

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**“EVALUACIÓN DE LA TASA DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO
PRODUCIDO POR ALGAS EN UN REACTOR AEROBIO PARA
TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

STEFANY ANDREA REVELO JÁTIVA
stefany.revelo77@gmail.com

WILLIAM HUMBERTO SAMPEDRO TAPIA
william.sampedro0@gmail.com

DIRECTOR: ING. ISAÍAS MARCELO MUÑOZ RODRIGUEZ
marcelo.munoz@epn.edu.ec

CODIRECTORA: ING. MARÍA BELÉN ALDÁS
maria.aldas@epn.edu.ec

Quito, Diciembre 2018

DECLARACIÓN

Nosotros, Stefany Andrea Revelo Játiva, William Humberto Sampedro Tapia, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

STEFANY REVELO JÁTIVA

WILLIAM SAMPEDRO TAPIA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Stefany Andrea Revelo Játiva y William Humberto Sampedro Tapia, bajo nuestra supervisión.

Ing. MARCELO MUÑOZ, MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. MARÍA BELÉN ALDÁS, MSc.
CODIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la fortaleza y sabiduría que necesito.

Agradezco a mis padres, los cuales me han apoyado en todo momento, han sido mi soporte y mi inspiración, han pasado por grandes pruebas desde jóvenes y siempre han estado cuidando de mi ñaña y de mí siempre, gracias por su amor y por confiar en mí, por ustedes soy la persona que soy mil gracias, los amo mucho. A mis profesores y tutores que me han ayudado a culminar esta etapa de mi vida, en especial al Ingeniero Marcelo Muñoz, por brindarme sus conocimientos no solo en las aulas de clase sino también durante toda la elaboración de la tesis; a la Ingeniera María Belén Aldás, por su entera disposición a ayudarnos en todo momento, gracias por todos los consejos que nos ha brindado y gracias por leer con dedicación cada capítulo de nuestra tesis.

Agradezco a la Dra. María de Lourdes Guerra, que nos brindó su apoyo incondicional y entera disposición a ayudarnos en el tema de algas, gracias por sus consejos.

Al Departamento de biología por abrirnos las puertas para la identificación de algas, y en especial al Dr. Vladimir Carvajal por su ayuda y por sus consejos para realizar de mejor manera nuestra identificación de algas.

Agradezco a mi teacher Jorge Dueñas por ser un gran amigo y ayudarnos en la traducción del resumen de nuestro proyecto de titulación.

Finalmente agradezco a Wily por acompañarme durante todo el transcurso de la carrera y por querer terminar esta etapa de nuestras vidas con un desarrollo excelente de nuestro proyecto de titulación.

Stefy R.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de culminar esta etapa importante de mi vida.

A mi abuelita por ser mi mamita y haberme dado todo su amor y cariño, demostrarme a ser fuerte y seguir adelante a pesar de las circunstancias, por cuidarme y estar preocupada de todo lo que me pasaba, desde el cielo quiero que te sientas orgullosa de mi, te amo mucho.

A mi querido papi, porque ha estado en las buenas y en las malas desde que tengo uso de razón, ha sido un pilar fundamental en mi vida, con sus consejos aprendí que la vida no es fácil, pero también aprendí que un tropezón no es caída, y las veces que he caído, ha estado ahí, para darme su mano, y apoyarme para seguir adelante. Sin duda a la persona que le debo todo, por su amor, cariño, comprensión. Me siento demasiado orgulloso porque es un excelente profesional, pero más que nada, porque fue padre y madre y nunca hizo que me faltara nada, te agradezco Papito por todo eso, te amo mucho.

Al Ing. Marcelo Muñoz, quien nos ha guiado con su valiosa experiencia para sacar este trabajo adelante, siendo un apoyo, pero más que nada un amigo.

A la Ing. María Belén Aldás por brindarnos todo su apoyo, y darse tiempo para revisarnos este trabajo, y siempre estar con la mejor predisposición y darnos siempre palabras de aliento para seguir.

A Stefy, por brindarme todo su apoyo durante el transcurso de la carrera y en esta etapa de hacer la tesis, dándome ese aliento para seguir adelante y por ser un excelente ser humano.

A la Dra. María de Lourdes Guerra, quien nos ayudó con sus aportes para la identificación de algas.

Willito S.

DEDICATORIA

Por brindarme su ejemplo a seguir, por enseñarme valores e inculcarme la importancia de ser perseverante en la vida, dedico este trabajo a mis padres: María Játiva y Oscar Revelo.

A mi ñaña Taty por ser mi ejemplo a seguir.

A mis sobrinos Damian y Romina para que les sirva de ejemplo y cumplan sus sueños y metas.

También le dedico este logro a mi angelito del cielo mi Abuelita Cruz, sé que desde el allá se alegra por mí.

DEDICATORIA

Dedico todo este trabajo a mi abuelita y mi papi, que son las dos personas más importantes en mi vida, mi razón de ser y porque seguir adelante, y porque sé que mi abuelita desde el cielo me cuida y me da todas sus bendiciones, y mi papi que siempre ha estado incondicionalmente y más que un padre ha sido un amigo.

Willito S.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.3 ALCANCE	3
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
CAPÍTULO 2	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA	5
2.2 TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES	5
2.2.1 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS	5
2.2.2 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	6
2.3 ALGAS	7
2.3.1 DEFINICIÓN DE ALGAS	7
2.3.2 ACLIMATACIÓN	7
2.3.3 FUNCIONES DE LAS ALGAS EN LOS CUERPOS DE AGUA	8
2.3.4 CLASIFICACIÓN DE LAS ALGAS	8
2.3.4.1 Cianobacterias	9
2.3.4.2 Ochrophyta	9
2.3.4.3 Chlorophyta	10
2.3.5 CONDICIONES DE VIDA	10
2.3.5.1 Nutrientes	10

2.3.5.2 Fotosíntesis.....	10
2.3.5.3 Radiación.....	11
2.3.5.4 Temperatura.....	11
2.3.5.5 Potencial de hidrógeno.....	11
2.3.5.6 Respiración.....	12
2.3.6 TRANSFERENCIA DE OXÍGENO DISUELTO PRODUCIDO POR ALGAS.....	12
2.3.6.1 Parámetros que afectan al oxígeno disuelto en el agua.....	13
2.3.7 APLICACIÓN DE ALGAS EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	13
2.3.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ALGAS SOBRE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	14
2.3.8.1 Ventajas.....	14
2.3.8.2 Desventajas.....	15
2.4 LAGUNA DE YAMBO.....	15
2.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	15
2.4.2 CLIMA.....	16
2.4.3 VEGETACIÓN.....	16
CAPÍTULO 3.....	17
METODOLOGÍA.....	17
3.1 CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL REACTOR AEROBIO.....	17
3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR.....	17
3.1.2 IMPLEMENTACIÓN DEL REACTOR.....	17
3.2 MUESTREO.....	18
3.2.1 MUESTREO DE ALGAS.....	18

3.2.1.1 Puntos de muestreo	18
3.2.2 MUESTREO DE AGUA EN CAMPO PARA ANÁLISIS	19
3.3 CULTIVO Y ACLIMATACIÓN DE ALGAS	22
3.4 MEDICIÓN DE PARÁMETROS	22
3.4.1 MEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA DE LA LAGUNA	22
3.4.1.1 Parámetros medidos en campo	22
3.4.1.2 Parámetros medidos en laboratorio	24
3.4.2 MEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL REACTOR	26
3.5 IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LAS ALGAS DEL REACTOR	29
3.6 EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD DE LAS ALGAS DEL REACTOR	31
3.6.1 CONTEO CELULAR	31
3.6.2 ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD DE ALGAS	32
3.6.2.1 Densidad de las algas dominantes	33
3.7 EVALUACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE OXÍGENO (TT).....	33
3.7.1.1 TT de las algas dominantes	34
CAPÍTULO 4	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1 ACLIMATACIÓN DE ALGAS	36
4.1.1 SEGÚN LA PRESENCIA DE OD	36
4.1.2 SEGÚN LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS	36
4.1.3 SEGÚN LA DENSIDAD ALGAL	38
4.2 MONITOREO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	38
4.2.1 MONITOREO EN LA LAGUNA	38
4.2.2 ANÁLISIS EN LABORATORIO	41
4.2.2.1 Monitoreo del inóculo del centro de la laguna.....	41

4.2.2.2 Monitoreo del inóculo de la orilla de la laguna	43
4.3 RESULTADOS BIOLÓGICOS	46
4.3.1 TAXONOMIA DE LAS ALGAS EN EL REACTOR	46
4.3.2 DENSIDAD DE ALGAS EN EL REACTOR	47
4.3.2.1 Densidad de algas predominantes en el reactor	49
4.4 CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO	50
4.4.1 CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO CON EL INÓCULO DEL CENTRO DE LA LAGUNA.....	50
4.4.1.1 Concentración de oxígeno disuelto por el género predominante	52
4.4.1.2 Factores relacionados al oxígeno disuelto	55
4.4.2 CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO CON EL INÓCULO DE LA ORILLA DE LA LAGUNA.....	57
4.4.2.1 Concentración de oxígeno disuelto, por la especie predominante	60
4.4.2.2 Factores relacionados al oxígeno disuelto	62
4.5 TASA DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO (TT)	64
4.5.1 TASA DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO (TT) DE LA PRIMERA ETAPA.	64
4.5.2.1 Tasa de transferencia de oxígeno de los géneros predominantes	66
4.5.2 TASA DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO (TT) DE LA SEGUNDA ETAPA.....	67
4.5.2.1 Tasa de transferencia de oxígeno de los géneros predominantes	69
CAPÍTULO 5	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71

5.1 CONCLUSIONES	71
5.2 RECOMENDACIONES	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS	80
ANEXO 1.....	81
FOTOGRAFÍAS DE LA IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LAS ALGAS.....	81
ANEXO 2.....	86
ESTADISTICA DESCRIPTIVA.....	86
ANEXO 3.....	93
FOTAGRAFÍAS.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Simbiosis.....	14
Figura 2.2. Laguna de Yambo	16
Figura 3.1. Implementación del reactor	17
Figura 3.2. Monitoreo en el reactor	28
Figura 4.1. Tendencia de los nutrientes	44
Figura 4.2. Tendencia de la DQO vs Tiempo	45
Figura 4.3. Densidad algal por cada semana de monitoreo.....	48
Figura 4.4. Concentración de oxígeno disuelto vs tiempo, primera etapa	52
Figura 4.5. Porcentaje de aportación de OD por microalgas dominantes	54
Figura 4.6. Resultados del pH vs Tiempo 1ra etapa	55
Figura 4.7. Relación entre Oxígeno disuelto, % oxígeno saturación y temperatura del agua, 1ra etapa	57
Figura 4.8. Concentración de oxígeno disuelto vs tiempo 2da Etapa.....	59
Figura 4.9. Porcentaje de producción de OD del género predominante 2da Etapa	61
Figura 4.10 Resultados del pH vs Tiempo 2da etapa.....	62
Figura 4.11. Relación entre Oxígeno disuelto, % oxígeno saturación y temperatura del agua 2da etapa	63
Figura 4.12. % TT por género de alga 1ra etapa.....	67
Figura 4.13 % TT por género de alga 2da etapa.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Resumen de divisiones y hábitats de algas.....	8
Tabla 3.1. Puntos de muestreo	18
Tabla 3.2. Detalle del procedimiento del muestreo de algas.....	19
Tabla 3.3. Detalle del procedimiento del muestreo de agua para análisis	20
Tabla 3.4. Parámetros en campo	22
Tabla 3.5. Parámetros en laboratorio	24
Tabla 3.6. Detalle del procedimiento de la identificación taxonómica de algas.....	29
Tabla 3.7. Detalle del procedimiento para el conteo celular de algas	31
Tabla 4.1. Oxígeno disuelto en la etapa de aclimatación	36
Tabla 4.2. Datos meteorológicos.....	37
Tabla 4.3. Comportamiento del crecimiento algal en las primeras semanas del monitoreo.....	38
Tabla 4.4. Comparación de parámetros de la laguna de Yambo con la de Yahuarcocha	39
Tabla 4.5. Resultados de los parámetros físico-químicos 1ra etapa	41
Tabla 4.6. Resultados de los parámetros físico-químicos 2da etapa	43
Tabla 4.7. Identificación taxonómica	46
Tabla 4.8. Densidad de algas y número de células del reactor	47
Tabla 4.9. Número de microalgas en el volumen del reactor	49
Tabla 4.10. Densidad de algas y número de células del género de alga dominante.....	49
Tabla 4.11. Concentración de oxígeno disuelto 1ra etapa	51
Tabla 4.12. Resumen del promedio del Oxígeno disuelto, segunda etapa	58
Tabla 4.13. Densidad algas dominantes 2da etapa	60
Tabla 4.14. Datos para el cálculo de la tasa de transferencia 1ra etapa.....	64
Tabla 4.15. Comparación de la TT con algas y plantas acuáticas	65

Tabla 4.16. Datos para la tasa de transferencia con las especies predominantes 1ra etapa	66
Tabla 4.17. Datos para la tasa de transferencia 2da etapa	68
Tabla 4.18. Comparación de la TT con algas y plantas acuáticas 2da etapa	68
Tabla 4.19. Datos para la tasa de transferencia por las especies predominantes 2da etapa.....	69
Tabla A1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL OXÍGENO DISUELTO (mg/l) Primera Etapa	87
Tabla A2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL OXÍGENO DISUELTO (mg/l) Segunda Etapa	88
Tabla A3. ESTADISTICA DESCRIPTIVA DEL PORCENTAJE DE OXÍGENO DE SATURACIÓN Primera Etapa.....	89
Tabla A4. ESTADISTICA DESCRIPTIVA DEL PORCENTAJE DEL OXÍGENO DE SATURACIÓN Segunda Etapa.....	90
Tabla A5. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA TEMPERATURA (°C) Primera Etapa.....	91
Tabla A6. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA TEMPERATURA (°C) Segunda Etapa	92

ABREVIATURAS

TT	Tasa de transferencia
OD	Oxígeno Disuelto
%OS	Porcentaje de oxígeno de saturación
DQO	Demanda Química de Oxígeno
T	Temperatura

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tuvo como objetivo evaluar la tasa de transferencia de oxígeno con algas provenientes de la laguna de Yambo, seleccionada por su estado de eutrofización.

La evaluación de la tasa de transferencia se realizó en un reactor aerobio en presencia de las condiciones ambientales de la ciudad de Quito, y los inóculos de agua con algas fueron obtenidos del centro y orilla de la laguna de Yambo. Se evaluaron los parámetros de oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno de saturación, temperatura y pH durante los meses de marzo, abril y mayo del año 2018. También se inyectó solución nutritiva al inóculo para mantener los niveles de nutrientes óptimos para el crecimiento de algas, tratando de simular agua residual en función de la concentración de nutrientes.

