredación por parte de protozoos.

Si bien es cierto que el empleo de aguas residuales artificiales facilita por ejemplo la obtención de parámetros cinéticos y estequiométricos, obviamente la evaluación final de la posibilidad del empleo de Micro-algas para la depuración de un agua residual concreta pasa por el estudio y la experimentación con dicha agua.

Aslan (2006) investiga la influencia de la concentración inicial de nitrógeno y fósforo en un agua residual artificial sobre la capacidad de *Chlorella* de eliminar nutrientes en el agua.

Determina coeficientes cinéticos (empleando la expresión de Michaelis – Menten) como la constante de reacción  $k$ , constante de semisaturación  $K_m$  y rendimiento  $Y$  tanto para el nitrógeno como para el fósforo:

$$k = 1,5 \text{ mg N-NH}_4/\text{mg chla}\cdot\text{d} \quad K_m = 31,5 \text{ mg/L} \quad Y = 0,15 \text{ mg chla}/\text{mgN-NH}_4$$

$$k = 0,5 \text{ mg P-PO}_4/\text{mg chla}\cdot\text{d} \quad K_m = 10,5 \text{ mg/L} \quad Y = 0,14 \text{ mg chla}/\text{mgP-PO}_4$$

Lodi y Binaghi (2003) estudian la eliminación por parte de *Spirulina platensis* de nitratos y fosfatos de un medio artificial de cultivo, determinando rendimientos de eliminación en función de la temperatura y de la cantidad inicial de Micro-algas presentes en el inóculo. Los crecimientos obtenidos oscilan desde los 16 a los 42 mg/L·d, la eliminación de fosfatos de 0,2 a 0,6 mg/L·d y la eliminación de nitratos de 1,6 a 4 mg/L·d.

Kong y Li (2010) han cultivado la especie *Chlamydomonas reinhardtii* en laboratorio y en un fotobiorreactor, comparando los resultados con agua artificial y agua residual real tomada en tres puntos diferentes de un tratamiento tradicional. Determinan el efecto que la concentración inicial de los nutrientes tiene sobre su eliminación, así como la influencia de la temperatura, pH y CO<sub>2</sub>.

Yuan y Kumar (2011) han alcanzado altas densidades de *Spirulina platensis* (3,5-3,8 g/L) cultivada en un fotobiorreactor, concluyendo que el sistema muestra un buen potencial para tratar aguas residuales con altas concentraciones de nutrientes (412mg nitrógeno/L y 90 mg fósforo/L).

Xin et al. (2010) han empleado aguas sintéticas para estudiar la influencia de la forma en que se presenta el nitrógeno en la toma de las Microalgas de dicho nutriente, determinando que el amonio posibilita un mayor crecimiento.

- **Agua Residual Real**

Existen numerosas investigaciones que tratan la depuración de agua residual real mediante el cultivo de micro-algas. A continuación, se comenta una selección de las más recientes.

- **Agua residual urbana**

El principal potencial de las micro-algas en depuración de agua residual radica en su capacidad de asimilación, y por tanto eliminación del medio, de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo. Es por ello que la mayoría de estudios se centran en el uso de las micro-algas como tratamiento terciario de las aguas, es decir, aquél tras el cual el agua es devuelta al medio, y previo al cual se ha eliminado la mayor parte de materia orgánica disuelta y suspendida. En concreto, algunas especies de micro-algas verdes presentan especial tolerancia a medios altos en nutrientes. Estas

especies son *Chlorella* y *Scenedesmus*, y existe gran cantidad de estudios sobre ellas.

Wang y Min (2009) evaluaron el crecimiento de *Chlorella* en aguas residual de cuatro puntos de su proceso de tratamiento: previa a la decantación primaria, tras la decantación primaria, tras el tratamiento de lodos activos, y el sobrenadante de la centrifuga de lodos. Su estudio proporciona datos de velocidades específicas de crecimiento (desde  $0,34 \text{ d}^{-1}$  tras lodos activos hasta  $0,95 \text{ d}^{-1}$  para el sobrenadante) y de eliminación de nutrientes y DQO. También llama la atención sobre el hecho de que las microalgas eliminan aluminio, calcio, hierro y manganeso del sobrenadante de la centrifuga.

Wang y Lan (2011) estudian la producción de biomasa y la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana tras su tratamiento secundario mediante el cultivo de *Neochloris oleoabundans*, obteniendo una concentración de biomasa de 2100 mg/L, una producción de 233mg/L-d y una eliminación total de 218 mgN-NO<sub>3</sub>/L y 47 mgPO<sub>4</sub>/L.

Un estudio de Ruiz-Marin (2010) al que ya nos hemos referido anteriormente obtuvo un porcentaje de eliminación de amonio del 100% y 60% en cultivos tipo batch de *Scenedesmus obliquus* y *Chlorella vulgaris*, respectivamente.

Yang y Li (2011) han conseguido, mediante *Chlorella elipsoidea*, eliminaciones de 99% y 95% de nitrógeno total y fósforo total, respectivamente, al tratar aguas residuales urbanas tras su tratamiento secundario mediante tres configuraciones diferentes (Lodos activados, A2O y canales de oxidación).

- **Residual industrial**

En el caso de las aguas residuales industriales el principal interés no suele radicar en la eliminación de nutrientes sino en la

eliminación de metales pesados (cadmio, cromo, zinc) o compuestos tóxicos orgánicos que pueden ser eliminados por determinadas micro-algas, como ya se ha comentado. Debido a que en este tipo de aguas los nutrientes no se encuentran en altas concentraciones, el crecimiento de las algas es más lento y por tanto la cantidad de biomasa generada es menor.

Existen también ejemplos, como un estudio reciente en agua residual de una industria de fabricación de alfombras, donde las micro-algas *Chlorella saccharophila*, *Pleurochrysis carterae* y *B. braunii* son sin embargo capaces de generar una cantidad importante de biomasa, que podría ser empleada para usos energéticos según los autores. (Chinnasamy 2010).

- **Agua residual de explotaciones ganaderas y agrícolas**

Estas aguas se caracterizan por presentar muy elevadas concentraciones de nutrientes, y diversos estudios han demostrado la capacidad de determinadas especies de micro-algas de eliminarlos del medio. Como ejemplo citaremos *Botryococcus braunii*, estudiada por An et al. (2003), *Microspora willeana*, *Ulothrix* sp. y *Rhizoclonium hierglypticum* (Pittman 2011).

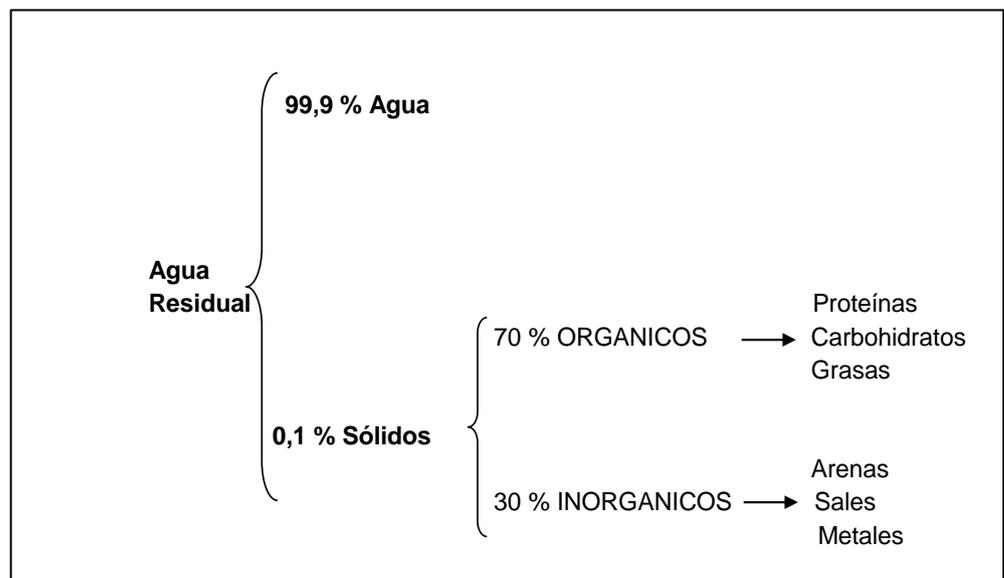
Park y Jin (2010) han estudiado el tratamiento mediante el cultivo de *Scenedesmus* sp. de efluentes provenientes de digestión anaerobia de residuos ganaderos, demostrando la capacidad de dicha micro-alga de eliminar altos contenidos en nutrientes (5-6 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L·d) y la importancia del aporte de carbono inorgánico en forma de alcalinidad del medio, ante la ausencia de inyección de CO<sub>2</sub>.

En una revisión por Markou (2011) se hace referencia a numerosos ejemplos de cultivo de cianobacterias para tratar

residuos y aguas residuales de industrias porcinas, de ganado vacuno y aves.

- **Constituyentes de las aguas residuales**

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. De los constituyentes del agua residual, los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia, y por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales deben ser diseñadas para su remoción. A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo.



**Fig. 5:** Porcentaje de los constituyentes de un Agua Residual.

## TIPOS DE CONTAMINANTES

La contaminación de los cauces naturales se origina por diversas fuentes, las cuales se pueden generalizar en vertidos urbanos, industriales, agroindustriales, químicos, residuos clínicos, etc. Las sustancias contaminantes que pueden aparecer en un agua residual son muchas y diversas.

### ➤ **Contaminantes Orgánicos**

- **Proteínas:** Proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores.
- **Carbohidratos:** Incluimos en este grupo azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proceden, al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios.
- **Aceites y grasa:** Altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades.

### ➤ **Contaminantes inorgánicos**

Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales, etc. Aparecen en cualquier tipo de agua residual, Aunque son más abundantes en los vertidos generados por la industria. Los componentes inorgánicos de las aguas residuales estarán en función del material contaminante, así como de la propia naturaleza de la fuente contaminante.

### ➤ **Contaminantes habituales en aguas residuales**

- **Arenas:** Entendemos como tales una serie de particular de tamaño apreciable y que en su mayoría son de naturaleza mineral, aunque pueden llevar adherida materia orgánica. Las arenas enturbian las masas de agua cuando están en

movimiento, o bien forman depósitos de lodos si encuentran condiciones adecuadas para sedimentar.

- **Grasas y aceites:** Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmisible con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.
- **Nitrógeno y fósforo:** Tienen un papel fundamentalmente en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes, principalmente. El nitrógeno orgánico también es aportado a las aguas residuales a través de las excretas humanas.
- **Agentes patógenos:** Son organismos que pueden ir en mayor o menor cantidad en las aguas residuales y que son capaces de producir o transmitir enfermedades.
- **Otros contaminantes específicos:** Incluimos sustancias de naturaleza muy diversa que provienen de aportes muy concretos: metales pesados, fenoles, petróleo, pesticidas, etc.

## **NUTRIENTES**

Los nutrientes son compuestos químicos necesarios para el ciclo de vida de ciertos microorganismos, para sus funciones de almacenamiento y reutilización, siendo perjudiciales en grandes cantidades en los cuerpos receptores.

Para la caracterización del agua residual cruda los nutrientes se clasifican en:

### **1. Fosforo Total**

- Orto fosfato
- Poli fosfatos

### **2. Nitrógeno Total**

- Nitrógenos Orgánico
- Nitrógeno Amoniacal
- Nitratos y Nitritos

## **REMOCIÓN DE NUTRIENTES**

La remoción de nutrientes es de gran importancia sanitaria, ya que su aumento en cuerpos de agua (especialmente lagos y lagunas), genera el fenómeno de eutrofización. La eutrofización consiste en un enriquecimiento excesivo de los elementos nutritivos del agua, esto da lugar a una serie cambios sistemáticos indeseables, entre ellos la producción perjudicial de algas y otras plantas acuáticas, el deterioro de la calidad de agua, la aparición de malos olores y sabores desagradables y la muerte de peces en el cuerpo de agua. La floración excesiva de algas y plantas acuáticas es un fenómeno visible que puede complicar considerablemente la utilización y la calidad estética de las masas de agua.

El consumo de las microalgas es un proceso por el cual los alimentos entran a ellas. Su fuente de alimentación son los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y otros nutrientes para crecer, entonces tiene el efecto de eliminación de estos elementos de la fase acuosa. El cultivo de esta micro alga elimina permanentemente estos alimentos de la columna del agua.

## **CALIDAD DEL AGUA**

Cuando los ríos u otros cursos de agua reciben descargas de aguas servidas urbanas o efluentes de origen industrial, comienza el problema de contaminación o degradación de la calidad del cuerpo receptor, es decir disminuye la calidad del agua del curso, la hace menos útil y modifica si condición de elemento beneficioso para la salud, convirtiéndola en factor de amenaza para la misma.

## LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES Y ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL

Durante la realización de sus actividades, las empresas cuentan con estándares ambientales que deben cumplir para garantizar una adecuada protección del ambiente y la salud de las personas. Estos estándares ambientales son los límites máximos permisibles (LMP) y los estándares nacionales de calidad ambiental.

- **Estándares de calidad ambiental**

Durante la realización de sus actividades, las empresas cuentan con estándares ambientales que deben cumplir para garantizar una adecuada protección del ambiente y la salud de las personas. Estos estándares ambientales son los límites máximos permisibles (LMP) y los estándares nacionales de calidad ambiental.

- **Límites máximos permisibles**

Los LMP aseguran que los efluentes líquidos que emitan las empresas no excedan ciertos niveles de concentración que se consideran dañinos a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente.

Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto		
Parámetros	Unidad	Valor
pH	Unidad de pH	6,5-8,5
Temperatura	°C	<35
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=4
Turbidez	NTU	<5
DBO	mg/L	15

<b>DQO</b>	mg/L	40
<b>Fosfatos</b>	mg/L	1
<b>Nitrógeno Total</b>	mg/L	-

**Tabla 3:** Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua de categoría 3, manejados en la PTAR de Esmeralda Corp.

**Fuente:** Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM

<b>Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>pH</b>	Unidad de pH	6,5-8,5
<b>Temperatura</b>	°C	<35
<b>Oxígeno Disuelto</b>	mg/L	>=4
<b>Turbidez</b>	NTU	<5
<b>DBO</b>	mg/L	15
<b>DQO</b>	mg/L	40
<b>Fosfatos</b>	mg/L	1
<b>Nitrógeno Total</b>	mg/L	-

**Tabla 4:** Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR.

**Fuente:** Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

## **PARÁMETROS QUE SE ANALIZAN EN AGUAS RESIDUALES**

Cada país establece los parámetros de calidad del agua, por lo general se basan en los estándares de calidad establecidos en los *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Métodos estandarizados para la examinación de agua y aguas residuales), estos estándares fijan los límites permisibles que se siguen en EEUU, Canadá y la OMS.

- **Parámetros Físicos**

- ✓ **Aspecto:** Se refiere a la descripción de su característica más apreciable a simple vista, por ejemplo: agua residual turbia, presencia de sólidos disueltos, presencia de sustancias flotantes, etc.
- ✓ **Color:** Indica la presencia ya sea de sustancias disueltas o coloidales o suspendidas, da un aspecto desagradable al agua residual.
- ✓ **Turbidez:** La provoca la presencia de sustancias en suspensión o en materia coloidal.
- ✓ **Olor:** Se debe generalmente a la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas, que poseen olor en si mismas. El olor característico de un agua séptica, se debe al desprendimiento de sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S) que se genera a partir de la reducción de sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaeróbicos.
- ✓ **Sólidos Totales:** Son los materiales suspendidos y disueltos en el agua. Se obtienen evaporando el agua a 105 °C y pesando el residuo.

- **Parámetros Químicos**

- ✓ **Temperatura:** El aumento de T° de un líquido residual, disminuye la solubilidad de oxígeno del entorno del cuerpo receptor donde se vuelca el mismo.
- ✓ **DBO5:** Expresa la cantidad de oxígeno necesario para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de

tiempo y temperatura especificados (generalmente 5 días y a 20 °C.).

- ✓ **DQO:** Expresa la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica, usando como oxidantes, sales inorgánicas de permanganato o dicromato, en una prueba que dura 2 horas.
- ✓ **pH:** Es importante su determinación por la influencia que tiene en el desarrollo de la vida acuática.
- ✓ **Fósforo Total:** El fósforo es un elemento esencial para el crecimiento biológico. En el agua residual el fósforo se encuentra en tres formas: ortofosfato solubles, polifosfatos inorgánicos y fosfatos orgánicos. El ortofosfato es la forma más fácilmente asimilable por los microorganismos y se utiliza como un parámetro de control en los procesos biológicos de eliminación de fósforo. Las aguas residuales domesticas tienen una concentración de fósforo total de aproximadamente 5-15 mg/L.
- ✓ **Nitrógeno Total y Orgánico:** Se determina para ver la evolución de los tratamientos biológicos. El nitrógeno es un elemento importante en las aguas residuales ya que es necesario para el crecimiento de los microorganismos. Si el agua residual no contiene suficiente nitrógeno pueden ocurrir problemas por deficiencia de nutrientes durante el tratamiento secundario. Pero también el nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas cuando se encuentra en elevadas concentraciones.

Parámetro	Contaminación fuerte	Contaminación media	Contaminación ligera
Sólidos totales	1000	500	200
DBO <sub>5</sub> a 20°C	300	200	100
DQO	800	450	160
Oxígeno disuelto	0	0.1	0.2
Nitrógeno total	86	50	25
Fósforo total	17	7	2
pH	6.9	6.9	6.9

**Tabla 5:** Niveles de Concentración en aguas residuales.

- **Parámetro Biológico**

Todos los organismos que se encuentran en el agua son importantes en el momento de establecer el control de la calidad de la misma sin considerar si tienen su medio natural de vida en el agua o pertenecen a poblaciones transitorias introducidas por el ser humano; si su crecimiento lo propician los nutrientes presentes en el escurrimiento natural y en aguas residuales municipales o lo frenan los venenos procedentes de la actividad agrícola o industrial; y si tienen capacidad para intoxicar a las personas y a los animales superiores.

Habitualmente los estudios están basados en un número de organismos significativos y cuantitativamente determinables, en los cambios de las condiciones de su existencia y sus efectos, y en la identificación sistemática y enumeración estadística de las poblaciones.

Los parámetros biológicos en las aguas potables son de mucho interés. La normativa recoge una serie de análisis microbiológicos según se efectúe sobre las aguas un análisis

mínimo, coliformes totales y fecales. Para completar el análisis microbiológico de aguas potables se hacen también los análisis que indiquen la presencia de salmonellas, estafilococos patógenos, bacteriófagos fecales y enterovirus. Además, el agua no deberá contener algas ni organismos parásitos.

### ✓ **Organismos Patógenos**

Los organismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden provenir de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una enfermedad determinada. Las principales clases de organismos patógenos que pueden encontrarse en aguas residuales son: bacteria, parásitos (protozoos, helmintos) y virus.

- **BACTERIAS**

Salmonella spp.	Aeromonas spp.
coli O157:H7	L. monocytogenes
Vibrio cholerae	Klebsiella spp.
Especies de Shigella	Citrobacter freundii
	Campylobacter spp

- **VIRUS**

Virus de la Hepatitis A	Virus Entéricos
Norowak virus	

- **PARÁSITOS**

Cyclospora	Toxoplasma
Cryptosporidium	Helmintos - Ascarias
Giardia	

### **3.3. Definición de términos básicos**

#### **a) Cultivo Estático**

Este cultivo puede sostener o soportar la multiplicación celular solo por un tiempo limitado y con cambios progresivos en la composición del medio y la intensidad de luz dentro del cultivo; por lo que el tiempo prolongado de cosecha afecta desfavorablemente la cantidad y calidad nutritiva de las microalgas

#### **b) Cultivo Semicontinuo**

Los cultivos semicontinuos son un tipo de cultivo que se diluyen a intervalos regulares; de tal manera que a la población se le permite crecer hasta que alcance una densidad deseada, se cosecha parcialmente y después se adiciona una cantidad igual de medio fresco.

#### **c) Cultivo Continuo**

Este cultivo nos permite un crecimiento exponencial continuo, lo cual es posible cuando todos los factores que estimulan el crecimiento celular son balanceados por aquellos factores que contribuyen la pérdida de células, para que la concentración celular se mantenga constante.

#### **d) Efluentes**

Un efluente, en hidrología, corresponde a un curso de agua, también llamado distributario, que desde un lugar llamado confluencia se desprende de un lago o río como una derivación menor, ya sea natural o artificial.

#### **e) Aguas residuales**

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica.

**f) Sistemas cerrados de cultivos de micro-algas**

Son reactores transparentes, de plástico o vidrio, con geometrías de diverso tipo: tubulares, cilindros o planas.

**g) Fotobiorreactores**

Los fotobiorreactores (FBRs) son dispositivos destinados al cultivo masivo de microalgas. Para ello, tienen que mantener un medio estable (temperatura, pH, baja concentración de O<sub>2</sub>) y proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento incluyendo la luz.

**h) Hemocitómetro**

Aparato para contar el número de células existentes en un volumen de sangre o de otro líquido. Consiste en un portaobjetos de microscopio con una cámara de recuento. La cámara tiene un volumen conocido y el portaobjetos tiene un área rayada para ayudar al recuento de las células.

## **CAPITULO IV: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Análisis de tablas y gráficos**

#### **4.1.2. Elección de la microalga “*scenedesmus sp*”**

La base científica para el tratamiento de aguas residuales de un sistema con microalgas es el aprovechamiento de los nutrientes de las aguas por estos microorganismos para su crecimiento, hay investigaciones que indican una tasa alta de crecimiento debido a su relación sinérgica entre ambas partes, esto significa una mejor eliminación y degradación de compuestos orgánicos.

Esta microalga ha sido utilizada para el tratamiento de aguas residuales provenientes de plantas de tratamientos convencionales, aguas residuales industriales y residuos animales debido a su particular tolerancia de las condiciones de los efluentes residuales y su alta eficiencia (Pittman et al, 2011).

#### **4.1.3. Metodología de la investigación utilizando la microalga “*scenedesmus sp*”**

La investigación está orientada a evaluar y cuantificar los niveles de rendimiento de la microalga "*Scenedesmus sp*" en un sistema de purificación del efluente de la PTAR de lodos activados de la empresa Esmeralda Corp.

Esta especie de microalga empleada fue donada por el IMARPE (Instituto del Mar Peruano), el ensayo consta de dos etapas: en la primera parte del ensayo se pretende lograr obtener un volumen adecuado de cultivo y en la segunda etapa después de la obtención de un crecimiento óptimo, está será llevada al efluente para su respectivo tratamiento.

- **Primera etapa del ensayo:**

Se tomó tres replicas para lograr obtener un volumen de mayor cantidad que el otorgado por IMARPE, que fue de 20 ml para lograr matraces de 1000 ml con una proporción de 1:4, y una cantidad de nutrientes de 2ml, el cual se obtuvo con relevancia un adecuado crecimiento microalgal en un periodo de 7 días.



**Fig. 6:** Inicio de cultivo de microalgas en matraces de 1000 ml.



*Fig. 7: Finalización de cultivo de microalgas en matraces de 1000 ml.*

#### **4.1.4. Campo de aplicación**

Esta técnica será aplicada en cultivos de microalgas mantenidos en laboratorios sometidos a condiciones controladas de luz, temperatura, nutrientes y CO<sub>2</sub>.

#### **4.1.5. Fundamento de la aplicación**

La técnica consiste en aumentar el cultivo de microalgas utilizando recipientes de diferentes volúmenes. Esta se basa en trasvasar de un matraz de menor capacidad a otro de mayor capacidad, una determinada cantidad de cultivo celular, de manera tal, que el número de células por mililitros (capacidad de carga) aumente en un determinado periodo de tiempo. En este nivel se usan nutrientes químicamente puros, los cultivos tiene que ser altamente puros y axénicos.

Después de la obtención de volúmenes en buenas condiciones en matraces de 1000 ml en el tiempo mencionado, este fue llevado a recipientes de 7 L, manteniendo la proporción de 1:4 de microalgas y medio de cultivo, logrando en este volumen un cultivo óptimo para ser llevado a la segunda fase.



**Fig. 8:** Cultivo de microalgas en recipientes de 7 L de capacidad.

▪ **Segunda etapa del ensayo:**

Se empezó con un cultivo inicial de 1000 ml, antes que llegara a su máxima fase se trasladó a un recipiente de 7 L, finalmente se trasladó a un recipiente de 20 L el cual fue la capacidad requerida para el posterior tratamiento.



**Fig. 9:** Cultivo de microalgas en recipientes de 20 L de capacidad.

El paso de un volumen a otro se hizo cuando este se encontraba en una fase exponencial, realizando el conteo por cada unidad

experimental, bajo el microscopio binocular empleando el hemocitómetro (cámara Neubauer), para el análisis de crecimiento.

Estadísticamente se aplicó un análisis múltiple de medias, para establecer comparaciones de crecimiento de cada una de las microalgas y tratamiento en los diferentes medios de fertilización.

El objetivo de contar microalgas no es solamente establecer la población (densidad celular) expresado en cel/ml que hay en un recipiente, sino también determinar numéricamente el incremento de división celular en un determinado tiempo. Los resultados permitirán determinar en cierto modo, la situación de un cultivo y relacionarlo con la curva de crecimiento de esa población de algas.