La tasa de transferencia obtenida de la primera etapa correspondiente al inóculo de origen del centro de la laguna dió como resultado $79,93 \frac{kgO_2}{ha*día}$ y de la segunda etapa correspondiente al inóculo de la orilla de la laguna fue de $135,54 \frac{kgO_2}{ha*día}$, la segunda etapa experimental fue más eficiente que en la primera etapa por su mayor presencia de fitoplancton, además se concluye que las algas son excelentes para la producción de oxígeno el cual ayuda a la simbiosis entre algas y bacterias consumidoras de la materia orgánica.

Con este estudio se comprobó que la eficiencia de producción de oxígeno con algas es mejor que las plantas acuáticas las cuales son utilizadas en humedales para remediación de aguas residuales.

ABSTRACT

This degree project was aimed at evaluating the rate of oxygen transfer with algae from the Yambo lagoon, selected by its state of eutrophication. The evaluation of the transfer rate was carried out in an aerobic reactor in the presence of the environmental conditions of Quito city, and the water inoculated with algae were obtained from the center and shore of the Yambo lagoon. The parameters of dissolved oxygen, saturation oxygen percentage, temperature and PH were evaluated during March, April and May 2018. Also, a nutritive solution was injected to the inoculum to maintain optimum nutrient levels for the growth of algae, trying to look like wastewater based on the concentration of nutrients.

The transfer rate obtained from the first stage corresponding to the inoculum of origin of the center of the lagoon resulted in $79,93 \frac{kgO_2}{ha*day}$ and from the second stage corresponding to the inoculum of the shore of the lagoon was of $135,54 \frac{kgO_2}{ha*day}$, the second experimental stage was more efficient than the first stage because of its greater presence of phytoplankton, it is also concluded that the algae are excellent for the production of oxygen which helps the symbiosis between algae and bacteria consuming organic matter.

This study found that the efficiency of oxygen production with algae is better than aquatic plants which are used in wetlands for wastewater remediation.

PRESENTACIÓN

El presente estudio se refiere a la evaluación de la tasa de transferencia de oxígeno con algas y contiene cinco capítulos, descritos a continuación:

El Capítulo 1 contiene la problemática o introducción, justificación, alcance, objetivo general y objetivos específicos de la presente investigación.

En el Capítulo 2 se describen temas y conceptos contemplados en esta investigación con apoyo bibliográfico, como descripción de los tratamientos de aguas residuales, aspectos a considerar de las algas y descripción de la Laguna de Yambo que forma parte de este estudio.

En el Capítulo 3 se detalla la metodología utilizada en este estudio, contiene: implementación del reactor y sus características, muestreo del agua con algas, medición de parámetros, evaluación de la densidad algal y evaluación de la tasa de transferencia de oxígeno.

El Capítulo 4 corresponde al análisis y discusión de resultados obtenidos en cada etapa del presente trabajo.

El Capítulo 5 presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas después del análisis de los resultados, además tomando en cuenta los objetivos de este proyecto de titulación.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El agua es un líquido incoloro e insípido compuesto por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, cubre tres cuartas partes de la superficie terrestre estando presente en océanos, ríos, lagos, aguas subterráneas, mares y glaciares (García A. , 2011). El 97% del agua es agua salada y solo el 3% de su volumen es agua dulce (Gómez, Danglot, & Vega, 2010).

El agua es un factor abiótico importante para la existencia los seres vivos, también es el componente inorgánico más abundante presente en la composición interna de éstos (Bertrán, Fernández, Fernández, & Hernández, 2010). Para algunos sectores como la agricultura, la energía, la producción de alimentos, entre otros, el agua es un componente fundamental en su desarrollo (Organización de las Naciones Unidas, 2016), por ende se requiere un manejo adecuado del agua residual proveniente de las diferentes actividades.

Se necesita establecer en la sociedad un manejo apropiado para el tratamiento del agua residual (Gómez I. , 2003), el motivo principal de tratar las aguas residuales es defender el ambiente y la salud pública. Dado que los volúmenes de agua requeridos van en aumento por las distintas actividades del ser humano (CEPAL, 2012) y el crecimiento de la población; es de gran importancia mejorar la gestión de aguas residuales provenientes de viviendas, establecimientos de comercio, edificios públicos y particulares (Conant & Fadem, 2011), esta gestión permite reducir la contaminación acuática (Organización de las Naciones Unidas, 2017).

Existen varios procesos de tratamiento de aguas residuales, entre éstos constan las lagunas de estabilización aerobias, las cuales son un tratamiento biológico (Pesantes & Ruiz, 2017) donde se establece una simbiosis entre algas productoras

de oxígeno y bacterias consumidoras de oxígeno, la simbiosis es aprovechada para degradar la materia orgánica presente en aguas residuales (Muñoz, 2017) El tratamiento con algas es una alternativa con algunas ventajas, requiere de mantenimiento mínimo, su implementación es económica y por lo general son altamente eficientes (Cabrera & Pulla, 2014; García Z. , 2012).

Las algas son organismos acuáticos, se encuentran en todo suministro de agua expuesto a la luz solar, aunque algunas algas pueden encontrarse en el suelo y en superficies expuestas al aire, pero su gran mayoría son acuáticas y crecen sumergidas en los cuerpos de agua (Palmer, 1962). Las algas tienen la capacidad de agregar oxígeno al agua, el cual va ser consumido por animales o bacterias para sobrevivir (Steinberg, 2017), la producción de oxígeno se da en el período diurno y en la noche las algas respiran consumiendo el oxígeno disuelto presente en el agua (Klose, Cooper, Leydecker, & Kreitler, 2012).

El oxígeno juega un rol importante en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales, debe estar disponible a una tasa de transferencia de O_2 equivalente a la carga de demanda de oxígeno ejercida por las aguas residuales, por lo que se puede afirmar que la tasa de transferencia a la que el oxígeno disuelto pueda estar disponible determina la cantidad de carga orgánica que puede ser purificada; existen varios sistemas de aireación y se busca introducir oxígeno disminuyendo costos energéticos (Durán & Rojas, 2006).

Este trabajo pretende principalmente determinar la tasa de transferencia de oxígeno por algas, esta información aportará a procesos biológicos de tratamientos de aguas residuales, por lo cual durante la investigación se evaluará la cantidad de oxígeno que generan las algas, gracias a la actividad fotosintética en un reactor aerobio con agua con altos niveles de nutrientes como los que tendría el agua residual, a través de mediciones de oxígeno disuelto, pH y temperatura.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los procesos de tratamiento biológico con lagunas de estabilización son considerados ecológicos y de bajo costo para tratar aguas residuales (Forero, 2013). Estos procesos utilizan microorganismos para descomponer las sustancias orgánicas, grasas y nutrientes presentes en los residuos líquidos municipales; las algas han sido valoradas a través de los años como una alternativa eficaz de tratamiento especialmente para nitrógeno y fósforo. (Castillo, 2011)

En esta investigación se evalúa la tasa de transferencia de oxígeno por algas ($\text{kg O}_2/\text{ha}^*\text{día}$) en un medio acuático, ya que existe reducida información acerca de este tema, sin embargo, se han encontrado diferentes estudios comparativos sobre la eficiencia de la remoción de materia orgánica en sistemas con algas y plantas acuáticas y también estudios sobre la producción de oxígeno por plantas acuáticas.

Para lograr los objetivos de este estudio, se utilizará un reactor de laboratorio, en el cual se introducirá un inóculo de algas para la producción de oxígeno y agua con solución nutritiva (Cerón, 2015), y posteriormente se evaluará la tasa de transferencia de oxígeno generada por algas en función de la concentración media de oxígeno disuelto (mg/L), área superficial (m^2), volumen de agua (L), tiempo de actividad fotosintética (horas o días) y además se tomará en cuenta el tipo y densidad de algas (algas/mg) presentes en el reactor (Larco & Paucar, 2017)

Este estudio se realizará en un sitio adecuado, ya que los parámetros que se necesitan monitorear para determinar el comportamiento del reactor y obtener la tasa de transferencia de oxígeno deberán ser periódicamente. Por otro lado, la construcción del reactor para implementar en laboratorio será simple, con dimensiones accesibles al espacio disponible y de bajo costo.

1.3 ALCANCE

Los resultados de esta investigación serán un aporte para los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales ya que el suministro adecuado de oxígeno

disuelto juega un papel importante, porque garantiza la respiración aeróbica de los microorganismos. Se podrá comparar la eficiencia de producción de oxígeno por algas con algunas especies de plantas acuáticas.

El valor de la tasa de transferencia de oxígeno por algas también se podrá utilizar para diseñar lagunas de estabilización aerobia reemplazando a los métodos empíricos.

Esta investigación podrá ser utilizada por las entidades encargadas de la remediación de aguas contaminadas como pequeños Municipios.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la tasa de transferencia de oxígeno producido por algas, mediante un reactor aerobio simulando un medio acuático de agua residual, para aportar información a los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la concentración de nutrientes mediante análisis químico del agua sintética, para asegurar el crecimiento de algas productoras de oxígeno que serán introducidas con inóculo en el reactor aerobio.
- Operar el reactor aerobio aplicando la solución nutritiva e inóculo de algas, con el fin de obtener los parámetros oxígeno disuelto, pH y temperatura que permita realizar el análisis cualitativo.
- Evaluar los resultados de la concentración media de oxígeno disuelto, tiempo de la actividad fotosintética, área superficial y densidad de algas, analizando valores obtenidos del reactor, para determinar la tasa de transferencia de oxígeno producido por algas.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

El agua residual es aquella resultante de cualquier actividad humana, en general el agua es utilizada en procesos industriales, comerciales y domésticos, puede definirse como residuo líquido proveniente de la red de alcantarillado (Castañeda & Flores, 2013). Las descargas de las aguas residuales causan la contaminación del recurso hídrico receptor.

El agua residual se ve alterada en sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por esa razón no sirve para el consumo diario en actividades domésticas, industriales o agrícolas. Entre las características físicas presentes en el agua residual están: los sólidos totales, los olores, la temperatura, densidad y color; y en cuanto a las características químicas están: la materia orgánica (nitrógeno, oxígeno, metano,) y materia inorgánica (fósforo, amoníaco, sulfatos, cloruros, y gases como el sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono, etc) (Candela, 2016).

Los tratamientos biológicos son aplicables a las aguas residuales, las cuales están compuestas por materia orgánica, nutrientes, materia en suspensión, microorganismos, entre otros. El principio del tratamiento biológico de las aguas residuales es el mismo que el de la purificación espontánea en aguas naturales (Cabrera & Pulla, 2014).

2.2 TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

2.2.1 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

En los tratamientos biológicos se utilizan microorganismos para llevar a cabo la eliminación de materia orgánica y compuestos que contengan nutrientes como el N

y P. La presencia de nutrientes es necesaria para el crecimiento de dichos microorganismos y en el caso de un sistema aerobio también es necesaria la presencia de oxígeno disuelto en el agua (Rodríguez, Letón, Rosal, Dorado, & Villar, 2006).

En un sistema aerobio, las micro algas son utilizadas para producir oxígeno disuelto que requiere la biomasa para consumir la carga orgánica del agua residual y pueden alcanzar una eficiencia alrededor del 80% (Muñoz & Aldás, 2017).

2.2.2 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Las lagunas de estabilización, son excavaciones en el suelo, abiertas al sol y al aire, donde el agua residual se almacena para su tratamiento, a través de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros organismos. (Comisión Nacional del Agua , 2013). Generalmente tienen forma rectangular o cuadrada.

Las lagunas se clasifican en función del tipo de reacción biológica. Por lo tanto, se toma en cuenta el metabolismo de los microorganismos y su mecanismo respiratorio, ya sea mediante microorganismos que metabolizan la materia orgánica en ausencia de oxígeno (anaerobios), en presencia de oxígeno (aerobios) o en presencia y ausencia de oxígeno (facultativo). (Comisión Nacional del Agua, 2011; Mercado, 2013). Así se puede clasificar en tres tipos de lagunas:

Anaerobias. – estas lagunas son profundas y no existe presencia de oxígeno disuelto y tampoco actividad fotosintética. En este caso las bacterias encargadas de degradar la materia orgánica no necesitan consumir oxígeno (Comisión Nacional del Agua , 2013)

Aerobias. – estas lagunas son de poca profundidad y el oxígeno es proporcionado por algas y por aireación natural en la superficie. Las bacterias consumen el oxígeno presente en el agua y la materia orgánica. Por lo tanto, el tratamiento se realiza en presencia de oxígeno disuelto. (Mercado, 2013)

Facultativas. – esta laguna presenta dos capas: una aerobia en la zona superior y otra anaerobia en la zona inferior. La estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo por bacterias aerobias, anaerobias y facultativas, las facultativas son aquellas que no necesariamente necesitan oxígeno. (Mercado, 2013; Comisión Nacional del Agua, 2011)

2.3 ALGAS

2.3.1 DEFINICIÓN DE ALGAS

La definición de las algas incluye tanto a las cianobacterias procariotas (algas verde azules), como a los protistas fotosintéticos eucariotas (Graham, Graham, & Wilcox, 2009).

Las algas son un conjunto de organismos heterogéneos, varían en tamaño desde diminutas células individuales hasta algas gigantes, la mayoría son especies fotosintéticas que producen oxígeno y viven en hábitats acuáticos (agua marina y agua dulce), sin embargo, otras especies viven en hábitats no acuáticos (rocas y suelos) (Graham, Graham, & Wilcox, 2009; Cubas, 2008).

Las algas se pueden definir como microorganismos fotosintéticos, productores de oxígeno, pero existen algunas excepciones como un grupo de protistas denominado no fotosintéticos, un ejemplo es la *Euglena* (Guamán & González, 2016).

2.3.2 ACLIMATACIÓN

La aclimatación es la etapa donde las algas se adaptan a las condiciones ambientales, como a los cambios de temperatura, humedad entre otros, este período de aclimatación generalmente es corto, (entre 2 a 3 días), y una vez superada la etapa de aclimatación la velocidad de división celular o crecimiento algal se acelera (FAO, 2006).

2.3.3 FUNCIONES DE LAS ALGAS EN LOS CUERPOS DE AGUA

Las algas desempeñan un rol importante en los tratamientos de aguas residuales, ya que actúan como purificadoras en el medio acuático, se puede utilizar algas en estanques o lagunas de estabilización, las algas se encargan de producir el oxígeno, esencial para la multiplicación de las bacterias y otros organismos que consumen la materia orgánica (Palmer, 1962).