El método para contar algas, implica el uso de un dispositivo que permita el conteo. De todos los dispositivos conocidos el más usado en los laboratorios de larvas comerciales es el hemocitómetro.

- **Hemocitómetro**

Este instrumento de 0.1 mm de profundidad es recomendado para contar algas pequeñas (2 a 30u) y cultivos que lleguen a densidades de  $5 \times 10^4$  a  $10^6$  cel/ml. El tipo más común es el de Neubauer de 2 cámaras cada uno con un retículo de nueve cuadros de 1mm por lado, los cuadros están a su vez sub-divididos.

En el hemocitómetro se trabaja por densidad celular (conteo celular), este valor es expresado en número de células por mililitro, se calcula como indica la ecuación. Cuando la densidad es elevada, la muestra se diluye con agua destilada hasta facilitar su conteo.

$$\text{Cel/ml} = n^{\circ} \text{ de células contadas } (0,0025 \times 0,1 \text{ mm}^3 \times 10^3)$$

### Uso del hemocitómetro:

- Coloque el cubre objeto limpio sobre los pilares de soporte de la cámara.
- Usando una pipeta que contiene la muestra de Microalgas en un ángulo 45°, depositar una gota en cada ranura del hemocitómetro para llenar el espacio.
- Es conveniente esperar un tiempo apropiado de tres minutos antes de proceder al conteo en el microscopio, para dejar que las unidades algales se asienten debidamente. Usar objetivo conveniente según sea más claro y cómodo para proceder.
- Mantener un orden en la secuencia del conteo para evitar errores de suma. No considerar las células que están asentadas justo en medio de cualquier línea de los cuadros, sean de la internas o de las laterales, aunque este criterio no se aplica cuando apenas es un 25% del cuerpo de la célula el que esté taponando la línea.



**Fig. 10:** Extracción de Microalga con ayuda de una pipeta.



**Fig. 11:** Muestra microalgal depositada en la cámara Neubauer para su posterior observación.

#### **4.1.6. Escenario de la investigación**

##### **4.1.6.1. Descripción de la planta**

La empresa “Esmeralda Corp”, se encuentra ubicada en el Km 18.5 Autopista Panamericana Sur s/n Villa Chorrillos, cerca del cruce de la Av. Huaylas y Panamericana; cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Esta Planta de tratamiento se encuentra en mejora continua; fue construida con el propósito de tratar las aguas residuales de dicha empresa, la cual se dedica a brindar servicios de almacenamiento de productos congelados, fríos y secos; al alquiler de espacios, al proceso de productos cárnico e hidrobiológicos, entre otros. Implementa métodos y tecnologías que les permite alcanzar niveles por debajo de los límites máximos permisibles para riego de tallo alto y bajo; haciendo posible la reutilización de sus aguas residuales.



**Fig. 12:** Mapa señalando la entrada y su PTAR de la empresa “Esmeralda Corp SAC”.

#### **4.1.6.2. Descripción de la infraestructura**

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales está compuesta por las unidades de Pre- Tratamiento, Tratamiento Primario, Secundario, donde se realizan tratamientos químicos, biológicos bajo condiciones de control estricto de esta manera. El lugar ha alcanzado niveles de remoción que han permitido el reúso de sus aguas en el riego de las áreas verdes dentro de la corporación como en áreas circundantes.

#### **4.1.7. Metodología del cultivo**

La metodología en este capítulo se basó en la utilización del Marco Teórico, que permitió:

- Describir la aplicación de la especie microalga “*Scenedesmus sp*” en el sistema de tratamiento aplicado.

- Como medio de cultivo, se empleó el efluente de la PTAR de Esmeralda Corp. S.A.C, el cual se extrajo del Sedimentador, este se utiliza para remover partículas finas (menores a 0.2 mm y mayores a 0.05 que contienen los efluentes). Este efluente cárnico contiene lavado de pescado, mariscos, pota e implementos.

#### **4.1.8. Infraestructura del sistema**

El propósito de este análisis es la verificación del tiempo de remoción de materia orgánica y el grado de concentración obtenido, así mismo como influyo la microalga en el efluente, además de evaluar la posibilidad para llevar a una mayor escala esta investigación, si la proyección que se tiene cumpla con nuestras expectativas, mejorando la calidad del agua.

- **Sistema empleado**

Actualmente, existen proceso eficaces para eliminar los contaminantes de las aguas residuales, pero estas tecnologías presentan una serie de desventajas derivadas de su alto costo y complejidad de operación.

El sistema empleado que se utilizó consta de 2 cilindros de capacidad de 120 L aproximadamente la conducción de las aguas se realizó con unas mangueras de polietileno y una bombas de agua, para la inoculación se usó igualmente estas mangueras y algunos tubos de PVC de 2”.

Las separaciones de cada cilindro utilizado son de 15 cm, distancia considerada recomendable que permite trabajar con seguridad y manipular herramientas, como bidones de 20 L que contiene las Microalgas previamente cultivadas y así realizar el respectivo tratamiento.



*Fig. 13: Proceso de instalación de materiales de campo.*



*Fig. 14: Apreciación de los materiales ya instalados al cilindro*

#### **4.1.9. Descripción del sistema y área de cultivo**

Se usaron cilindros de plástico de color transparente para una mayor recepción de luz por parte de las Microalgas; con una profundidad de 90 cm, 45 cm de ancho y un volumen de 120 L de capacidad y un área de 5500 cm<sup>2</sup> como se aprecia en la figura 15.



*Fig. 15: Medidas de los cilindros usados en la investigación.*

#### **4.1.10. Descripción del medio de cultivo**

El efluente empleado fue extraído del Tanque Sedimentador, este permite remover las partículas finas (menores a 0.2 mm y mayores a 0.05 mm) que contienen los efluentes de Nova Perú y Frigorífico. Este Sedimentador se usa debido a que en la cámara de rejillas los sólidos menores a 4 mm no quedan atrapados por esta rejilla.



*Fig. 16: Tanque del Sedimentador, primer efluente utilizado.*



*Fig. 17: Desemboque del efluente de procesos hidrobiológicos en la cámara de rejillas.*

#### **4.1.11. Delimitación del experimento**

Se elaboró para todo el experimento unas simples conexiones de la salida de los efluentes con los cultivos que se encontraban en los cilindros, el área total del experimento fue de 990 cm<sup>2</sup>.

#### **4.1.12. Pruebas realizadas**

Las pruebas se realizaron con la finalidad de observar una disminución de nutrientes en un corto tiempo con los parámetros analizados. Estas pruebas no solamente consistieron en hallar el porcentaje de remoción, sino apreciar diariamente algún cambio en el medio de cultivo.

Los análisis que se realizaron fueron DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), OD (Oxígeno disuelto), turbidez, PH y temperatura, estos parámetros se realizaron en el Laboratorio de la PTAR de Esmeralda Corp. Con excepción del Nitrógeno Total y Fósforo Total que se mandó a realizar en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la “Facultad de Ingeniería Agrícola” de la “Universidad Nacional Agraria La Molina”.

#### 4.1.13. Materiales y equipos

##### 4.1.13.1. Equipos y materiales de planta

MATERIALES DE MUESTREO	
Guantes quirúrgicos	Recipientes de transporte para las muestras.
Mascarillas	
Libretas o cuaderno	Envase para la recolección de muestras
Casco	Mandil
MATERIALES DE CAMPO	
2 Cilindros (120 L)	Niple de 2 pulgada
Difusores, para la aireación	T de 2 pulgada
Mangueras	Válvulas de 2 pulgada
Uniones de 2 pulgadas	Codos de 2 pulgada
Bomba de agua	Teflón
MATERIALES DE SIEMBRA	
<b>Microalga <i>Scenedesmus sp.</i></b>	

*Tabla 6: Detalle de equipos de muestreo y materiales de siembra*

##### 4.1.13.2. Equipos y materiales de laboratorio

MATERIALES DE CULTIVO	
Microscopio	Cámara Neubauer
Bidones de 20 L	Matraz de todo los tamaños
Motores (inoculación)	Mangueras
Alcohol	Agua destilada
Papel tizzue	Nutrientes
Tubo de ensayo	Jeringas
EQUIPOS DE ANÁLISIS	

Turbilímetro	Potenciómetro
Oxímetro	Fotómetro Multiparamétrico de sobremesa
	Incubadora
Frasco Opsitop	Frascos para análisis de turbidez

**Tabla 7:** Detalle de equipos y materiales de Laboratorio.

#### 4.1.14. Parámetros

Para obtener los parámetros que se analizaron se usaron equipos especializados; las mediciones se tomaron cada día durante la fase exponencial hasta su fase terminal o lograr remover la mayor parte de carga orgánica.

- pH

Para medir este parámetro se utilizó un: medidor de pH HI 98130, se suministra completo con un electrodo de pH, herramienta para remover electrodo, para su utilización se sumerge el equipo en la muestra a hacer probada, se agita brevemente y se espera que el reloj de arena desaparezca y la pantalla mostrara el valor compensado en temperatura.



**Fig. 18:** Instrumento para medir pH modelo HI 98130.



**Fig. 19:** Medidor de pH en pleno funcionamiento, se aprecia su lectura.

- **Oxígeno disuelto y Temperatura**

Para medir estos parámetros se utilizó un: HI 8186 medidor portátil de oxígeno disuelto. Este instrumento incluye medición de la presión barométrica y la calibración con una unidad seleccionada para el usuario (mmHg, ATM, mbar, psi, kPa), así como una calibración de temperatura.



**Fig. 20:** Modelo Hi 98186, mide oxígeno disuelto y temperatura



*Fig. 21: Sonda polarográfica, con una cubierta protectora para membrana.*

- **Turbidez**

Se utilizó un: HI 83414 es un instrumento de alta precisión de doble parámetro, este instrumento cuenta con un sistema óptico para garantizar resultados precisos, garantizar la estabilidad a largo plazo y reducir al mínimo la interferencia de luz. Se mide en NTU (unidades nefelométricas de turbidez) rango de 0 a 4000.



*Fig. 22: Limpieza de frascos con papel tizzue antes de su lectura.*



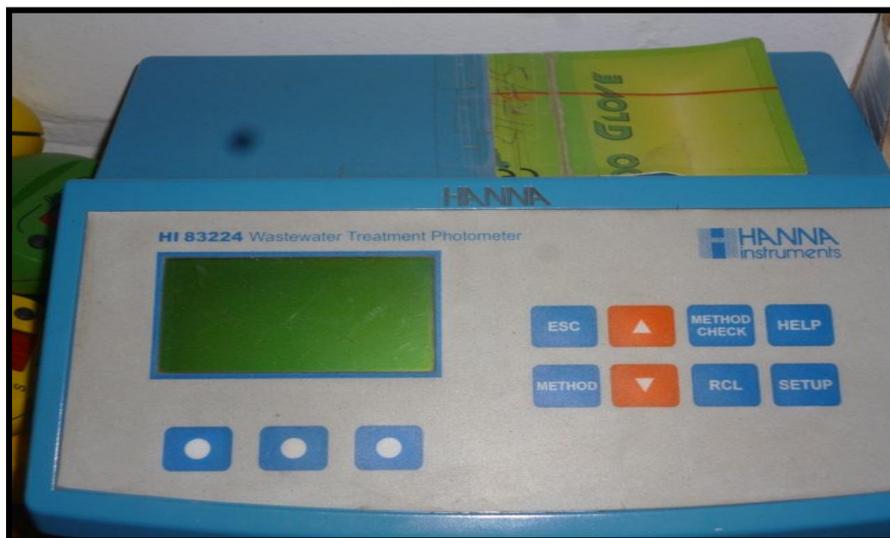
*Fig. 23: Se aprecia la muestra siendo analizada en el Turbilímetro HI83414.*

- **DQO (Demanda química de oxígeno)**

Se utilizó un, fotómetro multiparámetro HI 83224 para su lectura, y termo-reactor HI 839800 para su digestión, la aplicación de este parámetro requiere de reactivos que se dividan en tres rangos: alto, medio y bajo de acuerdo a la cantidad de muestra a analizar; para su correcta medición, en primera instancia hay que obtener un precalentamiento del termo reactor a 150 °C, una vez esto se preparan las muestra y el blanco se agrega de 0.2 a 2 ml de muestra de acuerdo al tipo de reactivo a utilizar, una vez preparado las muestras y haber obtenido el precalentamiento optimo, se ingresa los viales al equipo para su digestión y se deja un tiempo de 2 horas, dejamos enfriar las muestras a una temperatura ambiente, una vez obtenido esto insertamos la muestra en blanco al fotómetro para poder calibrar el equipo, finalmente se ingresan uno por uno las otras muestras para su medición y por ende resultado final.