2.3.4 CLASIFICACIÓN DE LAS ALGAS

Existen diversos grupos de algas que no comparten un antecesor común, es decir, constituyen una agrupación polifilética de organismos. Las algas pueden presentarse en diversas formas, desde especies unicelulares hasta agrupaciones en colonias, o en estructuras más complejas, (Díaz, 2007). A continuación, se presenta un resumen de las diferentes divisiones y hábitats de las algas en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Resumen de divisiones y hábitats de algas

Filo	Nombre común	Hábitat		
		Marina	Agua dulce	Terrestre
Cianobacterias	Algas verde-azules	SI	SI	SI
Cilaucophyta	NO DISPONIBLE	NO DETECTADO	SI	SI
Rhodophyta	Algas rojas	SI	SI	SI
Chlorophyta	Algas verdes	SI	SI	SI
Charophyta	NO DISPONIBLE	SI	SI	SI
Haptophyta	Coccolithophorids	SI	SI	SI
Cryptophyta	Cryptomonads	SI	SI	NO DETECTADO
Ochrophyta	Algas doradas	SI	SI	SI
	Algas verde-amarillo			
	Diatomeas			
	Algas marrones			
Cercozos (Chlorarachniophyceae)	NO DISPONIBLE	SI	NO DETECTADO	NO DETECTADO
Myzozoa (Dinophyceae)	Dinoflagelados	SI	SI	NO DETECTADO
Euglenozoa (Euglenophyceae)	Euglenoides	SI	SI	SI

Fuente: (Barsanti & Gualtieri, 2014)

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

2.3.4.1 *Cyanobacterias*

Las cianobacterias se denominan también cianofitas, cianofíceas o algas verde azules, se pueden desarrollar en diversos ambientes, en aguas continentales, agua de mar, rocas, árboles y plantas vasculares, además soportan condiciones muy extremas, como temperaturas altas y muy bajas (Díaz, 2007).

Las cianobacterias son procariotas, poseen núcleo rodeado de membrana y pigmentos fotosintéticos, gracias a su función fotosintética las cianobacterias proporcionan oxígeno a las aguas donde se encuentran, por tal razón las cianofitas forman parte del proceso de degradación biológica de la materia orgánica presente en el agua, la importancia de esta función se debe a que las cianobacterias proporcionan oxígeno a los microorganismos los cuales son capaces de consumir la materia orgánica (Universidad de Sevilla, 2010).

2.3.4.2 *Ochrophyta*

Se las denomina también como diatomeas, algas doradas, algas verde- amarillas o algas marrones, son unicelulares y se caracterizan por tener cloroplastos dorados y paredes celulares compuestas por sílice. La mayoría de las diatomeas se encuentran adheridas a superficies, con la presencia de estas algas el agua se colorea de marrón, además existe una gran diversidad de formas y tamaños (Steinitz & Lenca, 2013)

Las diatomeas se encuentran en distintos hábitats como en agua marina, agua dulce, y cualquier superficie húmeda (Barsanti & Gualtieri, 2014).

Las diatomeas son capaces de tolerar un amplio rango de contaminación, y tienen un tiempo de generación muy corto, 2 semanas aproximadamente, por lo que las comunidades cambian rápidamente en respuesta a los cambios ambientales (Steinitz & Lenca, 2013).

2.3.4.3 *Chlorophyta*

Son conocidas también como algas verdes, tienen gran cantidad de géneros y abarcan una amplia variedad de formas estructurales, la mayoría son verdes debido a la presencia de pigmentos fotosintéticos, el color de las células pueden cambiar por el ciclo de vida que atraviesan las algas, un organismo puede atravesar algunas fases como: la reproducción juvenil, la asexualidad o la reproducción sexual (Lund & Lund, 2007).

2.3.5 CONDICIONES DE VIDA

2.3.5.1 *Nutrientes*

Las algas tienen diferentes formas de absorber y obtener los nutrientes necesarios. Gran parte de las algas son fotoautótrofas, es decir, utilizan la luz solar como fuente de energía y el CO₂ lo utilizan como fuente de carbono para producir trifosfato, carbohidratos y adenosina. También existen especies heterótrofas incoloras las cuales obtienen el carbono orgánico del ambiente, otras algas se denominan auxotróficas, es decir, no pueden sintetizar componentes esenciales como vitaminas o ácidos grasos (Graham, Graham, & Wilcox, 2009).

Las algas no solamente requieren luz, también necesitan nutrientes como nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, entre otros (Grupo Cooperativo Cajamar, 2015).

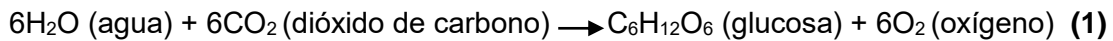
El nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes para las algas y se incorpora como nitrato o amonio y el fósforo es un nutriente fundamental para los procesos celulares, como la formación de ácidos nucleicos y transferencia de energía (Hernández & Labbé, 2014).

2.3.5.2 *Fotosíntesis*

Las algas utilizan energía luminosa para realizar la fotosíntesis, el cual es un proceso físico-químico para sintetizar sustancias orgánicas, este proceso fotosintético conlleva a liberar oxígeno molecular y utiliza dióxido de carbono para

la síntesis de los compuestos orgánicos (Pérez, 2009; Grupo Cooperativo Cajamar, 2015).

La siguiente reacción global resume el proceso (Sáenz, 2016):



La fotosíntesis se divide en dos fases, la primera es la fase fotoquímica, en la cual surge la captación de la energía lumínica y la segunda fase es la oscura, en esta fase se sintetiza materia orgánica (Larco & Paucar, 2017).

2.3.5.3 Radiación

La radiación es otro factor influyente para el crecimiento algal. La radiación activa la actividad fotosintética y proporciona energía para la incorporación de nutrientes y la asimilación de carbono (Vinegla & López, 2009).

La radiación solar y la temperatura están ligadas provocando efectos sobre el crecimiento de algas, según estudios en épocas de invierno los cultivos de algas crecen en menor cantidad (Álvarez & Gallardo, 2000).

2.3.5.4 Temperatura

La temperatura es un parámetro a considerar para el crecimiento de las diferentes especies de algas, y se consideran tres temperaturas: mínima, óptima y máxima. Hay que considerar las diferentes especies de algas ya que existen algas que soportan altas y bajas temperaturas (Grupo Cooperativo Cajamar, 2015; Díaz, 2007).

2.3.5.5 Potencial de hidrógeno

El pH es un parámetro considerable para el crecimiento de las algas, afecta indirectamente la velocidad de crecimiento ya que influye sobre la disociación y solubilidad de los distintos componentes del medio en el que crecen las microalgas (Guamán & González, 2016).

El pH en el medio acuático se basa en la productividad algal, la respiración, la alcalinidad y composición iónica (Hernández & Labbé, 2014). Los rangos de pH en los cultivos de algas están entre 8 y 10, el pH aumenta debido a la acumulación de minerales y la oxidación de nutrientes debido a la edad del cultivo algal en el medio acuático (Forero, 2013).

2.3.5.6 Respiración

Durante la noche las algas respiran pero no realizan la fotosíntesis, consumen el oxígeno que ha producido durante el día, y el CO₂ liberado en la noche por la respiración será consumido durante el día con el proceso fotosintético (Larco & Paucar, 2017).

2.3.6 TRANSFERENCIA DE OXÍGENO DISUELTO PRODUCIDO POR ALGAS

La tasa de transferencia de oxígeno cuantifica la capacidad de las algas en cuanto a la cantidad de oxígeno suministrado al agua por unidad de tiempo y superficie (López, Méndez, García, & Cervantes, 2017).

Las algas son microorganismos fotosintéticos y realizan aportaciones importantes de oxígeno al planeta. Además se considera que las algas participan con un porcentaje de alrededor del 50% en la fotosíntesis mundial (Kwong., 2012)

Durante el día las algas consumen dióxido de carbono presente en el agua y liberan oxígeno (Pérez, 2009).

Los niveles de oxígeno disuelto pueden indicar la calidad del agua, los organismos acuáticos necesitan oxígeno disuelto para su sobrevivencia, por lo tanto si existe una disminución considerable de oxígeno en el agua indica una baja calidad (Cimcool, 2011).

2.3.6.1 Parámetros que afectan al oxígeno disuelto en el agua

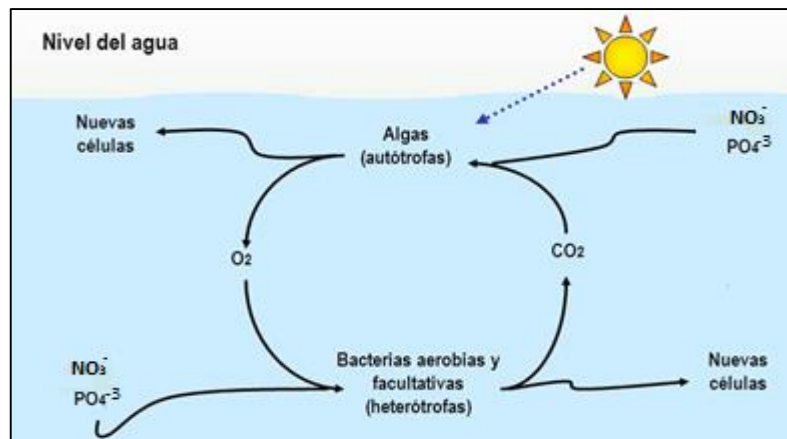
El oxígeno disuelto presente en un medio acuoso no depende solamente de la producción de las algas, puede ser afectado por algunos factores como: la salinidad, la temperatura y la presión atmosférica.

- Salinidad: si la salinidad del agua aumenta, la concentración de oxígeno disuelto en el agua disminuye (Peña & Chang, 2007).
- Temperatura: Si la temperatura en el agua se torna muy caliente la concentración de oxígeno disminuye y no habrá suficiente oxígeno en el agua, porque la tasa de fotosíntesis disminuye drásticamente a una temperatura mayor a 35°C (Muñoz & Aldás, 2017). El agua puede estar sobresaturada de oxígeno a una temperatura dada, esto puede ocurrir cuando existe presencia de algas productoras de oxígeno (Lenntech, 2018)
- Presión atmosférica: la altitud es un factor a considerar, en lugares altos el agua contiene menor oxígeno disuelto, es decir a mayor presión atmosférica menor concentración de oxígeno disuelto en el agua. (Molina, 2015)

2.3.7 APLICACIÓN DE ALGAS EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Para el tratamiento de aguas residuales se han aplicado distintos métodos como biorremediación, fitorremediación y rizorremediación. La biorremediación es aquella que utiliza algas para contribuir al sistema de tratamiento de aguas residuales, se han realizado estudios utilizando distintos géneros de algas con resultados efectivos sobre estos tratamientos, pero hay que tomar en cuenta que la eliminación de materia orgánica se debe a la simbiosis (Figura 2.1) entre algas y bacterias (Candela, 2016).

Figura 2.1. Simbiosis



Fuente: Rivera, 2011

Algunas especies de algas son capaces de crecer en medios de agua contaminada, por esa razón son aplicables a tratamientos de aguas residuales. (Molina, 2015). El agregado de algas a un biorreactor de aguas residuales ha mejorado el proceso de su tratamiento al punto tal que supera a la eficiencia de los métodos estándar de tratamiento de aguas municipales (Fluence News Team, 2016).

2.3.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ALGAS SOBRE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

2.3.8.1 Ventajas

Una de las ventajas es la capacidad que tienen las algas para remover compuestos como fósforo, nitrógeno y amoníaco, por ende una buena productividad de algas es necesaria para una eficiente remoción de nutrientes (Forero, 2013).

Otra ventaja es la capacidad de absorber el dióxido de carbono (CO₂), las algas contribuyen a metabolizar el CO₂ presente en el agua (Forero, 2013).

Las algas también tienen la capacidad de remover metales pesados como níquel, plata, cadmio, zinc y cobre, estos metales son generados en distintas industrias y causan grandes problemas de contaminación en el agua (Forero, 2013).

2.3.8.2 Desventajas

La utilización de algas en lagunas de estabilización para tratamiento de agua residual tiene algunas desventajas como el crecimiento incontrolado de algas, porque estas se descargan en el efluente, deteriorando la calidad del cuerpo receptor, por ese motivo se aconseja recuperar las algas antes de su descarga (Muñoz & Aldás, 2017).

Algunas algas como las cianobacterias pueden llegar a producir toxinas causantes de enfermedades a los seres humanos y el agua puede adquirir un mal olor y sabor (Candela, 2016).

Y la principal desventaja es que se requiere de grandes áreas de terreno para la implementación de las lagunas de estabilización con algas (Muñoz & Aldás, 2017).

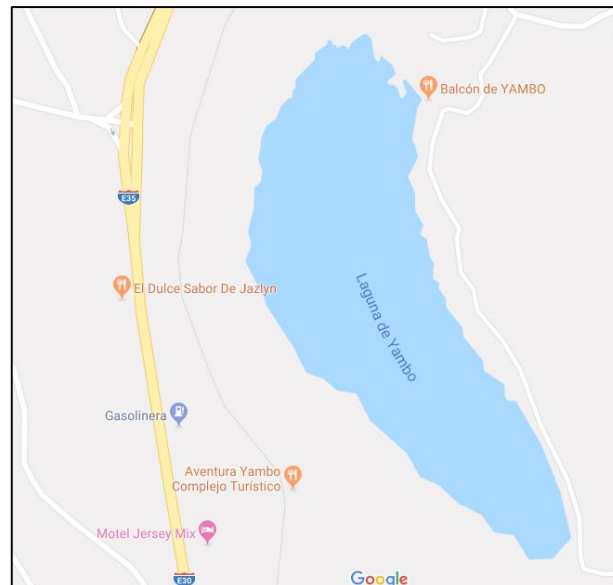
2.4 LAGUNA DE YAMBO

2.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

La Laguna de Yambo, es de origen tectónico, además tiene agua turbia, rica en nutrientes y con alto desarrollo de algas. Está ubicada en la Región Sierra, provincia de Cotopaxi, cantón Salcedo, parroquia Panzaleo, tiene una longitud de 1256 m y un ancho de 290 m, la profundidad máxima es aproximadamente 29 m (Burgasí & Cayo, 2016).

Las coordenadas geográficas son; Longitud: 78°35'22.22" O y Latitud: 1°06'01.89" S.

Figura 2.2. Laguna de Yambo



Fuente: Google Maps, 2018

2.4.2 CLIMA

El cantón Salcedo tiene dos clases de climas, el mesotérmico semi-húmedo y el mesotérmico seco que predomina en la mayor parte del territorio, la laguna de Yambo se encuentra en la zona donde el clima es mesotérmico seco, la temperatura varía entre 8,4°C a 24,2°C, la precipitación anual acumulada es 500 milímetros (Burgasí & Cayo, 2016).

2.4.3 VEGETACIÓN

La formación de vegetación predominante alrededor de la laguna de Yambo es el matorral seco espinoso. Es decir la vegetación presente es de clima seco, predominan los cactus, también existe la presencia de eucaliptos, molles, cabuyas, totora, sigse, paja entre otros (Burgasí & Cayo, 2016).

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL REACTOR AEROBIO

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR

El reactor aerobio utilizado para esta investigación fue diseñado con una profundidad de 50 cm, un ancho de 20 cm y 98 cm de largo, dicha profundidad fue seleccionada tomando en cuenta las características de las lagunas aerobias, generalmente la profundidad de dichas lagunas varían entre 30 y 45 cm (Muñoz & Aldás, 2017).

3.1.2 IMPLEMENTACIÓN DEL REACTOR

En esta investigación el reactor estuvo expuesto a condiciones climáticas de la ciudad de Quito, con la finalidad de observar el comportamiento del reactor aerobio en las condiciones climáticas de esa zona.

El reactor fue expuesto específicamente a las siguientes condiciones ambientales: radiación solar, precipitaciones, temperatura ambiente.

Figura 3.1. Implementación del reactor



Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

3.2 MUESTREO

Para el muestreo se seleccionó una laguna eutrofizada, es decir, que contenga exceso de nutrientes y con presencia de fitoplancton, la seleccionada para esta investigación fue la laguna de Yambo.



3.2.1 MUESTREO DE ALGAS

3.2.1.1 Puntos de muestreo

Se seleccionaron dos puntos de muestreo, para poder observar las características físicas y químicas en la parte central y la orilla de la laguna de Yambo, y se experimentó el comportamiento del reactor con las muestras de los dos puntos de muestreo.

Las coordenadas de los puntos de muestreo fueron obtenidas con un GPS marca GARMIN, los puntos de muestreo se muestran en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1. Puntos de muestreo

Puntos	Referencia	X (UTM)	Y (UTM)	Fotos
1	Centro de la laguna de yambo	0768319 Este	9878229 Norte	
2	Orilla de la laguna de Yambo	0768382 Este	9878617 Norte	

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

El reactor aerobio implementado necesitó un volumen de 88,2 litros de agua con algas, se recolectó un volumen necesario de agua de la laguna de Yambo, además toda el agua recolectada tuvo presencia de algas. A continuación, se muestra los materiales y procedimiento utilizado en la recolección de agua con algas para el reactor Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Detalle del procedimiento del muestreo de algas

Materiales	Cuerda, recipientes de plástico de 25 y 38 litros de capacidad, mambretes para los recipientes, guantes de nitrilo.
Procedimiento	En cada punto seleccionado para el muestreo se procedió a llenar los recipientes de plástico, los recipientes llenos contenían un volumen considerable por lo que se utilizó cuerdas para sacar los recipientes del agua con mayor facilidad. Cada recipiente fue rotulado con la ubicación de donde fue realizado el muestreo y la fecha del día que fue recolectada.



Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo


3.2.2 MUESTREO DE AGUA EN CAMPO PARA ANÁLISIS

Se recolectó muestras de agua para análisis de laboratorio en los mismos dos puntos de muestreo: centro y orilla de la laguna.

Según las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN 2169:2013: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras y la NTE INEN 2176:2013: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo, se realizó la recolección de las muestras necesarias para el análisis físico-químico del agua de la laguna de Yambo, algunos análisis fueron realizados in situ y los demás en laboratorio. En la Tabla 3.3 se muestran los equipos, materiales y procedimiento utilizado en la recolección de muestras para análisis físico-químico.

Tabla 3.3. Detalle del procedimiento del muestreo de agua para análisis

Equipos y materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Medidor de oxígeno disuelto Hach - Conductímetro portátil YSI - pHmetro digital - Red de plancton - Botellas ámbar - Jarra - Etiquetas
Procedimiento de la recolección de agua para análisis físico-químico	
<p>Se utilizaron los distintos equipos para obtener los resultados de los diferentes parámetros in situ para poder caracterizar el agua que se utilizó como inóculo en el reactor.</p>	
<p>Se recolectó agua en los frascos ámbar, los recipientes recomendados para análisis de características físicas o químicas según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2176:2013: AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.</p>	

<p>Todos los frascos fueron rotulados y a las muestras que eran necesarias se les añadió un conservante para poder realizar su posterior análisis. El contenido de cada etiqueta presentaba: ubicación del sitio de muestreo, fecha, hora, detalles, condiciones atmosféricas, información del conservante o estabilizador adicionado, parámetro que va ser analizado y nombres de recolectores, según dicta la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2176:2013: AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.</p>	<table border="1"> <tr><td>Ubicación:</td><td></td></tr> <tr><td>Detalles:</td><td></td></tr> <tr><td>Fecha:</td><td></td></tr> <tr><td>Método:</td><td></td></tr> <tr><td>Hora:</td><td></td></tr> <tr><td>Nombres de recolectores:</td><td></td></tr> <tr><td>Condiciones atmosféricas:</td><td></td></tr> <tr><td>Conservante/estabilizador adicionado:</td><td></td></tr> <tr><td>Parámetro que se va a analizar:</td><td></td></tr> </table>	Ubicación:		Detalles:		Fecha:		Método:		Hora:		Nombres de recolectores:		Condiciones atmosféricas:		Conservante/estabilizador adicionado:		Parámetro que se va a analizar:	
Ubicación:																			
Detalles:																			
Fecha:																			
Método:																			
Hora:																			
Nombres de recolectores:																			
Condiciones atmosféricas:																			
Conservante/estabilizador adicionado:																			
Parámetro que se va a analizar:																			
<p>Los frascos fueron transportados en un cooler con botellas de hielo para mantener las muestras en buen estado para su posterior análisis en laboratorio.</p>																			

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Las muestras fueron tomadas en los meses de marzo en el centro de la laguna y abril en la orilla de la laguna. El análisis de los parámetros se realizó para conocer las condiciones naturales en donde viven las algas.

3.3 CULTIVO Y ACLIMATACIÓN DE ALGAS

Las muestras de agua fueron transportadas inmediatamente de la laguna de Yambo a la ciudad de Quito, el agua recolectada para el reactor fue introducida dentro del mismo. El reactor fue llenado hasta una altura de 45 cm, dicha altura se mantuvo constante para el monitoreo diario, el reactor fue diseñado para asegurarse que no sobrepase dicha altura, ya que tiene 2 agujeros justo al límite de los 45 cm a cada lado del reactor, estos agujeros sirvieron para el desfogue de agua sobrante.

La aclimatación duró aproximadamente tres días y las algas aumentaron la división celular (FAO, 2006).

3.4 MEDICIÓN DE PARÁMETROS






3.4.1 MEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA DE LA LAGUNA

3.4.1.1 Parámetros medidos en campo

Los parámetros analizados en campo se enlistan en la tabla 3.4 con el respectivo equipo utilizado.

Tabla 3.4. Parámetros en campo

Parámetro	Equipo	Fotografía
Conductividad	Conductímetro portátil YSI	





Potencial de hidrógeno	pHmetro y tiras de pH	
Oxígeno disuelto	Medidor de oxígeno disuelto Hach	
% Oxígeno de saturación	Medidor de oxígeno disuelto Hach	
Temperatura	Medidor de oxígeno disuelto Hach	
Presión	Medidor de oxígeno disuelto Hach	
Salinidad	Conductímetro portátil YSI	
Turbiedad	Turbidímetro	





Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

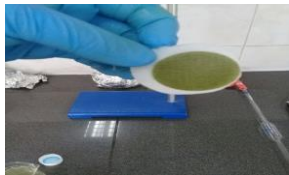

3.4.1.2 Parámetros medidos en laboratorio

Los parámetros que no se pudieron analizar in situ fueron realizados en laboratorio, en la tabla 3.5 se describen los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua de la laguna transportada al laboratorio.

Tabla 3.5. Parámetros en laboratorio

Parámetros Químicos	Procedimiento	Fotografía
DQO	APHA 5220 B	
Nitritos	APHA 4500-NO2-B, Colorimétrico	
Nitratos	Espectrofotómetro Hach DR 2700	
Fósforo total	APHA 4500-P C Colorímetro	

Nitrógeno amoniacal	Método Neffler	
Potasio	Espectrofotómetro Hach DR 2700	
Hierro total	APHA 3500-Fe B, Colorimétrico	
Alcalinidad	APHA 2320 B, titulación	
Acidez	APHA 2310 B, titulación	
Dureza total	APHA 2340 C	
Dureza cálcica	APHA 3500-Ca B	
Sólidos totales	APHA 2540 B	
Sólidos volátiles	APHA 2540 E	

Sólidos suspendidos totales	APHA 2540 D	
Parámetros Físicos	APHA 2120 C	
Color		

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Todos los parámetros analizados en laboratorio fueron realizados para establecer las condiciones iniciales en las que estarían las algas en el reactor y para saber las condiciones en su hábitat natural.

3.4.2 MEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL REACTOR

El reactor aerobio fue monitoreado en dos etapas, la primera con el inóculo de agua proveniente del centro de la laguna de Yambo desde el 16 de marzo al 22 de marzo del 2018 y la segunda etapa del monitoreo con el inóculo de agua proveniente de la orilla de la laguna, desde el 28 de marzo al 4 mayo del 2018.

Los procedimientos realizados directamente en el reactor para obtener los parámetros fueron los siguientes:

1. Se realizó la medición de la concentración de oxígeno disuelto (OD) con el oxímetro digital Hach portátil, durante todo el proceso de la experimentación, las mediciones fueron realizadas de lunes a viernes desde las 7:00 am hasta las 18:00 pm (Villacres, 2005). El sensor del oxímetro fue introducido a tres profundidades distintas en el reactor, la primera en la superficie, la segunda

en el medio y la tercera al fondo, a 5,13 y 26 cm de profundidad, respectivamente (Figura 3.4(a)).

2. Con el mismo oxímetro se obtienen mediciones del porcentaje de oxígeno de saturación y la temperatura, por lo tanto, a cada altura se obtuvo 3 mediciones de los tres parámetros (OD, %OS, temperatura).
3. La medición de pH se realizó una o dos veces al día con el pHmetro o tiras de pH, para supervisar que se encuentre el pH dentro del rango considerado apto para cultivos de algas, este rango está entre un pH de 7 a 9 (Figura 3.2(b)).
4. Todos los días se monitoreó el nivel de agua en el reactor ya que era importante mantener el nivel de agua a una altura de 45 cm medida desde el suelo; en los días soleados existía una evaporación considerable de agua por lo que se procedía a llenar el reactor con agua de reserva de la laguna de Yambo. En las épocas lluviosas el exceso de agua era desfogado por los agujeros diseñados a los costados del reactor (Figura 3.2(c)).
5. Cada día se añadía al reactor 3 litros de agua, si el nivel de agua estaba correcto se procedía a quitar 3 litros y añadir agua reservada, esto con el propósito de mantener los nutrientes necesarios para el crecimiento algal. Además, se consideró oportuno añadir una solución nutritiva por lo que se colocó 1 ml de fertilizante líquido orgánico (Organic Grow) diluido tres veces a la semana (Figura 3.2(d)).
6. Con muestras de agua tomadas una vez por semana, durante todo el período de experimentación, se realizaron análisis de los distintos parámetros en laboratorio los mismos que se enlistan en la Tabla 3.5 y además se aumenta a dicha lista el parámetro de Oxígeno Disuelto realizado con el método Winkler.

7. Finalmente se procedió a coleccionar una muestra de algas por semana, durante la etapa experimental, para la determinación de la densidad e identificación algal con microscopio en el Departamento de Biología de la EPN, las muestras fueron conservadas con lugol ya que el análisis de estas muestras se realizó al final de la experimentación (figura 3.2(e)).

Figura 3.2. Monitoreo en el reactor



Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Figura 3.2: (a) Medición de OD, (b) Medición de pH, (c) Verificación del nivel de agua a 45 cm, (d) Preparación de solución nutritiva, (e) Muestras de algas con lugol.


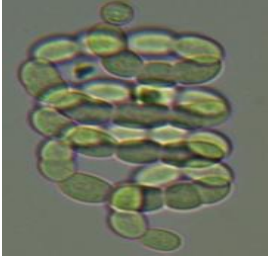
3.5 IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LAS ALGAS DEL REACTOR

Una vez terminada la etapa experimental, se realizó el análisis de cada una de las muestras colectadas de algas, estas muestras fueron preservadas con lugol para conservar la estructura de los distintos géneros de algas.

Se recolectó una muestra por cada semana durante todo el proceso experimental, la identificación taxonómica se realizó en el Departamento de Biología de la EPN con un microscopio apto para tomar fotografías. En la Tabla 3.6 se muestra en detalle el procedimiento que se realizó para la identificación taxonómica de las algas.

Tabla 3.6. Detalle del procedimiento de la identificación taxonómica de algas

Equipos y materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Porta objetos - Pipeta pasteur - Alcohol - Microscopio biológico trinocular OLYMPUS CX31 con cámara digital infinity 1 - Computadora con el programa de fotografía del microscopio pixel-fox - Cubre objetos - Papel
Procedimiento de la identificación taxonómica de las algas	

	<p>El porta y cubre objetos fueron aseados para evitar cualquier interferencia en la visibilidad, luego se homogeneizó la muestra para colocar una gota con ayuda de una pipeta Pasteur, a continuación se colocó con cuidado el cubre objetos observando que no se forme ninguna burbuja entre el cubre y porta objetos.</p>
	<p>Con el microscopio se observó detenidamente cada una de las muestras, al momento de encontrar alguna microalga se procedió a activar el programa para tomar fotografías desde el microscopio, dicho programa fue instalado en una computadora conectada al microscopio para tomar una foto a cada especie encontrada.</p>
	<p>Se obtuvo fotografías de cada especie en las distintas muestras. Con las fotografías se pudo comparar con distintos libros la información y características de los diferentes tipos de algas, y así se determinó el género que correspondía a cada fotografía de todas las muestras.</p>


Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo


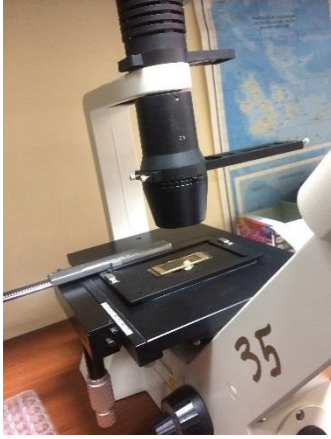
3.6 EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD DE LAS ALGAS DEL REACTOR

3.6.1 CONTEO CELULAR

Las muestras recolectadas durante todo el proceso experimental fueron analizadas en el laboratorio del Departamento de Biología de la EPN. Para determinar la densidad de algas presente en el reactor, se utilizó la celda Sedgewick Rafter, una cámara diseñada para tomar muestras de 1 ml, y contiene una cuadrícula marcada. En la Tabla 3.7 se muestra en detalle el procedimiento realizado para el conteo celular de las microalgas.

Tabla 3.7. Detalle del procedimiento para el conteo celular de algas

Equipos y materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Celda sedgewick Rafter - Cubre objetos - Pipeta pasteur - Papel absorbente - Alcohol - Contador manual - Microscopio invertido axiovert 25 ZEISS
Procedimiento del conteo celular	
	<p>Para la limpieza de la celda sedgewick Rafter y cubre objetos se utilizó alcohol y papel, para evitar la presencia de sustancias grasas o partículas que dificulten la visibilidad en el microscopio.</p>

	<p>Con la pipeta pasteur se colocó 1ml de muestra homogenizada a la celda Sedgewick Rafter.</p>
	<p>Se colocó la celda Sedgewick Rafter en el microscopio y se observó por el ocular la cuadrícula con la que está diseñada dicha celda, dentro de la cuadrícula se observaron las microalgas presentes de cada muestra. Y finalmente se contó el número de microalgas presentes en 18 cuadros seleccionados al azar, cada muestra fue analizada dos veces por lo tanto se obtiene una réplica de conteo.</p>

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

3.6.2 ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD DE ALGAS

Una vez realizado el conteo celular de cada muestra obtenida en el proceso experimental de esta investigación, se procedió a calcular la densidad total de las algas presentes en el reactor, además la densidad de las especies más abundantes, y para esto se utilizó la siguiente ecuación (APHA, 2012):

$$\frac{\text{Células}}{\text{ml}} = \frac{C * At}{Af * F * V} \quad (2)$$

Donde:

C = número de biovolumen de taxones contados o totales de células medidos.