*Fig. 24: Se aprecia este reactor modelo HI 839800 en funcionamiento con dos muestras.*



*Fig. 25: Fotómetro multiparámetro HI 83224 con el cual se analizara el valor del DQO.*

- **DBO<sub>5</sub> (Demanda biológica de oxígeno)**

Se utiliza un Oxitop Box que es caja con bisagras, tapa transparente- vista, no corrosivo capacidad para 12 frascos Karlsruhe y una cámara equipada con una conexión para un IS 6 o IS 12 agitador. Para su lectura se necesita conocer su DQO primero, una vez conocido, se sabe que cantidad de muestra utilizar; se lleva al Oxitop Box y se espera un período de 5 días para arrojar el resultado.



*Fig. 26: Utensilios para la medición de DBO<sub>5</sub>, frascos Oxitop, nitrificante e imanes.*



*Fig. 27: Se aprecia el Oxitop Box o incubadora en pleno funcionamiento.*

- **Color**

Este parámetro se denota a simple vista, y nos brinda una idea de cómo las Microalgas van reaccionando diariamente con los efluentes.



*Fig. 28: Inicio de experimento, se aprecia el color muy semejante.*



*Fig. 29: Cambio de color, debido al consumo de nutriente por las microalgas.*

#### **4.1.15. Manejo de la parte experimental**

##### **4.1.15.1. Composición química del agua residual**

Con la finalidad de conocer los valores iniciales de los parámetros con que se contaba, se realizó también el análisis del efluente sin microalgas.

##### **4.1.15.2. Días de cultivo**

Los días de cultivo se contó en un laboratorio diseñado para su respectivo crecimiento hasta llegar a su fase estacionaria, donde es llevada inmediatamente para su tratamiento en agua residual, antes de alcanzar la fase de declinación o muerte. Mediante el conteo diario se apreciara una curva que nos mostrara el distinto crecimiento de cada cultivo.



*Fig. 30: Se aprecia el uso del microscopio para el conteo de las microalgas*

#### **4.1.15.3. Preparación de la muestra**

Se realizó la preparación de esta en un laboratorio de la PTAR diseñado exclusivamente para poder proporcionar los análisis correspondientes a las muestras que se extraían diariamente de los cilindros en tratamiento, se realizaron los análisis de pH, OD (oxígeno disuelto), temperatura, turbidez, DQO (Demanda química de oxígeno) y DBO<sub>5</sub> (Demanda biológica de oxígeno) nitrógeno total y fósforo total.



**Fig. 31:** Laboratorio utilizado para el cultivo de microalgas.

#### 4.1.15.4. Toma de muestra para el análisis de agua

Para esta labor se procedió a tomar muestras tanto del tratamiento con microalgas y sin microalgas para su respectivo análisis en el mismo laboratorio de la PTAR de la empresa “Esmeralda Corp”



**Fig. 32:** Se aprecia las dos muestras ya extraídas tanto la de sin y con microalgas.

#### **4.1.15.5. Obtención y calidad del sistema**

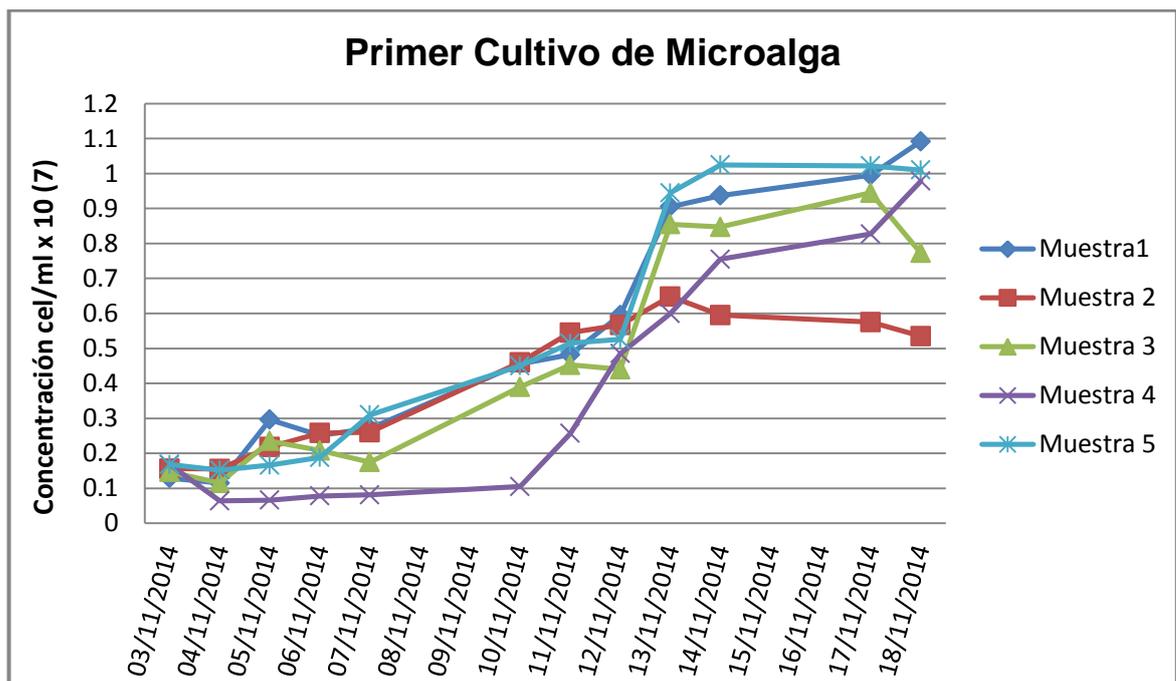
La investigación se llevó a cabo en un tiempo de retención de siete días, comenzando con un análisis inicial el primer día, continuando diariamente hasta el quinto día, luego se realizó un análisis final al séptimo día, dado que la empresa no trabaja fines de semana. Este número de días se manejó en primera instancia a que la especie de microalga empleada presenta antecedentes ya mencionados de remoción de nutrientes en corto tiempo, lo cual se pudo evidenciar en los resultados, y en segundo lugar por sugerencia de la misma Planta de Tratamiento, ya que con esto se trata de evitar la acumulación del agua residual, según la propia empresa, para que sea rentable debe darse en un tiempo moderado con un análisis diario de los parámetros de pH, Temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno y en el caso de la demanda biológica de oxígeno, nitrógeno total y fósforo total se realizó un análisis al inicio y final. Con esto se esperaba que después de obtener los resultados, la remoción de nutrientes sea lo más favorable con la finalidad de cumplir los objetivos iniciales.

#### **4.1.16. Cultivo de microalga**

A continuación se muestra el conteo de microalga, el cual se indicara mediante una curva, la instancia en que este cultivo llega a alcanzar su fase exponencial y pasar a la fase estacionaria, el cual se llevará a los efluentes con alta carga orgánica para observar como estos microorganismos influyen en este tipo de agua residual.

Días	03/11/14	04/11/14	05/11/14	06/11/14	07/11/14	10/11/14	11/11/14	12/11/14	13/11/14	14/11/14	17/11/14	18/11/14
<b>Muestra 1</b>	28.13	4.6	11.86	10.06	10.86	18.26	19.3	23.8	36.2	37.5	39.8	43.7
Concentración cel/ml $10^7$	Prov. 0.73 Inc. 0129	0.115	0.296	0.251	0.271	0.456	0.482	0.595	0.905	0.937	0.995	1.092
<b>Muestra 2</b>	31.2	6.2	8.73	10.33	10.43	18.4	21.8	22.7	25.93	23.6	23	21.4
Concentración cel/ml $10^7$	Prov.0.780 Inc. 0.156	0.155	0.218	0.258	0.26	0.46	0.545	0.567	0.648	0.595	0.575	0.535
<b>Muestra 3</b>	47.3	4.6	9.5	8.33	7	15.6	18.13	17.6	34.2	33.9	37.8	30.93
Concentración cel/ml $10^7$	Prov.1.182 Inc. 0.147	0.115	0.235	0.208	0.175	0.39	0.453	0.44	0.855	0.847	0.945	0.773
<b>Muestra 4</b>	33.7	5.6	6.06	3.13	3.26	4.2	10.3	19.4	24	30.2	33.1	39.13
Concentración cel/ml $10^7$	Prov.0.842 Inc. 0.168	0.064	0.066	0.078	0.081	0.105	0.257	0.485	0.6	0.755	0.827	0.978
<b>Muestra 5</b>	33.7	6.1	6.66	7.53	12.4	18	20.6	21.06	37.8	41	40.9	40.4
Concentración cel/ml $10^7$	Prov.0.842 Inc. 0.168	0.152	0.166	0.188	0.31	0.45	0.515	0.526	0.945	1.025	1.022	1.01

**Tabla 8:** Primer cultivo de microalga, con un tiempo de duración de dos semanas.



**Fig. 33:** Comportamiento del crecimiento microalgal – primer cultivo, con una concentración x  $10^7$  mg/L- Medio de cultivo agua des ionizada-tiempo 15 días.

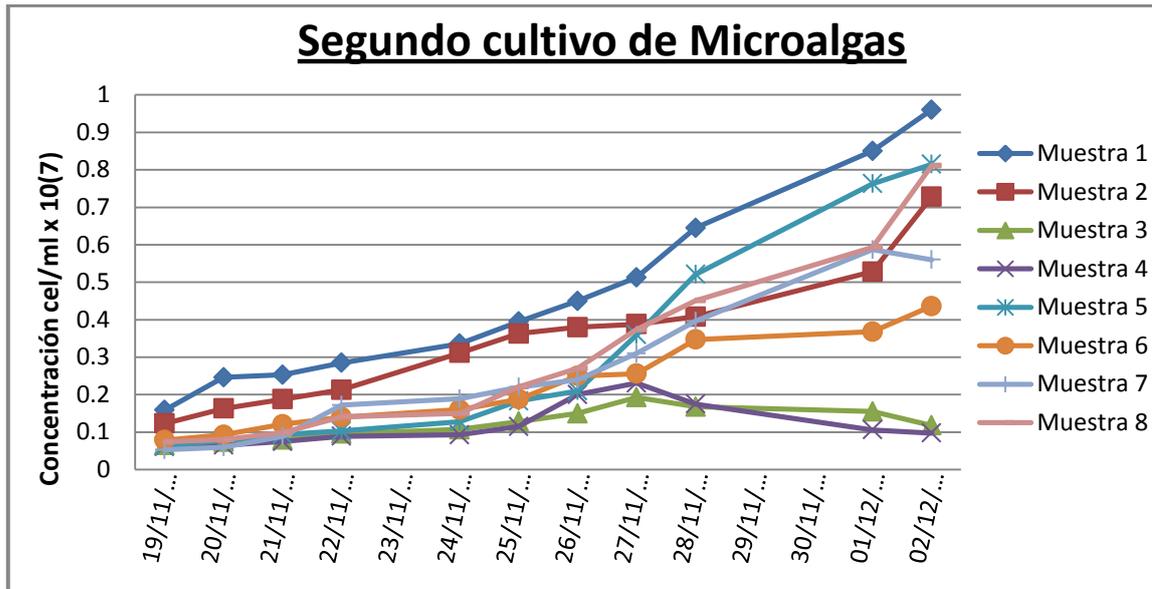
**Interpretación:** Se muestra el comportamiento de la concentración con respecto a los días de cultivo, realizado por la Microalga “*Scenedesmus sp.*”

En la **fig. 33** se observa se aprecia la gráfica de 5 muestras de cultivo, de las cuales se pueden ver como todas en una fase inicial van incrementando por

el consumo de nutrientes, con el paso del tiempo este se va adaptando al medio. El cultivo después de pasar por las dos primeras fases, se puede observar que aproximadamente al 11 día empieza alcanzar la tercera fase de declinación de la fase exponencial, empieza a manifestarse un crecimiento más lento debido a la carencia limitada de nutrientes; posterior aquí se espera unos días más para que alcance su valor máximo pasando por una fase estacionaria y llegando a la fase de declinación o muerte en un tiempo promedio de dos semanas desde el inicio de cultivo; en esta última fase las células sufren la completa limitación de nutrientes, lo que hará que rápidamente colapse el cultivo.