At = área total del fondo de la cámara de sedimentación, mm^2 .

Af = área de un campo (área de imagen de la cuadrícula de Whipple), mm^2 .

F = cantidad de campos contados.

V = volumen de muestra establecido, ml

Utilizando la fórmula, da como resultado la densidad, representada en número de células encontradas en un mililitro de muestra, ya que la celda de conteo sedgewick Rafter tiene la capacidad de 1 ml, posteriormente se hace un cálculo para establecer la cantidad de algas presentes en todo el volumen del reactor.

3.6.2.1 Densidad de las algas dominantes

El cálculo de la densidad de las algas abundantes se logró realizar por el conteo celular clasificado, para la densidad total se tomaron en cuenta todos los géneros de algas, pero para la densidad de las algas dominantes se tomó en cuenta el conteo exclusivo de éstas. Se utilizó de igual manera la ecuación número (2) para el cálculo de la densidad, pero reemplazando el valor de las células totales por el número de las células de las algas dominantes.

3.7 EVALUACIÓN DE LA TRANFERENCIA DE OXÍGENO (TT)

Los datos obtenidos de la concentración de oxígeno disuelto se procesaron en Excel, para generar un análisis estadístico descriptivo, obteniendo la media aritmética, máximo, mínimo, desviación estándar y gráficos representativos, y de esta manera poder comparar la concentración de oxígeno que produjeron las algas diariamente.

Una vez obtenidos los datos estadísticos, se utilizó la media aritmética de la concentración de oxígeno disuelto para el cálculo de la tasa de transferencia de oxígeno, con ayuda de la siguiente ecuación (Muñoz, 2017; Larco & Paucar, 2017):

$$TT = \frac{C * V}{T * A} \quad (3)$$

Dónde:

TT : Tasa de transferencia de oxígeno ($\text{kg O}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$)

C : Concentración de oxígeno disuelto en el reactor ($\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$)

V : Volumen de agua presente en el reactor (L)

A : Área superficial del reactor (ha)

T : Tiempo de producción de O_2 (días)

El tiempo de producción (T) se tomó en cuenta las 12 horas ya que las algas son fotosintéticas, por lo tanto, generan oxígeno durante la presencia de luz o radiación solar.

3.7.1.1 TT de las algas dominantes

Para determinar la tasa de transferencia por el género dominante se utilizó la concentración de oxígeno disuelto proporcionado por las algas dominantes ese dato fue calculado tomando en cuenta la densidad total de algas y la densidad parcial del alga dominante con la siguiente relación:

$$OD_{Alga\ dominante} = \frac{\partial_{Alga\ dominante} * OD_{Total}}{\partial_{Alga\ total}} = C_{Alga\ dominante} \quad (4)$$

Dónde:

$OD_{Alga\ dominante}$ ó $C_{Alga\ dominante}$: Concentración de oxígeno disuelto por el alga dominante ($\text{kg O}_2/\text{L}^{-1}$)

$\partial_{Alga\ dominante}$: Densidad del alga dominante del reactor (Células/ml)

OD_{Total} : Concentración de oxígeno disuelto total en el reactor ($\text{kg O}_2/\text{L}^{-1}$)

$\partial_{Alga\ total}$: Densidad total de algas en el reactor (Células/ml)

Luego se utilizó la ecuación número (3), reemplazando la concentración de oxígeno disuelto total por la concentración de oxígeno disuelto calculada con la densidad de las algas dominantes (ecuación 4) y la ecuación para determinar la TT del alga dominante queda de la siguiente manera:

$$TT_{Alga\ dominante} = \frac{C_{Alga\ dominante} * V}{T * A} \quad (5)$$

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ACLIMATACIÓN DE ALGAS

4.1.1 SEGÚN LA PRESENCIA DE OD

La aclimatación duró alrededor de 3 días, esto fue deducido con la medición de la producción de oxígeno disuelto, una vez inoculada la muestra en el reactor se realizaron mediciones de OD.

La comparación del oxígeno disuelto medido en los días de aclimatación se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Oxígeno disuelto en la etapa de aclimatación

Origen del inóculo			
CENTRO DE LA LAGUNA		ORILLA DE LA LAGUNA	
Inicial	8,07	Inicial	9,79
Tercer día	9,53	Tercer día	15,58

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

El primer día el oxígeno disuelto se mantuvo como en las condiciones normales encontradas en el centro y orilla de la laguna de Yambo con 8,07 mg/l y 9,79 mg/l respectivamente, al siguiente día la producción de OD disminuyó, pero al tercer día volvió a incrementar el OD a 9,53 mg/l y 15,58 mg/l respectivamente, por lo tanto, los distintos géneros de algas se aclimataron en condiciones ambientales de Quito (FAO, 2006).

4.1.2 SEGÚN LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS

Se comparó la temperatura y la precipitación presente en la laguna de Yambo y Quito durante los meses que se han recolectado las muestras y durante todo el proceso experimental.

La estación meteorológica Iñaquito es la más cercana del sitio de donde se realizó el monitoreo de esta investigación, y la estación de Rumipamba es la más cercana a la laguna de Yambo.

Gracias a los boletines meteorológicos elaborados por el INAMHI (2018), se pudo comparar la situación climática de la zona de la laguna y la zona donde se realizó el proceso experimental, el cual duró los meses de marzo, abril y mayo del año 2018. Los datos meteorológicos (precipitación y temperatura) de las dos estaciones se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Datos meteorológicos

Estación Meteorológica	Mes	Precipitación (mm)	Temperatura ambiente (°C)
Quito-Iñaquito	Marzo	82,6	16,5
	Abril	135,1	15,7
	Mayo	167,3	15,7
Rumipamba	Marzo	48,6	15,2
	Abril	54,3	14,9
	Mayo	50,6	14,9

Fuente: INAMHI, 2018

Con respecto a la precipitación existió una gran diferencia ya que en Quito las precipitaciones han sido mayores que en el sector de donde se encuentra la laguna de Yambo, en los meses de marzo, abril y mayo, por lo que las algas han sido aclimatadas a condiciones diferentes con respecto a la precipitación.

En la temperatura se observó también condiciones diferentes, en el mes de marzo existe una diferencia de la temperatura de 1,3 °C, en abril una diferencia de 0,8°C y en mayo con una diferencia de 0,8°C, Quito tuvo la temperatura mayor en los tres meses, por lo que se logra concluir que las algas lograron aclimatarse a una temperatura mayor (Grupo Cooperativo Cajamar, 2015).

4.1.3 SEGÚN LA DENSIDAD ALGAL

La multiplicación celular es otro factor donde se comprueba la aclimatación de las algas, los resultados de la densidad algal presente en el reactor se muestran en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Comportamiento del crecimiento algal en las primeras semanas del monitoreo

Origen del inóculo	Tiempo	Densidad (células/ml)	Nº de células presentes en el reactor
Centro de la laguna	1ra Semana	4.545,45	400.909.090,91
	2da Semana	15.605,26	1.376.384.210,53
Orilla de la laguna	1ra Semana	7.857,14	693.000.000,00
	2da Semana	12.138,89	1.070.650.000,00

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Las densidades de la segunda semana son mayores a las densidades de la primera semana, en los dos monitoreos con distinto origen del inóculo, por lo tanto, las algas ya se habían aclimatado y lograron su multiplicación celular. Conforme las algas se van aclimatando a las condiciones de cultivo las células crecen y se dividen con mayor velocidad y esto también interfiere en la producción de oxígeno entre más algas mayor cantidad de OD presente en el medio (FAO, 2006).

4.2 MONITOREO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

4.2.1 MONITOREO EN LA LAGUNA

El monitoreo de la Laguna de Yambo se realizó en dos puntos de muestreo, en el centro y orilla de la laguna a diferentes días, como se muestra en la Tabla 4.4, sin embargo, las condiciones climáticas en los días de monitoreo fueron similares. Además, en la Tabla 4.4 se encuentra los resultados obtenidos de la laguna de Yahuarcocha para su posterior comparación con la laguna de Yambo.

Tabla 4.4. Comparación de parámetros de la laguna de Yambo con la de Yahuarcocha

PARAMETROS	LAGUNA		
	YAMBO (Revelo & Sampedro, 2018)		YAHUARCOCHA (Larco & Paucar, 2017)
	PUNTOS DE MUESTREO		
	Centro	Orilla	
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2068	2294	591,45
Temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$)	19,2	19,5	23,2
pH	8,74	8,44	8,04
Oxígeno disuelto (mg/l)	8,07	9,79	7,56
% Oxígeno de saturación	116,9	145,5	115,21
Presión (mmHg)	753	745	-
Turbiedad (NTU)	45,3	52,3	28,4
Salinidad (ppm)	1	1,2	-

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Al tener condiciones climáticas similares, los parámetros analizados son parecidos, sin embargo, el oxígeno disuelto en la orilla es mayor con 9,79 mg/l y en el centro 8,07 mg/l, esto se debe a que en la orilla existe mayor cantidad de algas (Kwong., 2012), y el resultado de OD de la laguna de Yahuarcocha fue menor con un valor de 8,04 mg/l (Larco & Paucar, 2017), esto puede ser por la presencia abundante de algas en la laguna de Yambo; cabe recalcar que los parámetros analizados fueron con aguas superficiales.

La conductividad eléctrica en agua pura es baja y la conductividad de aguas contaminadas presenta valores entre 1000 y 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo tanto el resultado de la conductividad de la laguna en este monitoreo entra en el rango perteneciente a aguas contaminadas (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010; Pesantes & Ruiz, 2017). En comparación con la laguna de Yahuarcocha, Yambo tiene mayor conductividad como se observa en la Tabla 4.4, eso indica que Yambo tiene mayor concentración de Ca, Na, K, Mg, entre otros (Terneus, 2014).

La salinidad en los dos puntos monitoreados es similar, como se observa en la Tabla 4.4, éstos son bajos, ya que el agua de la laguna es dulce, además la salinidad interfiere a la presencia de OD ya que la presencia de sales disueltas en el agua reduce los espacios intermoleculares disponibles para la disolución del oxígeno (Peña & Chang, 2007).

La turbiedad se define con la transparencia del agua, depende de la presencia de material particulado o en suspensión en el agua, la presencia de algas es uno de los elementos que incide a la turbiedad del agua (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010), comparando la turbidez del centro y orilla de la laguna se observa que en la orilla existe mayor turbiedad, esto se debe a que en la orilla existe mayor presencia de material particulado proveniente de la erosión del suelo y también por la presencia de algas (Marín, 2003). La turbiedad de la Laguna de Yahuarcocha fue de 28,4 NTU, comparando con la laguna de Yambo tiene un valor menor, y esto se debe a que la laguna de Yambo posee mayor presencia algal.

La temperatura del agua en la laguna fue de 19,2 °C y 19,5 °C, en el centro y orilla respectivamente, se debe este valor al efecto que ejerce el viento sobre la masa de agua, y también por la radiación solar (Botero, 2010), este parámetro se considera para el crecimiento algal, debido a que crecen con una temperatura entre 10 a 35 °C la mayoría de las microalgas. (Grupo Cooperativo Cajamar, 2015). La temperatura del agua de la laguna de Yahuarcocha fue de 23,2°C, generalmente en la laguna de Yahuarcocha se tiene una temperatura ambiente mayor a la temperatura ambiente en la laguna de Yambo y eso influye en la temperatura del agua.

El agua de los lagos generalmente tiene un pH entre 6 y 8 (Restrepo, 2012), sin embargo, en este caso de estudio tiene un valor de pH de 8,74 y 8,44 en el centro y orilla respectivamente, esto se debe a la productividad algal, la respiración, la alcalinidad y composición iónica (Hernández & Labbé, 2014). Y comparando con la laguna de Yahuarcocha el resultado de pH es similar al de la laguna de Yambo con un valor de 8,04.

4.2.2 ANÁLISIS EN LABORATORIO

4.2.2.1 Monitoreo del inóculo del centro de la laguna

Los resultados del monitoreo se muestran en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Resultados de los parámetros físico-químicos 1ra etapa

Punto de muestreo	Agua proveniente del centro de la laguna
PARÁMETROS	TIEMPO
	Inicial
Nitritos (mg/l)	0,014
Nitratos (mg/l)	0,1
DQO (mg/l)	90
Fósforo total (mg/l)	2,22
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	0,23
Potasio (mg/l)	21,5
Hierro total (mg/l)	0,01
Alcalinidad total (mg/l)	865
Alcalinidad fenolftaleína (mg/l)	65
Dureza total (mg/l)	7,2
Dureza cálcica (mg/l)	3,2
Dureza magnésica (mg/l)	4
Sólidos totales (mg/l)	1,85
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	0,03
Color aparente (PtCo)	153
Color verdadero (PtCo)	23
Turbidez (NTU)	45,3

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Se realizó el análisis de la concentración de nutrientes (nitrógeno amoniacal, potasio, hierro total, nitratos, nitritos, fósforo), para verificar si se necesitaba añadir nutrientes al reactor, para que las algas pudieran reproducirse (Torres, Camberato, & López, 2013), los niveles de nutrientes en este caso solo fueron monitoreados una sola vez y los niveles fueron los que inicialmente se encontraron en condiciones naturales.

El resultado obtenido de la alcalinidad fue de 865 mg/l, esto se debe a una elevada actividad fotosintética que se produjo en el reactor, pero también por la presencia

de bicarbonatos que son los que contribuyen a la variación de alcalinidad, y están presentes cuando hay descargas de aguas residuales, o una gran actividad fotosintética (Espinosa & Rodríguez, 2016; López E. , 2016).

El valor de la dureza total ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$) es un parámetro importante ya que caracteriza si el agua es blanda o dura (Millán, Mathison, Alvares, & Jarbouh, 2003), en el caso de la orilla de la laguna tiene un valor de 7,2 mg/l de Dureza Total, es decir, es agua blanda de acuerdo a los rangos de dureza propuestos por Rodríguez (2009): (0-60) $\text{CaCO}_3/\text{mg/L}$ blanda, (61-120) $\text{CaCO}_3/\text{mg/L}$ moderadamente dura, (121-180) $\text{CaCO}_3/\text{mg/L}$ dura y >180 $\text{CaCO}_3/\text{mg/L}$ muy dura.

En esta etapa los sólidos totales dieron como resultado 1,85 mg/l, al pasar el tiempo los sólidos totales deberían aumentar por el incremento de la cantidad de fitoplancton, esto se puede apreciar en la segunda etapa de la experimentación ya que se monitoreó los sólidos durante cinco semanas, en las que se puede comparar el comportamiento de los sólidos (Pesantes & Ruiz, 2017).