Días	19/11/14	20/11/14	21/11/14	22/11/14	24/11/14	25/11/14	26/11/14	27/11/14	28/11/14	01/12/14	02/12/14
<b>Muestra 1</b>	47.3	9.86	10.12	11.43	13.46	15.8	18.1	20.53	25.8	34	38.4
Concentración cel/ml 10(7)	Prov.1.182 Inc.0.159	0.246	0.253	0.285	0.336	0.395	0.45	0.513	0.645	0.85	0.96
<b>Muestra 2</b>	44.2	6.55	7.54	8.53	12.46	14.53	15.1	15.52	16.33	21.13	29.15
Concentración cel/ml 10(7)	Prov.1.105 Inc.0.123	0.163	0.188	0.213	0.311	0.363	0.38	0.388	0.408	0.528	0.728
<b>Muestra 3</b>	15.23	2.98	3.2	3.86	4.3	5.13	6	7.73	6.73	6.2	4.73
Concentración cel/ml 10(7)	Prov.0.38 Inc.0.065	0.074	0.08	0.096	0.107	0.128	0.15	0.193	0.168	0.155	0.118
<b>Muestra 4</b>	11.33	2.6	3	3.59	3.72	4.46	8	9.26	7	4.26	3.9
Concentración cel/ml 10(7)	Prov.0.283 Inc. 0.061	0.065	0.075	0.089	0.093	0.115	0.2	0.231	0.175	0.106	0.097
<b>Muestra 5</b>	14.48	3.12	3.76	4.13	5.15	7.33	8.42	14.4	20.86	30.53	32.6
Concentración cel/ml 10(7)	Prov.0.362 Inc.0.063	0.078	0.094	0.103	0.128	0.183	0.21	0.36	0.521	0.763	0.815
<b>Muestra 6</b>	14.48	3.72	4.86	5.63	6.43	7.53	10.1	10.26	13.9	14.73	17.46
Concentración cel/ml 10(7)	Prov.0.362 Inc.0.079	0.093	0.121	0.14	0.16	0.188	0.25	0.256	0.347	0.368	0.436
<b>Muestra 7</b>	14.48	2.42	3.56	6.9	7.54	8.8	9.6	12.43	15.86	23.5	22.4
Concentración cel/ml 10(7)	Prov.0.362 Inc. 0.053	0.06	0.089	0.172	0.189	0.22	0.24	0.31	0.396	0.587	0.56
<b>Muestra 8</b>	14.48	3.21	3.98	4.63	5.67	8.86	11	14.99	18.06	23.72	32.47
Concentración cel/ml 10(7)	Prov.0.362 Inc.0.074	0.08	0.099	1.15	0.141	0.221	0.27	0.374	0.451	0.593	0.811

**Tabla 9:** Segundo cultivo de microalgas, con un tiempo de duración de dos semanas.



**Fig. 34:** Comportamiento del crecimiento microalgal –segundo cultivo, con una concentración  $\times 10(7)$  mg/L- Medio de cultivo agua des ionizada-tiempo 15 días.

**Interpretación:** Se muestra el comportamiento de la concentración con respecto a los días de cultivo, realizado por la Microalga **“Scenedesmus sp.”**

En la **fig.34** se aprecia la gráfica de 8 muestras de cultivo, de las cuales se pueden ver como todas en una fase inicial van incrementado por el consumo de nutrientes, con el paso del tiempo este se adaptando al medio. El cultivo después de pasar por las dos primeras fases, a diferencia del primer cultivo este aproximadamente al 9 día empieza alcanzar la tercera fase de declinación de la fase exponencial, a los 14 días recién llega a su fase de declinación o muerte a diferencia de los 16 días del primer cultivo.

### **Conclusión:**

Tanto en el primer como el segundo cultivo el tiempo promedio de la fase inicial hasta la fase de muerte es de dos semanas aproximadamente, la variación se debe al contenido de nutrientes expuesto en cada bidón, el fin de la realización de estos cultivos fue tener la aproximación de duración de la microalgas para posteriores investigaciones, aunque no se descarta la mejora del cultivo para obtener exactitud en el periodo de cultivo.

#### **4.1.17. Diagnóstico de los sistemas de tratamiento**

El diagnóstico del sistema se basó en el análisis de varios parámetros, los cuales fueron pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, fósforo total y nitrógeno total, con el fin de obtener un panorama sobre las condiciones del sistema antes y durante la aplicación del nuevo tratamiento.

#### **4.1.18. Funcionamiento de los experimentos**

Se trabajó con dos muestreos para lo cual se emplearon dos cilindros. La muestra del primer cilindro fue sometida a aireación constante, mientras que al segundo cilindro, adicional a la aireación, se le agregó las microalgas "*Scenedesmus sp*", buscando disminuir el impacto contaminante de las aguas residuales industriales con un alto contenido orgánico.

#### **4.1.19. Parámetros**

Con los datos recopilados durante su investigación se muestran los resultados del análisis diario del efluente, para esto se hará mención de los parámetros manejados tanto por el efluente sin microalga y el mismo efluente con microalga y así dar muestra si hay o no un cambio positivo.

Hay que resaltar que estos son parámetros muy variables, por eso es que se maneja un muestreo diario en la PTAR, esto es debido a muchos factores entre ellos puede mencionarse que las descargas no siempre tienen la misma cantidad orgánica, también puede variar con los químicos que se utilizan, dado que se puede agregar en mayor o menor cantidad de los utilizados normalmente, entre otros; estos dos ejemplos brindan una idea de porque estos valores a veces son tan diferentes.

Cabe mencionar que la PTAR Esmeralda Corp, cumple con la legislación Medio Ambiente vigente logrando un nivel de ECA categoría 3 (Riego de

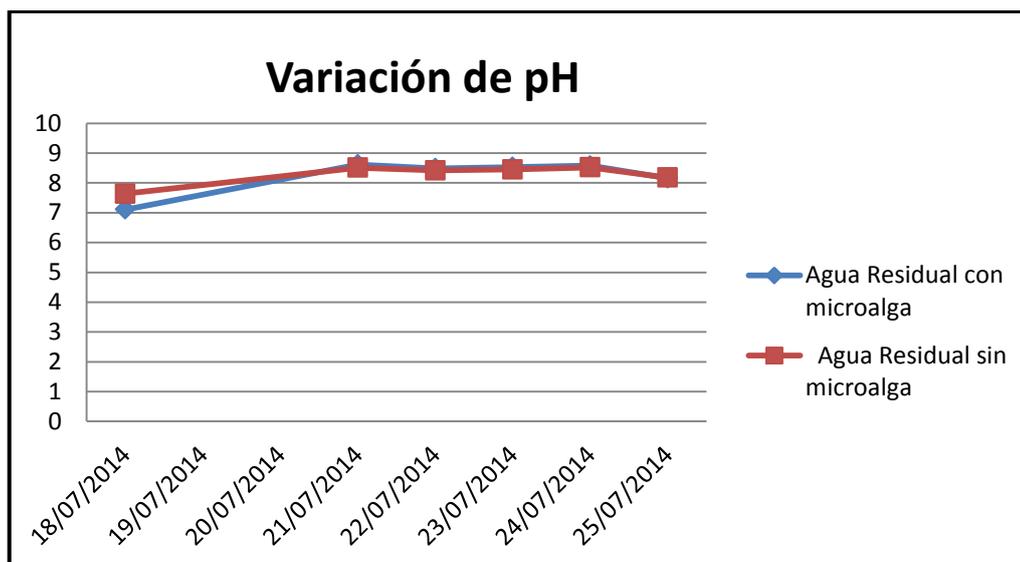
vegetales y bebida de animales) según los Estándares Nacionales de Calidad del Agua y LMP- DS 002-2008.

El efluente que se empleó para el proyecto de investigación, pertenece a las unidades de tratamiento primario, el cual consiste en un tratamiento químico previo en el DAF (Flotación por aire disuelto), el cual es para plantas que contienen aguas con un alto grado de aceites, grasas y emulsiones, como también en aguas cargadas con sólidos en suspensión difíciles de separar; estos cuentan con un DQO de 1300 a 1800 y un DBO5 de 500 a 1000 datos brindado por la empresa, estos son relativos por los motivos ya mencionado en el párrafo anterior.

- **pH**

	<b>pH</b>	
<b>JULIO</b>	<b>Agua Residual con microalga</b>	<b>Agua Residual sin microalga</b>
<b>18/07/2014</b>	7.11	7.64
<b>21/07/2014</b>	8.62	8.51
<b>22/07/2014</b>	8.49	8.42
<b>23/07/2014</b>	8.53	8.45
<b>24/07/2014</b>	8.58	8.52
<b>25/07/2014</b>	8.15	8.18

**Tabla 10:** Resultado de Agua Residual con/sin Microalgas del parámetro de pH.



**Fig. 35:** Gráfica de la variación del análisis del parámetro de pH.

### Interpretación:

En general los valores que se obtienen están comprendidos entre 7 y 9. Las aguas con valores de pH menores de 7 son aguas ácidas y favorecen la corrosión de los metales en contacto con ellas y las que poseen valores mayores denominadas básicas; no hay que olvidar que estas sufren variaciones con la temperatura. Ahora en el pH la mayoría de cultivos de microalgas se encuentra entre 7 y 9 con un óptimo entre 8.2 – 8.7, este control se consigue mediante aireación o adición de CO<sub>2</sub>.

Los elementos inorgánicos comunes en las aguas residuales incluyen cloruro, iones de hidrógeno (que influyen el pH), y entre los compuestos que causan alcalinidad, nitrógeno, fósforo total y azufre. Es necesario mencionar que .la descomposición de materia orgánica o de ácidos orgánicos pueden también incrementar el nivel de pH en aguas residuales domesticas (**Clostre, 2007**).

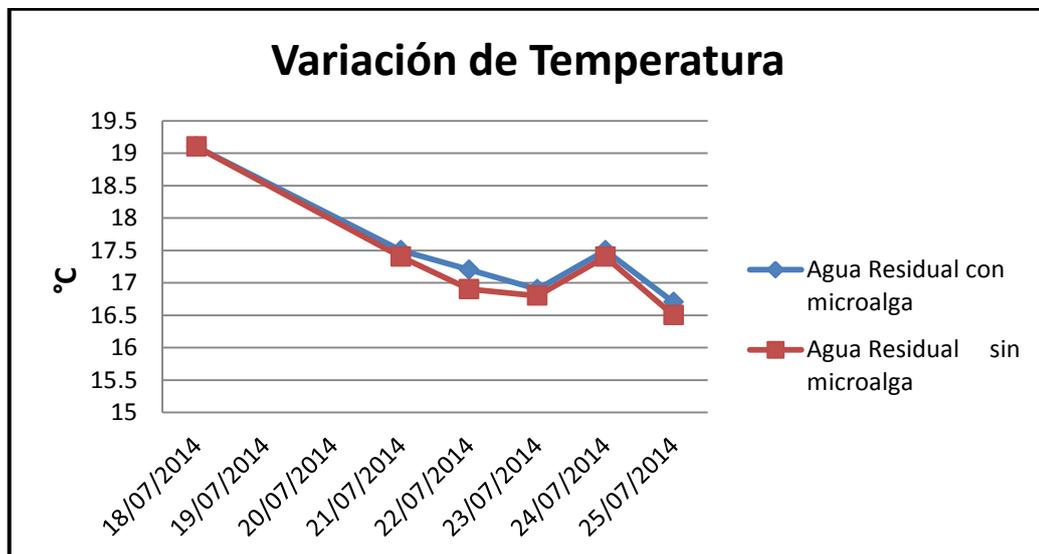
Cabe mencionar que según los Estándares de Calidad Ambiental los niveles de pH deben estar en un promedio de 6,5- 8,5. El efluente empezó con una valor inicial de 7.11, nivel dentro de lo establecido, finalmente obteniendo un

valor de 8.15, a diferencia del efluente sin Microalga que obtuvo un valor inicial de 7.64 y un valor final de 8.18.

- **Temperatura**

	Temperatura (°C)	
JULIO	Agua Residual con microalga	Agua Residual sin microalga
15/07/2014	19.1	19.2
16/07/2014	17.5	17.4
17/07/2014	17.2	16.9
18/07/2014	16.9	16.8
19/07/2014	17.5	17.4
22/07/2014	16.7	16.5

**Tabla 11:** Resultado del efluente con/sin Microalgas del parámetro de temperatura.



**Fig.36:** Gráfica de la variación del resultado del parámetro de temperatura.

**Interpretación:**

La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan un aumento de este parámetro modifica la solubilidad de las sustancias. La actividad biológica

aproximadamente se duplica cada 10° ley del Q10. Ahora a pesar de que gran variedad de microalgas son capaz de desarrollarse en un amplio rango de temperatura, todas estas en estos tratamientos presentan un rango fuera del cual se ven inhibidas o incluso mueran. En sistemas abiertos de cultivo como el que se trabajó un incremento de temperatura se ve compensado con evaporación del agua, regulándose de este modo la temperatura máxima.