El valor obtenido de color aparente fue de 153 PtCo, esto se debe a que existe presencia de algas, y el color verdadero fue de 23 PtCo, es porque se ha eliminado los sólidos en suspensión, que en este caso las algas (Marínez & Osorio, 2018).

El valor obtenido de turbidez en esta etapa fue de 45,3 NTU, esto se debe al material particulado proveniente de la erosión del suelo y también a la presencia de fitoplancton (algas) (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010). Comparando con la evaluación realizada por (Larco & Paucar, 2017) de la TT con plantas acuáticas, la turbidez del agua de los pequeños reactores donde se encontraban dichas plantas no superaban los 5 NTU, esto se debe a que en esta investigación la presencia de algas era abundante (Toro, 2011).

Con respecto a la Demanda Química de oxígeno el valor fue de 90 mg/l lo que significa que el agua está eutrofizada (García Z. , 2012). Esto se debe a que el agua de la laguna de Yambo presenta abundantes algas, y alto contenido de materia orgánica. Comparando la DQO de las lagunas de Yahuarcocha y Yambo, se

determina que la DQO es mayor en la de Yambo, ya que, en la laguna de Yahuarcocha se ha determinado una DQO aproximada de 59 mg/l en el muelle (Larco & Paucar, 2017), lo que significa que el agua de Yambo se encuentra en mayor estado eutrófico.

4.2.2.2 Monitoreo del inóculo de la orilla de la laguna

Se realizó el monitoreo de los parámetros mostrados en la Tabla 4.6, cada monitoreo se realizó por semana durante el proceso experimental.

Tabla 4.6. Resultados de los parámetros físico-químicos 2da etapa

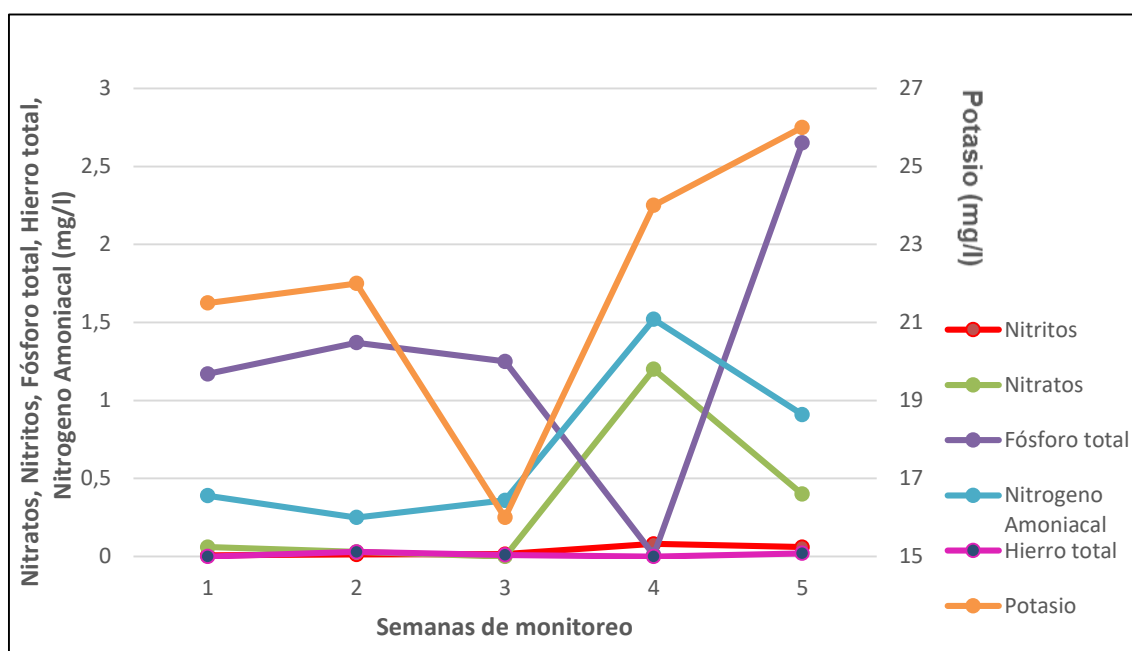
Punto de muestreo	Agua proveniente de la orilla de la laguna				
	TIEMPO				
	1ra Semana (27-Marzo- 2018)	2da Semana (3-Abril- 2018)	3ra Semana (10-Abril- 2018)	4ta Semana (23-Abril- 2018)	5ta Semana (2-Mayo- 2018)
Nitritos (mg/l)	0,007	0,013	0,015	0,081	0,06
Nitratos (mg/l)	0,06	0,03	0	1,2	0,4
Fósforo total (mg/l)	1,17	1,37	1,25	0,01	2,65
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	0,39	0,25	0,36	1,52	0,91
Potasio (mg/l)	21,5	22	16	24	26
Hierro total (mg/l)	0	0,03	0,01	0	0,02
DQO (mg/l)	110	113	115	147	141
Alcalinidad total (mg/l)	660	865	280	303	280
Alcalinidad fenolftaleína (mg/l)	30	31	50	60	72
Dureza total (mg/l)	5,2	3,36	4,6	6,94	7,36
Dureza cálcica (mg/l)	2,4	1,68	0,4	5,4	6,92
Dureza magnésica (mg/l)	2,8	1,68	4,2	1,54	0,44
Sólidos totales (mg/l)	1,93	1,75	2,29	2,02	1,66
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	0,19	0,16	0,14	2,64	2,59
Color aparente (PtCo)		151	366		441
Color verdadero (PtCo)		27	27	126	314
Turbidez (NTU)	171		147		

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

A continuación, se detalla la explicación de los resultados obtenidos de los diferentes parámetros de la Tabla 4.6.

Se realizó el monitoreo de la concentración de nutrientes (nitratos, nitritos, fósforo, nitrógeno amoniacal, potasio y hierro total) durante las 5 semanas monitoreadas, con el fin de tener en cuenta si el agua requería mayor cantidad de nutrientes para el funcionamiento del reactor, es decir asegurar que las algas tengan suficientes nutrientes para su multiplicación celular. En la Figura 4.1 se observa la variación que tuvieron los nutrientes cada semana; la presencia de hierro total fue casi nula durante todo el proceso experimental, en cuanto a los demás el comportamiento fue variado, las concentraciones de nutrientes incrementaban y disminuían, esto se debe a que una vez monitoreado, se procedía a añadir nutrientes por lo tanto la concentración disminuía cuando las algas consumían dichos nutrientes y se incrementaban al momento de añadir nutrientes al cultivo de algas.

Figura 4.1. Tendencia de los nutrientes

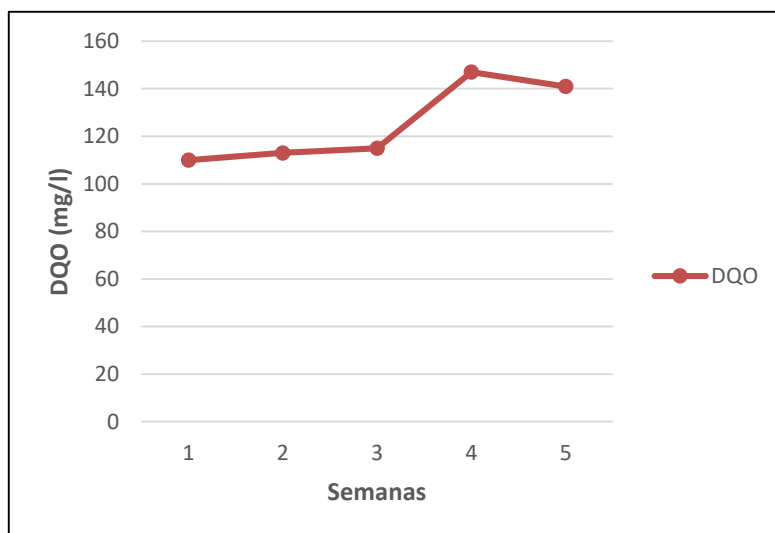


Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Los resultados de la demanda química de oxígeno van de forma ascendente, en la primera semana se obtuvo 110 mg/l, y en la quinta semana da 141 mg/l (Tabla 4.6), esto se debe al aumento del contenido de nutrientes, en la Figura 4.2 se muestra el comportamiento de la DQO. El inóculo proveniente de la laguna de Yambo ya

presentaba nutrientes, ya que esta laguna está en estado eutrófico por su alto contenido de materia orgánica y a su vez la presencia abundante de algas, y en la experimentación a este inóculo se le añadió una solución nutritiva para mantener un alto contenido de nutrientes en el agua.

Figura 4.2. Tendencia de la DQO vs Tiempo



Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

La alcalinidad total es el resultado de efectos dependientes de la actividad fotosintética, las algas al momento de realizar la fotosíntesis usan el CO_2 que está en forma libre en el agua, causando a su vez un aumento de pH, ya que al disminuir la cantidad de CO_2 disminuye la concentración del ion hidrógeno (Pesantes & Ruiz, 2017). Los bicarbonatos son los que contribuyen a la variación de alcalinidad, están presentes cuando hay gran actividad fotosintética o cuando hay descargas residuales en el cuerpo de agua (Espinosa & Rodríguez, 2016).

Tomando en cuenta los siguientes rangos de alcalinidad propuestos por Kerven: baja <75 mg/l media entre (75-150) mg/l y alta >150 mg/l (Kerven, 1989), los resultados obtenidos en esta etapa experimental están dentro del rango alto, en las semanas monitoreadas se obtuvo valores entre (280-865) mg/l, por lo tanto, se comprueba que existió alta actividad fotosintética en el reactor.

La dureza en esta etapa de la investigación varió entre (3,36 a 7,36) mg/l (Tabla 4.6) estando en el rango de interpretación de agua suave (Espinosa & Rodriguez, 2016). La dureza es una característica química que se determina por la presencia de Ca^{+2} y Mg^{+2} . Comparando los resultados de dureza realizados en la evaluación con plantas acuáticas el agua utilizada proveniente de la laguna de Yaguarcocha tiene un rango de dureza total baja no supera los 3,6 mg/l (Larco & Paucar, 2017) es decir la evaluación en las dos investigaciones tuvieron un resultado bajo con respecto a la dureza del agua.

Con el resultado de los sólidos totales también se puede concluir el crecimiento de fitoplancton ya que éstos tienen relación a la cantidad presente de algas (Cabrera & Pulla, 2014; Pesantes & Ruiz, 2017), en la Tabla 4.6 se observa que en la tercera semana existieron más sólidos totales, esto se debe a que las algas estaban en crecimiento exponencial, luego en la quinta semana los sólidos disminuyeron, seguramente el crecimiento de algas estaba en la fase estacionaria (Ayala, 2005).

La turbidez en esta etapa fue entre (147 a 171) NTU, mayor que la primera etapa que obtuvo un valor de 45,3 NTU, esto se debe a que en la orilla presenta mayor cantidad de partículas provenientes de la erosión del suelo y la presencia de mayor cantidad de fitoplancton, por ese motivo el agua pierde su transparencia (Toro, 2011; Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

4.3 RESULTADOS BIOLÓGICOS

4.3.1 TAXONOMIA DE LAS ALGAS EN EL REACTOR

En el reactor se identificó los siguientes géneros de algas:

Tabla 4.7. Identificación taxonómica

FILO	GÉNERO
CYANOBACTERIA	<i>Anabaenopsis</i>
	<i>Aphanocapsa</i>
	<i>Oscillatoria</i>
	<i>Pseudoanabaena</i>
OCHROPHYTA	<i>Nitzschia</i>
	<i>Mallomonas</i>

	<i>Synedra</i>
CHLOROPHYTA	<i>Actinastrum</i>

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

En la identificación taxonómica la que contiene mayor abundancia de géneros son las Cyanobacterias; se encontraron 4 géneros distintos de Cyanobacteria, 3 géneros de la Ochrophyta y 1 género de Chlorophyta (ANEXO 1). Los géneros identificados son los que generaron oxígeno dentro del reactor.

4.3.2 DENSIDAD DE ALGAS EN EL REACTOR

Se calculó la densidad algal con la fórmula (2), y los resultados se muestran en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Densidad de algas y número de células del reactor

TIEMPO (Semanas)	ORIGEN DEL INÓCULO			
	CENTRO DE LA LAGUNA		ORILLA DE LA LAGUNA	
	Densidad (células/ml)	Nº de células presentes en el reactor	Densidad (células/ml)	Nº de células presentes en el reactor
1ra	4.545,45	400.909.090,91	7.857,14	693.000.000,00
2da	15.605,26	1.376.384.210,53	12.138,89	1.070.650.000,00
3ra	-	-	14.965,99	1.320.000.000,00
4ta	-	-	15.763,16	1.390.310.526,32
5ta	-	-	13.277,78	1.171.100.000,00
MEDIA	10.075,36	MEDIA	12.800,59	

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Con el inóculo del agua del centro de la laguna de Yambo introducida al reactor, se monitoreó durante una semana, y se pudo evaluar dos densidades en las cuales se observa que el crecimiento algal fue en aumento, al inicio se obtuvo 4.545,45 células/ml y luego aumenta la densidad considerablemente a 15.605,26 células/ml.

Con respecto al inóculo proveniente del agua de la orilla de la laguna de Yambo, se monitoreó durante 5 semanas, por lo que se obtuvo 5 densidades, en estos resultados también se puede observar que la densidad algal va en aumento en el transcurso del tiempo, la primera densidad fue de 7.857,14 células/ml, la densidad

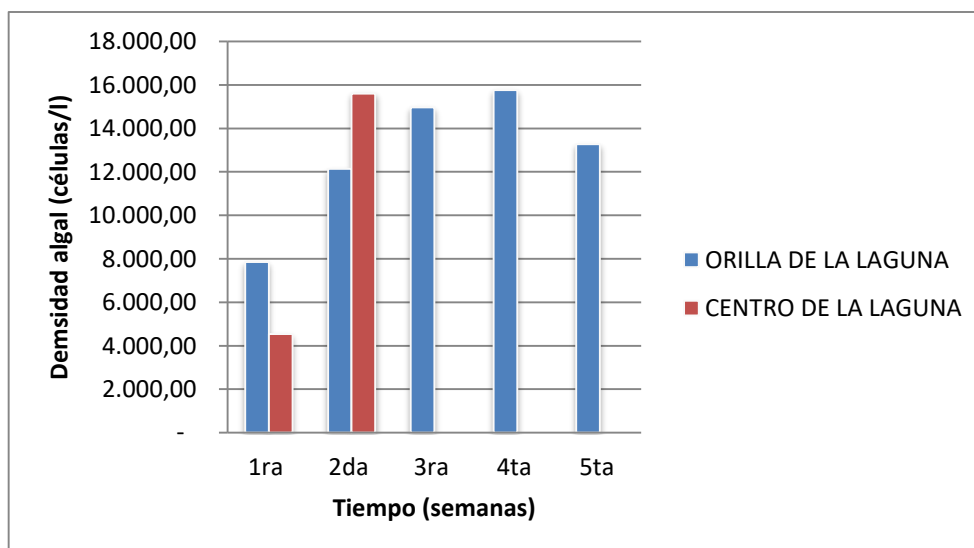
máxima en el monitoreo fue de 15.763,16 células/ml en la cuarta semana y en la última semana descendió a 13.277,78 células/ml.