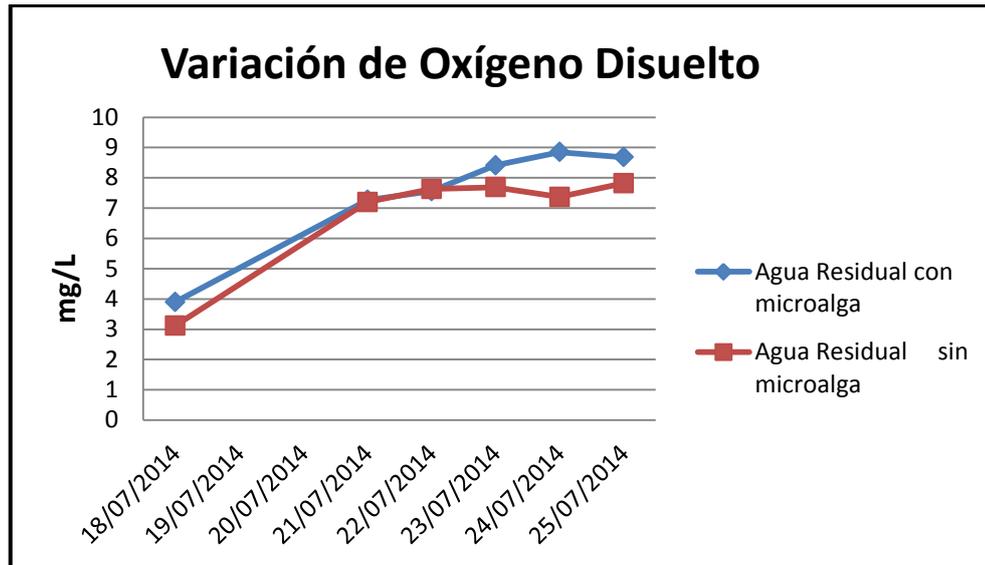
Los niveles pertenecientes a este parámetro según la categoría 3 debe ser <35°C, de los cuales se pueden apreciar que los tres efluentes tienen valores mucho menores a este nivel establecido.

El efluente como con y sin Microalga no tiene mucha variación ambos se inician con temperaturas muy próximas de 19.1 y 19.2, luego al término de la parte experimental también con temperaturas próximas de 16.7 y 16.5.

- **Oxígeno Disuelto**

	<b>Oxígeno Disuelto (mg/l)</b>	
<b>JULIO</b>	<b>Agua Residual con microalga</b>	<b>Agua Residual sin microalga</b>
<b>15/07/2014</b>	3.90	3.12
<b>16/07/2014</b>	7.27	7.2
<b>17/07/2014</b>	7.56	7.63
<b>18/07/2014</b>	8.41	7.69
<b>19/07/2014</b>	8.85	7.37
<b>22/07/2014</b>	8.68	7.82

**Tabla 12:** Resultado del efluente con/sin microalgas del parámetro de oxígeno disuelto.



**Fig. 37:** Gráfica de la variación del resultado del parámetro de Oxígeno de Disuelto.

### Interpretación:

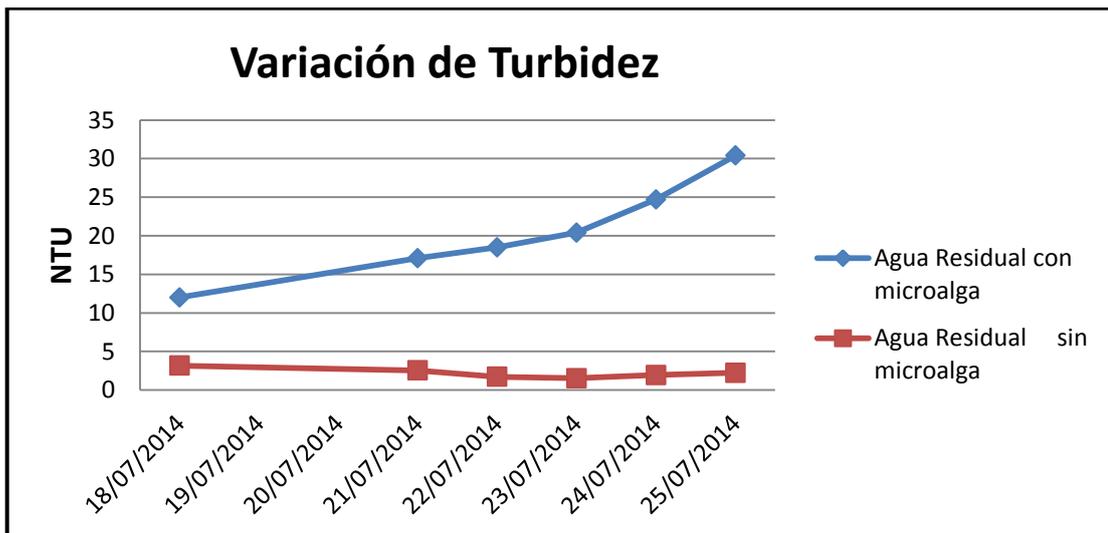
Este es un parámetro indicativo de la calidad del agua, aquí debemos tomar las precauciones para no arrastrar ni disolver oxígeno del aire durante la manipulación de la muestra. Ahora la cantidad de OD en el agua que necesita un organismo depende de la especie de éste, la temperatura del agua los contaminantes presentes entre otros, por eso si el agua está demasiado caliente no habrá suficiente oxígeno en el agua; cabe mencionar que las microalgas no son capaces de sobrevivir en un medio sobresaturado de oxígeno por eso el nivel de OD debe ser controlado, ya que altas concentraciones pueden inhibir la fijación de carbono por parte del enzima RUBISCO. Esta inhibición se ve favorecida por alta radiación y temperatura, así como en el caso de déficit de CO<sub>2</sub>.

El valor de OD que se maneja la PTAR es mayor igual a 4 mg/L, los valores obtenidos inicialmente no se encuentra en este rango, finalmente después de su inoculación con la microalga el tratamiento llega a un valor de 8.68 mg/L respondiendo adecuadamente al tipo de categoría empleado.

- **Turbidez**

	Turbidez (NTU)	
JULIO	Agua Residual con microalga	Agua Residual sin microalga
15/07/2014	12	3.16
16/07/2014	17.1	2.55
17/07/2014	18.5	1.71
18/07/2014	20.4	1.52
19/07/2014	24.7	1.94
22/07/2014	30.4	2.24

**Tabla 13:** Resultados del efluente con/sin microalgas del parámetro de Turbidez.



**Fig. 38:** Gráfica de la variación del resultado del parámetro de Turbidez.

**Interpretación:**

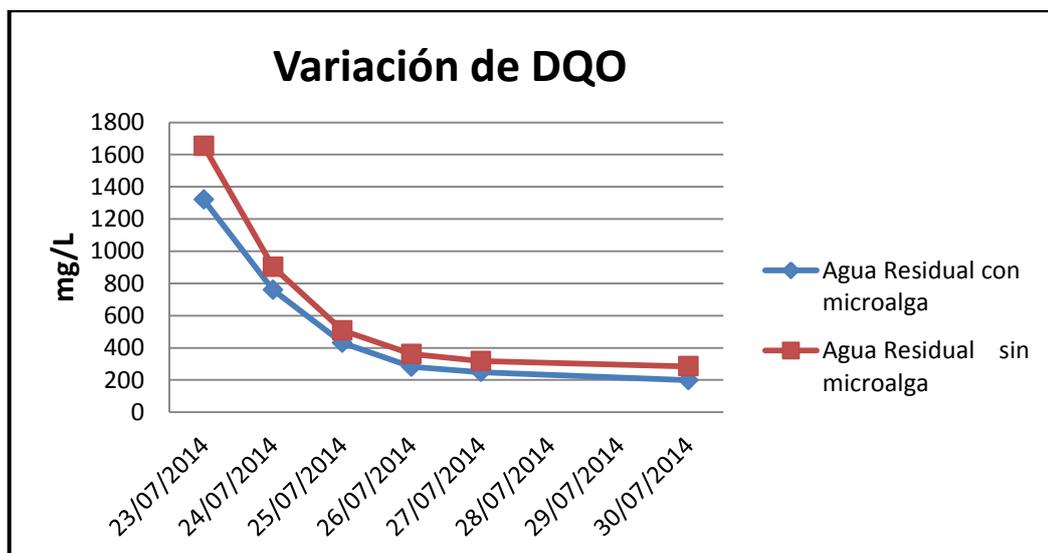
La turbidez se refiere a lo clara o turbia que pueda estar el agua. El agua clara tiene un nivel de turbidez bajo, mientras que el agua turbia o lodosa tiene un alto nivel de turbidez en general esta es una medición cuantitativa de los sólidos disueltos que se puede encontrar en la muestra pero no pueden ser percibido en algunos casos por la vista.

Según el Reglamento de la calidad del Agua para consumo humano de la DS° O31-2010-SA, el límite máximo permisible del parámetro de turbiedad es 5, obviamente es una categoría que no pertenece a la empresa quien maneja una categoría de riego pero es para darnos cuenta un valor referente, observando el cuadro de arriba pasamos a darnos cuenta que el valor inicial del efluente con microalga es de 12 y el de sin Microalga es 3.16, luego logrando valores finales muy bajos de 30.4 y 2.24 respectivamente.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

JULIO	DQO (mg/L)	
	Agua Residual con microalga	Agua Residual sin microalga
15/07/2014	1720	1653
16/07/2014	960	1080
17/07/2014	730	808
18/07/2014	482	561
19/07/2014	249	317
22/07/2014	198	285

**Tabla 14:** Resultados del efluente con/sin microalgas del parámetro de DQO.



**Fig. 39:** Gráfica de la variación del resultado del parámetro de DQO.

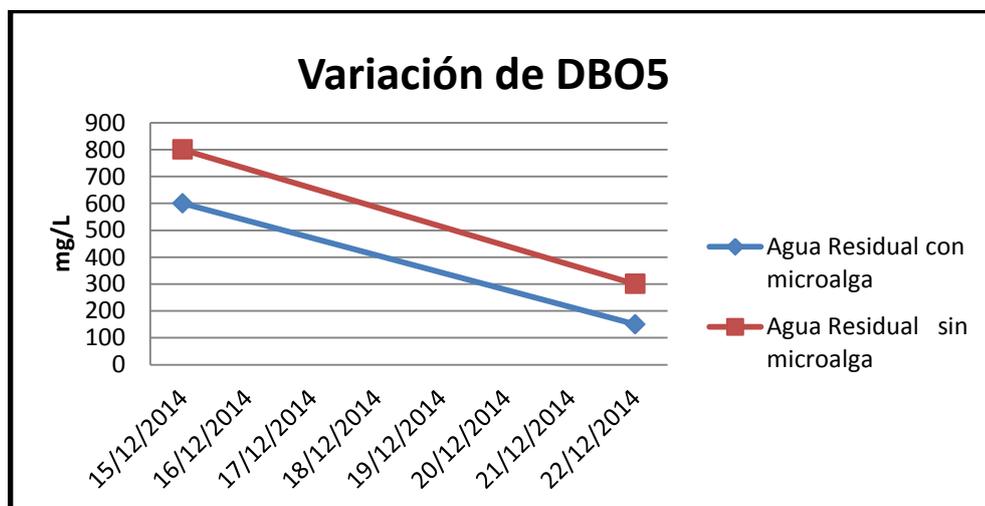
## Interpretación:

La determinación de DQO, está muy influida por la determinación de la DBO<sub>5</sub> ya que este valor tiene dos grandes inconvenientes, su lentitud (cinco días) y que existan muchas sustancias, no fácilmente biodegradables, que no se evaluarían con dicha determinación. Es por ello que utilizamos el DQO que mide la cantidad de oxígeno consumido por los compuestos inorgánicos presentes en el efluente. Ahora comparando con la categoría de riego de vegetales y bebidas de animales que es lo que maneja la empresa Esmeralda Corp, el valor debe estar entre 40 mg/L, ahora los valores que tenemos de DQO muestran que han bajado notoriamente llegando hasta 198 mg/L de un valor inicial de 1320, obteniendo una remoción del 85%.