La aceleración y desaceleración de crecimiento algal se debe a que existen tres fases de crecimiento, fase de inducción cuando las algas se han adaptado a las condiciones ambientales del sitio, fase de crecimiento exponencial cuando existe un crecimiento acelerado después de la aclimatación, y la fase estacionaria cuando existe limitación de nutrientes en el medio (FAO, 2006).

La multiplicación algal tiene importancia ya que, entre mayor cantidad, mayor producción de oxígeno en el medio acuático.

En la Figura 4.3 se puede observar de mejor manera el comportamiento que tuvieron las microalgas en el transcurso del tiempo durante el proceso experimental con los inóculos de agua introducidos al reactor proveniente del centro y orilla de la laguna de Yambo.

Figura 4.3. Densidad algal por cada semana de monitoreo.



Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

En la Tabla 4.9 se presenta el número de microalgas presentes en el reactor considerando la densidad algal promedio de las dos etapas experimentales.

Tabla 4.9. Número de microalgas en el volumen del reactor

ORIGEN DEL INÓCULO			
CENTRO DE LA LAGUNA			ORILLA DE LA LAGUNA
Densidad promedio (células/ml)	Nº de células presentes en el reactor	Densidad promedio (células/ml)	Nº de células presentes en el reactor
10.075,36	888.646.650,72	12.800,59	1.129.012.105,26

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Las microalgas son microscópicas, por lo tanto, se obtienen resultados de innumerables células presentes en el agua del reactor como se observa en la Tabla 4.9. Con esta comparación se determina que el número de algas con el inóculo de la orilla es mayor que el número de algas con el inóculo del centro de la laguna, por lo tanto, se obtuvo una mayor eficiencia de producción de oxígeno con el inóculo de la orilla de la laguna, ya que contiene mayor número de algas presentes en el reactor (Culebro, 2015).

4.3.2.1 Densidad de algas predominantes en el reactor

En la Tabla 4.10 se muestra la densidad algal y el número de microalgas de los géneros más predominantes presentes en el reactor durante el proceso experimental.

Tabla 4.10. Densidad de algas y número de células del género de alga dominante

TIEMPO (Semanas)	Filo/Género	ORIGEN DEL INÓCULO			
		CENTRO DE LA LAGUNA		ORILLA DE LA LAGUNA	
		Densidad (células/ml)	Nº de células presentes en el reactor	Densidad (células/ml)	Nº de células presentes en el reactor
1ra	FILO:	4.431,82	390.886.363,64	7.628,57	672.840.000,00
2da	Cyanobacteria	15.500,00	1.367.100.000,00	8.666,67	764.400.000,00
3ra	GÉNERO: Anabaenopsis	-	-	3.403,63	300.200.112,00
4ta	FILO:	-	-	10.236,84	902.889.473,68
5ta	Ochrophyta GÉNERO: Actinastrum	-	-	6.666,67	588.000.000,00

MEDIA	9.965,91	MEDIA	7.320,48
--------------	----------	--------------	----------

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Se calculó la densidad de las microalgas predominantes de cada semana monitoreada, en donde se encontró que las dominantes fueron la *Anabaenopsis*, y *Actinastrum*, esto quiere decir que los dos géneros brindaron la mayor cantidad de oxígeno al reactor, lo que facilita el tratamiento de aguas residuales proporcionando un ambiente favorable a las bacterias para que consuman la materia orgánica (Sardi, Peña, Madera, & Cerón, 2016).

Los géneros algales que se encuentran con frecuencia en sistemas fotosintéticos para tratamientos de aguas residuales son, *Actinastrum sp*, *Anabaenopsis sp*, *Desmodesmus sp*, *Micractinium sp*, *Pediastrum sp*, entre otros; en el presente estudio se encontraron géneros que pueden estar presentes en esos sistemas algales fotosintéticos como la *Anabaenopsis* y *Actinastrum* (Sardi, Peña, Madera, & Cerón, 2016).

4.4 CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO

Para el cálculo de la concentración de oxígeno disuelto se determinó la media aritmética de cada hora monitoreada por los días de duración del proceso experimental, este procedimiento se realizó con el monitoreo de las dos etapas, la primera con el inóculo de agua proveniente del centro de la laguna y la segunda etapa con el inóculo de la orilla.

Para esto se realizaron cálculos estadísticos, como la media aritmética, máximos, mínimos, varianza y desviación estándar ANEXO 2.

4.4.1 CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO CON EL INÓCULO DEL CENTRO DE LA LAGUNA

Se obtuvo los siguientes resultados de la concentración de oxígeno disuelto correspondiente a la primera etapa.

A continuación, se muestra la Tabla 4.11 con el resumen de los datos correspondientes a los 5 días monitoreados.

Tabla 4.11. Concentración de oxígeno disuelto 1ra etapa

Hora	OD (mg/l)	Desviación estándar
7:00	7,44	± 0,69
8:00	7,70	± 0,73
9:00	7,85	± 0,75
10:00	8,13	± 0,80
11:00	8,34	± 1,08
12:00	8,53	± 0,90
13:00	8,89	± 1,18
14:00	9,13	± 1,04
15:00	9,56	± 0,85
16:00	9,82	± 1,23
17:00	9,99	± 1,42
18:00	9,82	± 1,63
MEDIA	8,77	± 1,03
MÁXIMO	9,99	
MÍNIMO	7,44	

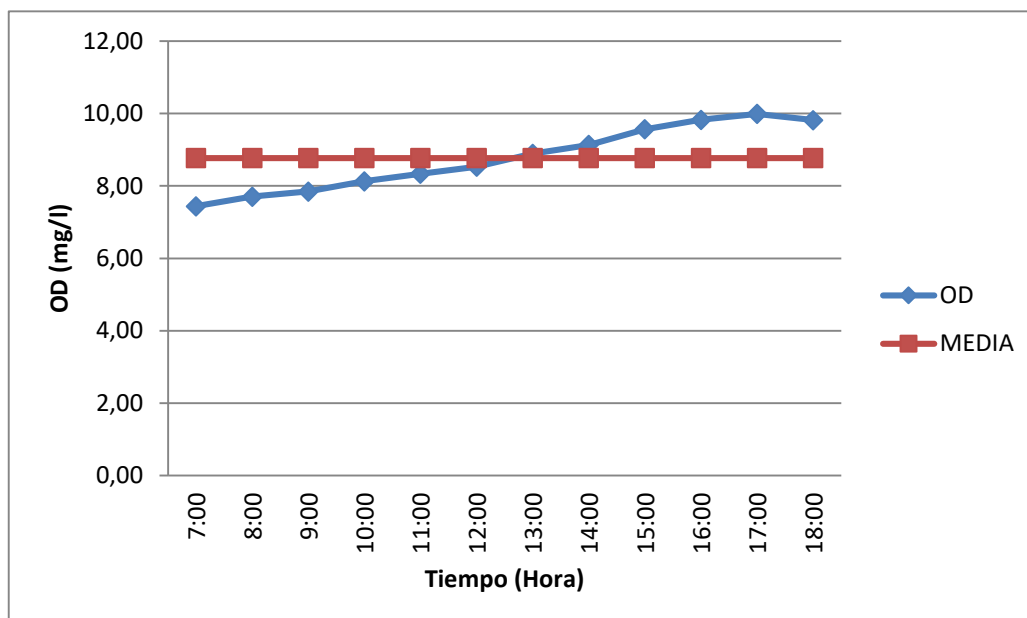
Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

El resultado de la media aritmética final de Oxígeno Disuelto fue 8,77 mg/l, además se calculó la desviación estándar utilizando los distintos valores de cada hora por todos los días monitoreados, la desviación estándar obtenida tiene valores similares y llega a tener un promedio de 1,03, además el valor máximo de oxígeno disuelto fue a las 17:00 pm con un valor de 9,99 mg/l y el valor mínimo de OD fue a las 7:00 am con un valor de 7,44 mg/l, el oxígeno disuelto va en aumento en el transcurso del día y se observa que a las 18:00 pm existe una leve disminución de oxígeno disuelto.

Este comportamiento de la producción de oxígeno durante el transcurso del día se debe al proceso fotosintético que realizaron las algas gracias a la luz solar, por ende, en la noche el oxígeno disminuye y al empezar el día se reactiva la producción de oxígeno (Muñoz & Aldás, 2017), por ese motivo la concentración de OD a las 7:00 am es la más baja durante los días monitoreados en esta investigación.

En la Figura 4.4 se puede observar el comportamiento general del OD que se ha obtenido de 7:00 am a 18:00 pm.

Figura 4.4. Concentración de oxígeno disuelto vs tiempo, primera etapa



Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

La producción de oxígeno con microalgas durante el día varió entre 7 y 10 mgO₂/l aumentando al transcurrir el día, comparando con los resultados de producción de oxígeno con plantas acuáticas se pudo observar que durante el día su producción fue entre 3 y 7 mgO₂/l (Larco & Paucar, 2017), por lo tanto, las algas son mejores productoras de oxígeno y más eficientes para tratamientos biológicos de aguas residuales (Muñoz, 2017).

4.4.1.1 Concentración de oxígeno disuelto por el género predominante

Se realizó el análisis tomando en cuenta el promedio de la densidad total de algas, el promedio de la densidad de algas del género predominante y el promedio del OD presente en el reactor durante los 5 días monitoreados para esta etapa experimental. El promedio de la densidad algal total fue 10.075,36 células/ml (Tabla 4.9) y la densidad algal del género predominante fue 9.965,91 células/ml (Tabla 4.10) y el promedio de OD fue de 8,77mg/l (Tabla 4.11).

Se realizó el cálculo del porcentaje de aportación de oxígeno por parte del género predominante en el reactor de la siguiente manera.

$$\% \text{ aportación de } O_2 \text{ por las algas predominantes} = \frac{\partial_{\text{alga predominante}} * 100\%}{\partial_{\text{algal total}}}$$

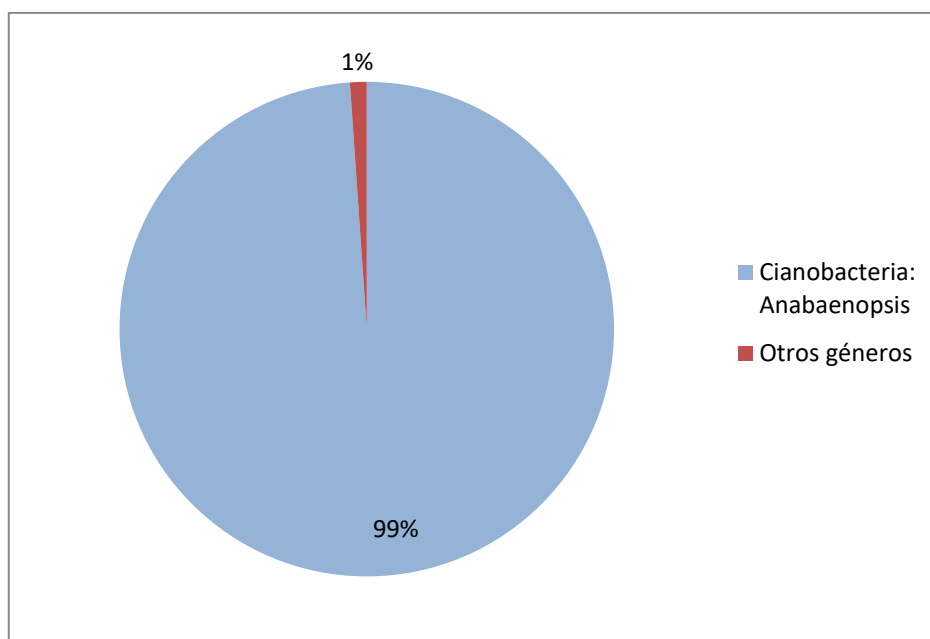
$$\% \text{ aportación de } O_2 \text{ Anabaenopsis} = \frac{\partial_{\text{alga anabaenopsis}} * 100\%}{\partial_{\text{algal total}}}$$

$$\% \text{aportación } O_2 \text{ Anabaenopsis} = \frac{9.965,91 \frac{\text{cel}}{\text{ml}} * 100\%}{10.075,36 \frac{\text{cel}}{\text{ml}}}$$

$$\% \text{aportación } O_2 \text{ Anabaenopsis} = 98,91 \%$$

Realizando la relación porcentual se obtuvo que el 98,91% del OD fue generado gracias al género predominante de algas, en este caso la *Anabaenopsis* (Cianobacteria). En la Figura 4.5 se aprecia que la *Anabaenopsis* genera la mayor parte de OD.

Figura 4.5. Porcentaje de aportación de OD por microalgas dominantes



Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Con el resultado del porcentaje de aportación de OD de la microalga dominante en esta etapa se calculó la concentración de oxígeno disuelto que ha producido dicha densidad de microalgas:

Ejemplo de cálculo: Si el promedio de OD fue de 8,77 mg/l, entonces la aportación de las microalgas *Anabaenopsis* fue de 8,67 mg/l ya que el porcentaje de aportación calculado fue del 98,91%.

$$OD_{Anabaenopsis} \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{98,91 \% * 8,77 \text{ mg/l}}{100 \%} = 8,67 \text{ mg/l}$$

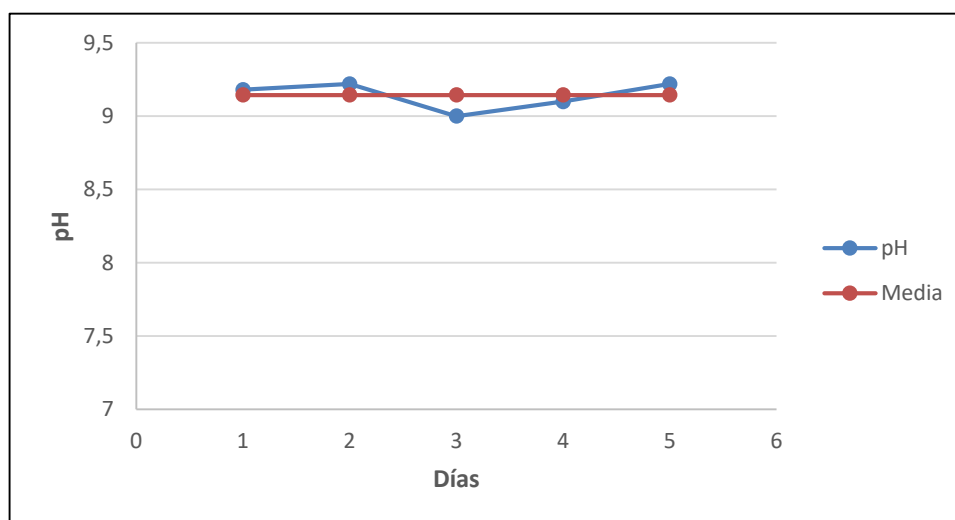
Existe un grupo de algas identificadas que suelen estar presentes en aguas contaminadas, una de las algas comunes presentes en esas aguas es el género *Anabaenopsis* que se encuentra en el grupo de algas verde-azules o cianobacterias (Palmer, 1962). Existen varios estudios realizados a cuerpos de agua contaminados donde se determinó la presencia abundante de *Anabaenopsis*, con lo cual se puede comprobar que este género de alga es viable para introducir a

sistemas de tratamiento biológicos, por su alta capacidad de adaptación a medios con alta tasa de materia orgánica (Comas & Moreira, 2016; Mancera, 1994).