- **DBO<sub>5</sub>**

	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	
Diciembre	Agua Residual con microalga	Agua Residual sin microalga
15/07/2014	600	800
22/07/2014	150	300

**Tabla 15:** Resultado del efluente con/sin microalgas del parámetro de DBO<sub>5</sub>.



**Fig. 40:** Gráfica de la variación del resultado del parámetro de DBO<sub>5</sub>.

### Interpretación:

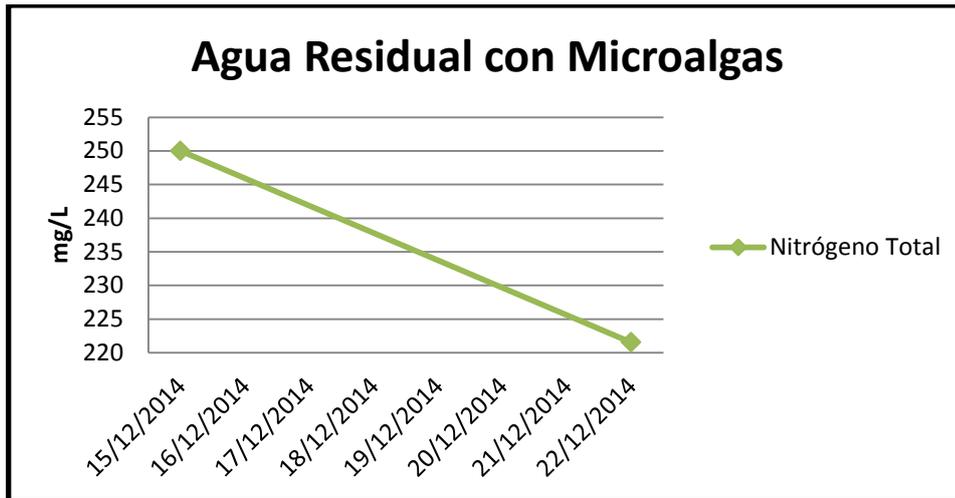
El DBO5 es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas) consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra, este parámetro es indispensable cuando se necesita determinar la calidad del agua, ahora a cuanto mayor la cantidad de materia orgánica contiene la muestra más oxígeno necesitan los microorganismos para oxidarla.

Este parámetro es de suma importancia pues determinara una disminución de la cantidad de oxígeno; se observa la diferencia entre uno y otro, el efluente sin Microalga obtuvo un valor inicial de 800 alcanzando un valor final de 300 y el efluente con Microalga de un valor inicial de 600, llegando finalmente a 150, mostrándose que esta especie de microalga influyo de manera positiva con una remoción de 75%.

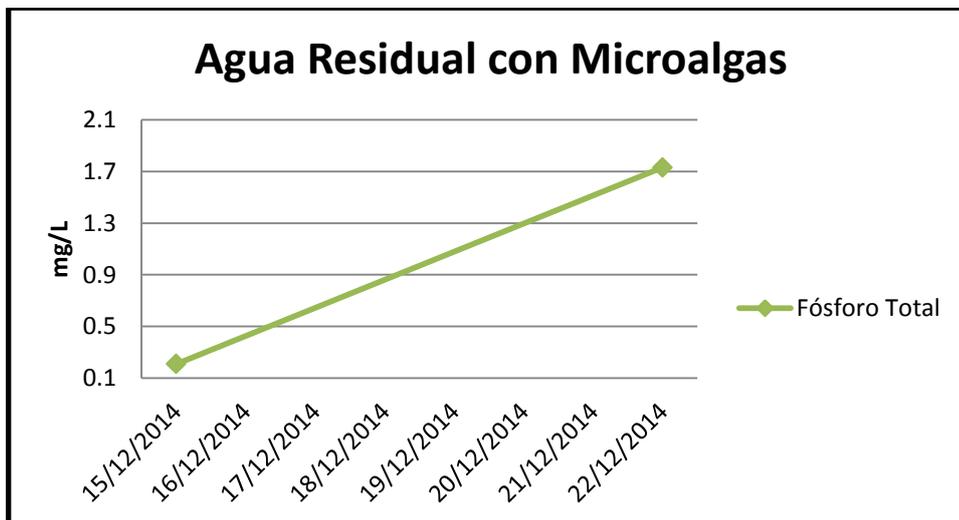
- **Nitrógeno y Fósforo total**

	Agua Residual	
Diciembre	Nitrógeno Total	Fósforo Total
15/12/2014	250	0.21
22/12/2014	221.55	1.73

**Tabla 16:** Resultado del efluente con/sin microalgas del parámetro de nitrógeno y fósforo total.



**Fig. 41:** Gráfica de la variación del resultado del parámetro de Nitrógeno Total.



**Fig. 42:** Gráfica de la variación del resultado del parámetro de Fósforo Total.

### Interpretación:

En la **fig. 41**, muestra el comportamiento presentada por la Microalga “*Scenedesmus sp*” en el parámetro de Nitrógeno Total, donde se observa que hay un descenso durante su desarrollo en los cilindros. Según la APA (2005), la concentración de Nitrógeno total en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/L, dependiendo del grado de nitrificación y desnitrificación del tratamiento. Se obtuvo una remoción del 88.00 % para el tratamiento del efluente con microalga.

**En la fig. 42**, se observa la remoción del fósforo total, el comportamiento en la remoción de estos parámetros presenta algunas irregularidades presenciando ninguna disminución como se esperaba en este tipo de tratamiento. Entre las causas de esto se aprecia la posibilidad de que esta especie no consume estos nutrientes o necesite transformarlos en otros compuestos para su mejor absorción. Aunque la remoción de fosfato del medio no tuvo relación directa con el crecimiento de la microalga. Sin embargo se observó una remoción mayor que la inicial, con lo que se difiere de resultados como para los cultivos *Chlorella pyrenoidosa* en aguas residuales; los cuales removieron en un período de 4 días, más del 60 % del fósforo total en el agua.

La remoción de nutrientes en estos cultivos puede además vincular a factores como la volatilización del amonio y la deposición del fosfato como sales insolubles, que favorecen el elevado ph (8-9), la agitación constante y las elevadas temperaturas, hace posible que parte del nitrógeno removido en estos, se deba a la volatilización favorecida bajo estas condiciones.

#### **4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS UTILIZANDO LA MICROALGA “SCENEDESMUS SP”**

Considerando los resultados en su conjunto dentro de los parámetros, en el Fosforo se observa el comportamiento en la remoción de este parámetro presenta algunas irregularidades presenciando ninguna disminución como se esperaba en este tipo de tratamiento. Dentro de la contrastación de la integración de ambos resultados no se encuentra una coincidencia con López I. (2016) en cuanto a sus resultados hallados se destaca que en *Scenedesmus sp.* hubo remoción de fósforo total de 52% .Entre las causas de estas diferencias se aprecia la posibilidad de que esta especie no consume estos nutrientes o necesite transformarlos en otros compuestos para su mejor absorción. Aunque la remoción de fosfato del medio no tuvo relación directa con el crecimiento de la microalga. Sin embargo se observó una remoción mayor que la

inicial, Cabe destacar que la alga *Scenedesmus* sp. puede ser utilizada como una alternativa para aprovechar las aguas residuales después de un tratamiento, y antes de descargarlas a un efluente, además de reducir aún más los niveles de contaminación en estas aguas.

Considerando los resultados en su conjunto dentro de los parámetros, en el Nitrogeno se observa el comportamiento en la remoción de este parámetro se obtuvo una remoción del 88.00 % para el tratamiento del efluente con Microalga, donde se observa que hay un descenso durante su desarrollo en los cilindros. Dentro de la contrastación de la integración de ambos resultados se encuentra una coincidencia favorable con López I. (2016) en cuanto a sus resultados hallados se destaca que en *Scenedesmus* sp. hubo remoción de nitrógeno total de 92%. Teniendo en ambos resultados una coincidencia favorable, cabe destacar que, Según la APA (2005), la concentración de Nitrógeno total en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/L, dependiendo del grado de nitrificación y desnitrificación del tratamiento.

Ramos Suárez, J. L. (2014)., tuvo como investigación el estudiar la posibilidad de emplear las microalgas, concretamente el género *Scenedesmus*, como sustrato para la producción de biogás. Empleo de *Scenedesmus* sp. como cultivo energético para la producción de biogás. - Tratamiento de residuos de *Scenedesmus* sp. generados tras la extracción de aminoácidos en un concepto de biorrefinería. - Tratamiento de los residuos de *Scenedesmus* sp. generados tras la extracción de lípidos en un concepto de biorrefinería. Los resultados obtenidos demuestran que la microalga *Scenedesmus* como cultivo energético para producción de biogás no es viable salvo que se empleen pretratamientos que aumenten la biodegradabilidad o se realice codigestión con otro sustrato. Dentro de la contrastación de la integración de ambos resultados no se encuentra una coincidencia con con mi investigación, sin embargo guarda relación porque usa la

Microalga *Scenedesmus* sp., pero para un fin distinto, ya que mi investigación es nueva.

Marqués, RJF (2013)., tuvo como investigación buscar la idoneidad de las microalgas *Scenedesmus obliquus* y *Nannochloropsis* sp. Se evaluó la materia prima para la producción de biodiesel, mostrando como resultados que *Nannochloropsis* sp . Y *Scenedesmus obliquus* tenían un contenido de lípidos aproximado de 35 g / 100 g ps y 17 g / 100 g ps, respectivamente, y que no había necesidad de un pretratamiento particular para el *Scenedesmus obliquus*. Dentro de la contrastación de la integración de ambos resultados no se encuentra una coincidencia con mi investigación, sin embargo guarda relación porque usa la Microalga *Scenedesmus*, demostrando que la planta no requería de un pretratamiento particular.

Ishaq, AG (2016)., tuvo como investigación el buscar alternativas que pudieran eludir el uso de compuestos antimicrobianos sintéticos es el resultado de una demanda mundial de nuevos agentes antimicrobianos a partir de fuentes naturales, teniendo como resultados que la actividad antibacteriana indican que *Scenedesmus* sp . Los extractos de lípidos o pigmentos contienen metabolitos secundarios con un gran potencial como aditivo alimentario. Dentro de la contrastación de la integración de ambos resultados no se encuentra una coincidencia con mi investigación, sin embargo guarda relación porque usa la Microalga *Scenedesmus* sp., pero para un objetivo distinto, ya que mi investigación es nueva y no se encuentra el uso de las variables para una investigación y las microalgas *Scenedesmus* sp han sido poco estudiadas para fin de remediar las aguas residuales.

Cougo, CDG (2017)., tuvo como investigación desarrollar una metodología que hace posible el uso de la espectroscopia de FTIR en el mediados infrarrojo (MIR) para cuantificar los niveles de lípidos, proteínas, hidratos de carbono y las células de *Scenedesmus* sp . Para

este propósito, la biomasa de *Scenedesmus sp.*, teniendo como resultados que El FTIR se muestra a ser una herramienta eficaz para estimar el contenido de lípidos y carbohidratos de *Scenedesmus sp.* Además, el FTIR permite análisis simultáneo de múltiples metabolitos que permitirá el monitoreo más detallado del cultivo en un tiempo de análisis mucho más corto y con alta reproducibilidad de los resultados. Dentro de la contrastación de la integración de ambos resultados no se encuentra una coincidencia con mi investigación, ya que el uso de la Microalga *Scenedesmus sp.* Es usado como parte de una técnica de estimación de lípidos y carbohidratos.

Culebro J. (2015)., tuvo investigación utilizar los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales basados en la simbiosis entre microalgas y bacterias teniendo como resultados el efecto positivo que se produce al adicionar coagulante., las muestras adicionadas con 10 mg/L de almidón aumentaron su producción de biogás en un 7,7 %. En las muestras con 25 mg/L de almidón se obtuvo un incremento mayor de producción de biogás alcanzando 14,7 % más, en comparación con las muestras patrón que no se les adiciono almidón. Dentro de la contrastación de la integración de ambos resultados no se encuentra una coincidencia con los resultados de mi investigación.

Cabe mencionar que se evaluó el comportamiento de la microalga "*Scenedesmus sp*" en aguas residuales con un alto contenido de aceites, grasas y emulsiones, como también en aguas cargadas con sólidos en suspensión difíciles de separar debido al pequeño tamaño de estos; de acuerdo a unos antecedentes y estudios previos sobre la capacidad de esta microalga, la cual consiste en el proceso de depuración por un sistema de tandas, la cual para su análisis duro una semana por cada tratamiento, debido a que los tratamientos de agua residual en una planta dura de 2 a 3 días y lo que se trata de lograr con esta experimentación es optar por este tipo de tratamiento biológico.

### 4.3. CONCLUSIONES

Considerando el fin por el cual se elaboró ésta investigación y en función a su objetivo general, análisis y discusión de los resultados obtenidos, se determinaron las siguientes conclusiones:

- La investigación aceptó la hipótesis general, si hubo influencia significativa de las microalgas *Scenedesmus* sp. en el tratamiento de los efluentes con alto contenido de carga orgánica; esto se estableció a través del análisis que demostró que la disminución de la concentración de algas reducen los parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO, turbiedad; como también en los nutrientes como en el nitrógeno total con a excepción del fósforo total; pero no se descarta ser un posible tratamiento; los cuales fueron procesados y evaluados mediante muestreo diario en la PTAR y el uso de los instrumentos hemocitómetro y cámara Neubauer.
- Para nuestro primer objetivo específico, el cual se buscó determinar si las micro-algas al inocular influyen el contenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en las aguas servidas; el resultado obtenido fue que si hubo una influencia entre la variable independiente y el parámetro en mención; Esta conclusión se determinó a través la evaluación diaria del efluente y del análisis con el hemocitómetro y cámara Neubauer.
- Para el segundo objetivo específico, en el cual se buscó precisar si las microalgas durante su cultivo en el laboratorio para su crecimiento influyen en las condiciones fisicoquímicas de las aguas servidas; se obtuvo el resultado que si hubo influencia entre la variable independiente y el parámetro pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, fosforo total y nitrógeno total que conforman a los parámetros analizados, los cuales se

determinaron a través la evaluación diaria de los efluentes y del análisis con el hemocitómetro y cámara Neubauer.

- Continuando con el tercer objetivo específico, en el cual se buscó determinar si las micro-algas influyen en los mecanismos de degradación de la materia orgánica o su Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las aguas servidas; se obtuvo como resultado que si hubo influencia de la variable independiente en el parámetro analizado; esta conclusión se determinó a través de la evaluación diaria de los efluentes y del análisis con el hemocitómetro y cámara Neubauer.

#### 4.4. RECOMENDACIONES

- La inoculación de microalgas *Scenedesmus sp.* es efectivo en el tratamiento de aguas residuales tal como se muestra en esta investigación, ya que estas son encargadas de bajar la DBO y DQO como se muestran en los resultados de los gráficos presentados; del mismo modo, las microalgas necesitan luz y otros nutrientes, como nitrógeno y fósforo, que deben tenerse en cuenta para su fotosíntesis lo que supone un mayor rendimiento del proceso de tratamiento, ya que el nitrógeno y el fósforo son dos de los compuestos que presentan las aguas residuales y que también se pretenden eliminar, estas microalgas son importantes en el tratamiento de aguas residuales industriales y en general, debido a su bajo costo de instalación y mantenimiento, además el sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto es completamente natural, lo cual evitaría cualquier tipo de contaminación ambiental.
- Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú deberán tomar una buena fase de operación y mantenimiento ya que por tratarse de un sistema poco común en el medio es preferible que no se presenten inconvenientes. En tanto no se implementen los sistemas de tratamiento de aguas residuales, se deberán adoptar todas las medidas necesarias para la protección del productor y el consumidor, así como de otros grupos de riesgo, tales como: educación para la salud, medidas profilácticas, restricción de cultivos, empleo de equipo de protección, entre otros.
- El Estado Peruano con ayuda de las Empresas Privadas debe promover el saneamiento básico rural, principalmente con acciones enfocadas a desinfección del agua para beber, el manejo sanitario de las excretas y el manejo apropiado y sanitario de los alimentos, en las familias campesinas.

- Los resultados obtenidos en el tratamiento de efluentes, mediante el empleo de cultivos microalgales, dependerá de los objetivos del proyecto que se pretenda realizar, del género de microalgas, así también del tipo de agua residual a tratar, del tipo de cultivo, como del sistema que se pretenda utilizar, con el fin de obtener un efluente de mejor calidad y la obtención de un producto que se pueda aplicar en diferentes aspectos de la agricultura, riego de parques y jardines en zonas urbanas, en la acuicultura, avicultura, como fertilizante, como combustible, etc., con esta investigación se puede demostrar la importancia y aplicación de este proceso en la utilización del tratamiento de las aguas residuales con cultivos de microalgas.
- El uso de las aguas residuales en la agricultura y otras prácticas como la acuicultura, en países en desarrollo, ha contribuido a mejorar condiciones de productividad y solventar problemas de escasez de agua, que ha repercutido directa o indirectamente en el desarrollo regional; esto mediante la producción de alimentos baratos y de buena calidad. El aprovechamiento de las aguas residuales en riego agrícola es ampliamente apreciado por los agricultores por ser una fuente de abastecimiento seguro y por los fertilizantes contenidos en ellas.

#### **4.5. FUENTES DE INFORMACIÓN**

**Abalde, J.; Cid, A.; Fidalgo, P.; Torres, E. y Herrero, C.** (1995) *Microalgas: Cultivo y Aplicaciones*. Monografía N° 26. Laboratorio de Microbiología, Facultad de Ciencias, Universidad de Coruña. España.

**Andrade Ruiz C.** (2008). *Tratamiento terciario de aguas residuales mediante el uso de la microalga "Scenedesmus sp."* En cultivo discontinuo. Magíster en Ingeniería Ambiental. Universidad del Zulia, Maracaibo – Venezuela.

**Arce Jáuregui, L.** (2013). *Urbanizaciones sostenibles: Descentralización del Tratamiento de Aguas Residuales Residenciales*. Tesis en Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú.

**Becker, E.** (1995). *Microalgae, Biotechnology and microbiology*. Cambridge, University Press. Pp 293.

**Bermeo Castillo, L.** (2011). *Estudio del Cosechado de Cultivos de Microalgas en Agua Residual mediante técnicas de Centrifugado*. Master Universitario. Universidad Técnica Particular de Loja. España.

**Borowitzka, M. y Borowitzka, L.** (1992) *Vitamins and Fine Chemical from microalgae*. En Borowitzka, M. A & Borowitzka, L. J. Cambridge University Press, Cambridge Microalgal Biotechnology. 153-196.

**Caldwell E. L. y Parr, L. W.** (1937). *J. Infect. Dis.*, 61, 148, 264, 270.

**Cañizares, V. R. O., C Casas C., A. R. Domínguez B y O Voltolina L.** (1994). *Las microalgas en la acuicultura sobre biotecnología*. CINVESTAV-IPN. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, México. 44 pp.

**Chacón, C.; Andrade, C.; Cárdenas, C.; Araujo, I. y Morales, E.** (2004). *Uso de Chlorella sp. Y Scenedesmus sp. en la Remoción de Nitrógeno*,

Fósforo y DQO de Aguas Residuales Urbanas de Maracaibo, Venezuela. Bol. Centro Invest. Biol., 38 (2), 94-108.

**Fernández Mayo, E.** (2010). Proyecto Ejecutivo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Localidad de Xochiapa. Tesis en Ingeniería. Universidad Veracruzana- Xalapa, México.

**Fanés Treviño, I.** (2008). Estudios Taxonómicos en Algas Verdes Cocales del sur de España. Universidad de Granada, Facultad de Ciencias Departamento de Botánica, Granada-España.

**García Trujillo, Z. M.** (2012). Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para el determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis en Ingeniería. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

**Gómez Luna, L.** (2007). Microalgas: Aspectos Ecológicos y Biotecnológicos. Laboratorio de Ecotoxicología Marina, Centro de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente; Revista Cubana de Química Vol. XIX, N°2.

**Nohman Jbari.** (2012). Utilización secuencial de microalgas en depuración y adsorción de Cr (VI). Tesis Doctoral. Universidad de Granada, España.

**Oswald, W. J.** (1988a): The role of microalgae in liquid waste treatment and reclamation. In: Lembi, C. A. & Waaland, JR. (eds.): Algae and Human affairs. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 255-281.

**Oswald, B and H. Gotaas** (1957): Photosynthesis in sewage treatment. Trans. Am. Soc. Civ. Eng., 122: 73-105.

Organismo de evaluación y fiscalización ambiental. Fiscalización ambiental en aguas residuales (2014). Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.

**Peña, R.** (2004) El agua, espejo de los pueblos. México: Editores Plaza y Valdés.

**Rossi Luna, María Grazia.** (2010). Oportunidades de mejoras ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú. Fondo Nacional del Ambiente- Perú.

**Riquelme, C. y R. Avendaño** (2003): Interacción bacteria-microalga en el ambiente marino y uso potencial en acuicultura. Revista Chilena de Historia Natural., 76: 725-736.

**Ruiz Martínez, A.** (2011). Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente. Master Universitario. Universidad Politécnica de Valencia, España.

**Romero, T.** (2005): Uso de la microalga *Chlorella* spp. en la depuración de los residuales líquidos de la industria pesquera y su aprovechamiento. Habana. Cuba, Tesis doctoral. Universidad y facultad.CIH. CUJAE.

**Salazar González, M.** (2005). Aplicación e importancia de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. Contactos, 59, 64-70.

**Shelef, G.; R. Moraine and G. Oron** (1978): Photosynthetic biomass production from sewage. Arch. Hydrobiol. Ergebn. Limnol., 11: 3-14.

**Travieso, L; Benítez, F; Sánchez, E; León, M. y Dupeyrón, R.** (1995). Utilización de Microalgas para el Tratamiento y Reusó de Residuales

Porcinos. I Taller Internacional de Microalgas y Plantas Acuáticas. II Seminario Científico.

**Voltolina, D.; B. Cordero, M. Nieves and L. P. Soto (1998):** Growth of *Scenedesmus* sp. in artificial wastewater. *Bioresource Technology*, 68: 265-268.

**Xin, L., Hong-yin, H. (2010).** Effects of different nitrogen and phosphorus concentrations on the growth, nutrient uptake, and lipid accumulation of a freshwater microalga *Scenedesmus* sp. *Bioresource Technology* 101, 5494-5500.

**Ramos Suárez, J. L. (2014).** en su tesis " *Producción de biogás a partir de biomasa de la microalga scenedesmus sp. Procedente de diferentes procesos*".

**Marques, RJF (2013).** *Producción de biodiesel por microalgas Scenedesmus Obliquus y Nannochloropsis sp .: optimización de los procesos de pre-tratamiento y conversión .* (Tesis). Universidad de Lisboa.

**Cougo, CDG (2017).** *Utilización de la técnica infravermelho con transformada de Fourier (FTIR) para estimativa de las concentraciones de carbohidratos y de lípidos en scenedesmus sp.* (Tesis). Universidad del Rio Grande.

**López I. (2016)** " *Análisis de efectividad de Chlorococcum littorale y Scenedesmus sp. En biorremediación de aguas residuales*" para optar al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el Grado Académico de Licenciatura Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.

### ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

“INFLUENCIA DE LAS MICRO-ALGAS SCENEDESMUS EN EL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO DE CARGA ORGÁNICA”

**Nivel** : Experimental  
**Tipo de investigación** : Aplicada  
**Presentado por** : Pablo Roberto Paccha Huamani

Problema principal	Objetivo general	Hipótesis general	Variable Independiente (X)
¿De qué manera influye las micro-algas scenedesmus SP en el tratamiento de los efluentes con alto contenido de carga orgánica, Lima - 2014?	Determinar la influencia de las micro-algas scenedesmus SP en el tratamiento de los efluentes con alto contenido de carga orgánica, Lima - 2014	Las micro-algas scenedesmus SP influirían significativamente en el tratamiento de los efluentes con alto contenido de carga orgánica, Lima - 2014	<p><b>X: Micro-algas Scenedesmus SP</b></p> <p><b>(Indicadores) de X</b></p> <p><b>X<sub>1</sub></b> : Micro-algas al inocular</p> <p><b>X<sub>2</sub></b>: Micro-algas durante en su cultivo</p> <p><b>X<sub>3</sub></b>: Micro-algas en tratamiento de aguas residuales</p>
Problema secundarios	Objetivos específicos	Hipótesis secundarias	Variable dependiente (Y)
<p>a) ¿En qué medida las micro-algas al inocular influyen el contenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en las aguas servidas?</p> <p>b) ¿Cómo las micro-algas durante en su cultivo en el laboratorio para su crecimiento influyen en las condiciones fisicoquímicas de las aguas servidas?</p> <p>c) ¿Cómo las micro-algas influyen en los mecanismos de degradación de la materia orgánica o su Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las aguas servidas?</p>	<p>a) Verificar si las micro-algas al inocular influyen el contenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en las aguas servidas.</p> <p>b) Verificar si las micro-algas durante en su cultivo en el laboratorio para su crecimiento influyen en las condiciones fisicoquímicas de las aguas servidas.</p> <p>c) Verificar si las micro-algas influyen en los mecanismos de degradación de la materia orgánica o su Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las aguas servidas.</p>	<p>a) Las micro-algas al inocular influirían favorablemente el contenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en las aguas servidas.</p> <p>b) Las micro-algas durante en su cultivo en el laboratorio para su crecimiento influirían positivamente en las condiciones fisicoquímicas de las aguas servidas.</p> <p>c) Las micro-algas influirían favorablemente en los mecanismos de degradación de la materia orgánica o su Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las aguas servidas.</p>	<p><b>Y: Efluentes con alto contenido de carga orgánica</b></p> <p><b>(Indicadores) de Y</b></p> <p><b>Y<sub>1</sub></b>: Contenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en las aguas servidas.</p> <p><b>Y<sub>2</sub></b>: Condiciones fisicoquímicas de las aguas servidas</p> <p><b>Y<sub>3</sub></b>: Degradación de la materia orgánica</p>