4.4.1.2 Factores relacionados al oxígeno disuelto

- El potencial de hidrógeno fue monitoreado diariamente, es uno de los parámetros que indica que está sucediendo la actividad fotosintética (Guamán & González, 2016). En la Figura 4.6 se muestra el resultado del potencial de hidrógeno durante los 5 días monitoreados y se visualiza el promedio. Durante la evaluación se obtuvo un pH similar durante todos los días, el promedio durante los 5 días monitoreados fue de 9,14 por lo tanto el pH se mantiene entre 9 y 10, esto significa que el medio acuático se encuentra en óptimos niveles de pH para el crecimiento algal, el pH aumenta debido a la acumulación de minerales y la oxidación de nutrientes. Se ha determinado que los rangos de pH en los cultivos de algas están entre 8 y 10 (Forero, 2013). El pH tiene relación indirecta con respecto a la producción de oxígeno, ya que es un parámetro que incide a la velocidad de crecimiento de las algas, y la producción de oxígeno depende directamente de la cantidad de algas presente en el medio.

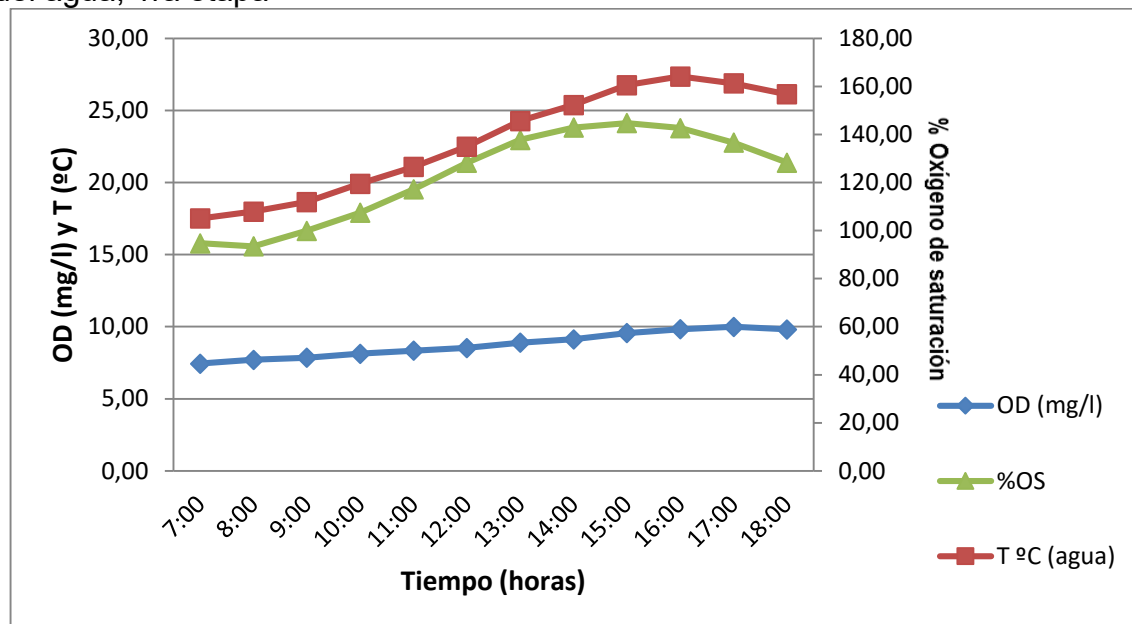
Figura 4.6. Resultados del pH vs Tiempo 1ra etapa



Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

- La temperatura es una variable que incide a la concentración de oxígeno disuelto, generalmente la concentración de oxígeno es inversamente proporcional a la temperatura del agua, sin embargo, la presencia de oxígeno puede ser afectado por procesos de fotosíntesis en el medio acuático (Lenntech, 2018). En la Figura 4.7 se muestra el comportamiento del OD y la temperatura del agua para observar la relación que tienen entre sí en esta investigación, el resultado que se obtuvo fue que mientras aumentaba la temperatura aumentaba el oxígeno disuelto en el transcurso del día, esto se debe a la cantidad de algas presentes en el reactor, al transcurrir el día existe mayor radiación solar por lo tanto se acelera los procesos fotosintéticos que realizan las algas generando oxígeno en el medio (Kwong., 2012).
- El porcentaje de oxígeno de saturación depende de la presión atmosférica, temperatura y OD presente en el medio, por lo tanto, va a tener tendencia similar a la del OD durante el día (González, 2011). En la Figura 4.7 se muestra la tendencia del OD, temperatura y porcentaje de oxígeno de saturación durante las 7:00 am hasta las 18:00 pm y se observa que los tres parámetros van aumentando en el transcurso del día por lo tanto el OD depende de las condiciones de temperatura, y el porcentaje de oxígeno de saturación tiene relación directa con el oxígeno disuelto.

Figura 4.7. Relación entre Oxígeno disuelto, % oxígeno saturación y temperatura del agua, 1ra etapa



Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Para determinar la tendencia de la temperatura y porcentaje de oxígeno de saturación se realizó un análisis estadístico, como se observa en el ANEXO 2.

4.4.2 CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO CON EL INÓCULO DE LA ORILLA DE LA LAGUNA

En esta etapa, se monitoreó el reactor con el inóculo de la orilla de la laguna por más tiempo que la anterior etapa, es decir que el análisis estadístico fue realizado con mayor cantidad de datos. Los resultados mostrados en la Tabla 4.12 de OD son los resultados obtenidos de la media aritmética de los 17 días monitoreados por cada hora, por ejemplo, todos los datos de las 7:00 am fueron tomados en cuenta para realizar el promedio de los 17 datos y así para todas las horas tomando en cuenta que el monitoreo se realizó de 7:00 am a 18:00 pm, el análisis estadístico se encuentra en el ANEXO 2.

Tabla 4.12. Resumen del promedio del Oxígeno disuelto, segunda etapa

Hora	OD (mg/l)	Desviación estándar
7:00	12,61	± 3,67
8:00	13,18	± 3,82
9:00	13,83	± 4,11
10:00	14,14	± 3,76
11:00	14,70	± 3,74
12:00	15,10	± 3,74
13:00	15,71	± 3,87
14:00	15,47	± 3,02
15:00	16,62	± 4,16
16:00	16,86	± 3,45
17:00	16,95	± 3,59
18:00	15,51	± 5,29
MEDIA	15,06	± 3,85
MÁXIMO	16,95	
MÍNIMO	12,61	

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

El oxígeno disuelto tiene un comportamiento ascendente durante el transcurso del día, el valor máximo se obtuvo a las 17:00 pm con un valor de 16,95 mg/l y el valor mínimo a las 7:00 am con un valor de 12,61 mg/l y se observa que a las 18:00 pm empieza a descender la concentración de OD, este comportamiento está relacionado al proceso fotosintético que realizan las algas durante la presencia de luz solar, por lo tanto, las microalgas dejan de realizar la fotosíntesis en la noche y de producir oxígeno, consumiendo el oxígeno acumulado durante el día pero la producción es mayor que el consumo de O₂, y en las primeras horas de la mañana al aumentar la intensidad del sol aumenta la actividad fotosintética y la producción de oxígeno (Kwong., 2012).

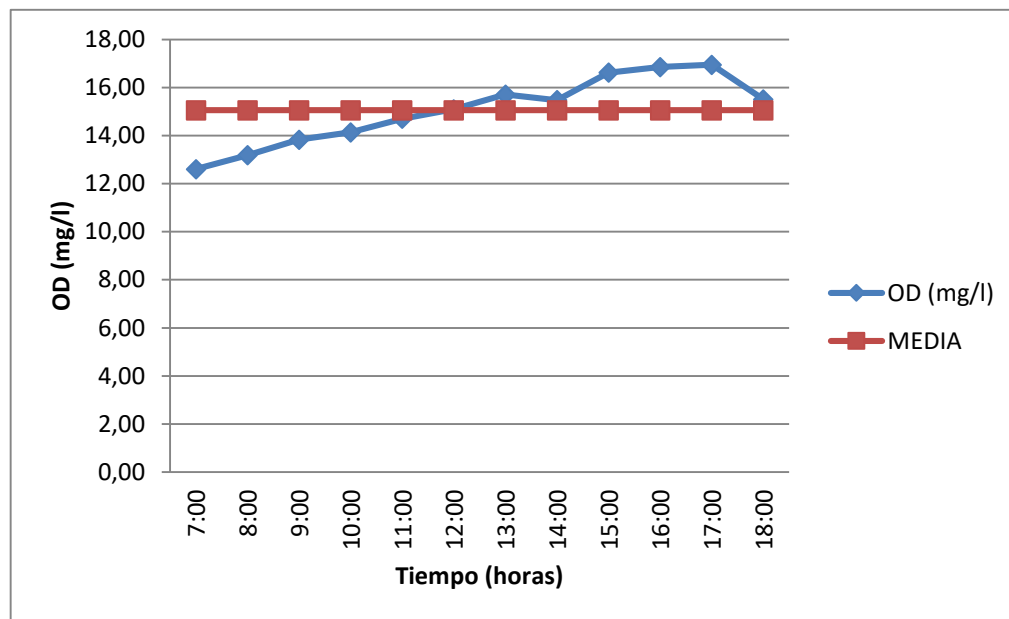
La generación de oxígeno fue tan alta que en la noche se mantuvo con una concentración elevada de OD, a las horas de la madrugada los valores de OD bajaron, pero nunca hasta tener una concentración nula de OD.

La media aritmética del OD en esta etapa tiene un valor de 15,06 mg/l, este valor es importante para el cálculo de la tasa de transferencia de oxígeno (Muñoz, 2017). La desviación estándar muestra la variabilidad o dispersión de los datos, en esta ocasión la desviación estándar promedio es de 3,85 lo que quiere decir que la

variabilidad de los valores de OD por cada hora son similares para todas las horas como se muestra en la Tabla 4.12.

En la Figura 4.8 se muestra de mejor manera el comportamiento el OD durante el día.

Figura 4.8. Concentración de oxígeno disuelto vs tiempo 2da Etapa



Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

La producción de oxígeno con microalgas en el monitoreo de esta etapa varió entre 12 y 17 mgO₂/l aumentando al transcurrir el día, comparando con los resultados de producción de oxígeno con plantas acuáticas se pudo observar que durante el día su producción fue entre 3 y 7 mgO₂/l (Larco & Paucar, 2017), por lo tanto las algas son mejores productoras de oxígeno y más eficientes para tratamientos biológicos de aguas residuales (Muñoz, 2017) debido a que la cantidad de producción de oxígeno es considerablemente superior a la producción que brindan las plantas acuáticas.

4.4.2.1 Concentración de oxígeno disuelto, por la especie predominante

Para encontrar la concentración de oxígeno disuelto por la especie predominante para esta etapa se consideró el oxígeno disuelto, la densidad total y el promedio de las densidades de los dos géneros predominantes. La concentración de oxígeno disuelto fue de 15,06 mg/l, la densidad total o general es de 12.800,59 cel/ml (Tabla 4.9), y las densidades de los dos géneros de microalgas se muestra en la Tabla 4.13:

Tabla 4.13. Densidad algas dominantes 2da etapa

GÉNERO	Densidad (células/ml)
<i>Anabaenopsis</i>	3.939,77
<i>Actinastrum</i>	3.380,70

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Se calculó el porcentaje de aportación de oxígeno de cada especie predominante de la siguiente manera:

$$\% \text{ aportación de } O_2 \text{ por las algas predominantes} = \frac{\partial_{\text{alga predominante}} * 100\%}{\partial_{\text{algal total}}}$$

$$\% \text{Aportación } O_2_{\text{Anabaenopsis}} = \frac{3.939,77 \frac{\text{cel}}{\text{ml}} * 100\%}{12.800,59 \frac{\text{cel}}{\text{ml}}} = 30,78 \%$$

$$\% \text{Aportación } O_2_{\text{Actinastrum}} = \frac{3.380,70 \frac{\text{cel}}{\text{ml}} * 100\%}{12.800,59 \frac{\text{cel}}{\text{ml}}} = 26,41\%$$

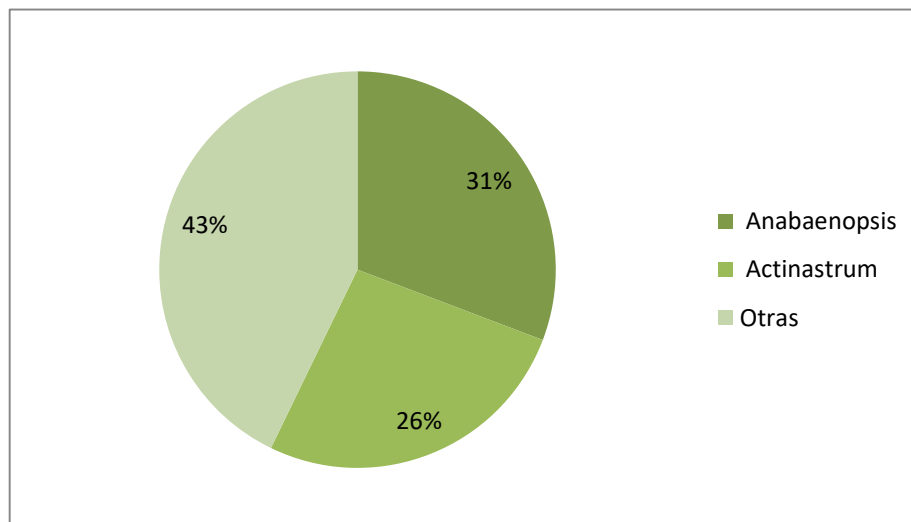
Se realizó una relación porcentual tomando en cuenta el porcentaje de aportación de cada género y la concentración de oxígeno disuelto total, para determinar el OD producido por cada género en mg/l.

$$OD_{Anabaenopsis} = \frac{15,06 \frac{mg}{l} * 38,78\%}{100\%} = 5,56 \frac{mg}{l}$$

$$OD_{Actinastrum} = \frac{15,06 \frac{mg}{l} * 26,41\%}{100\%} = 4,77 \frac{mg}{l}$$

En la Figura 4.9 se representa de mejor manera el porcentaje de aportación de OD en el reactor del género *Anabaenopsis*, *Actinastrum* y otros. Se muestra que entre los dos géneros dominantes producen más del 50% de OD en el reactor.

Figura 4.9. Porcentaje de producción de OD del género predominante 2da Etapa



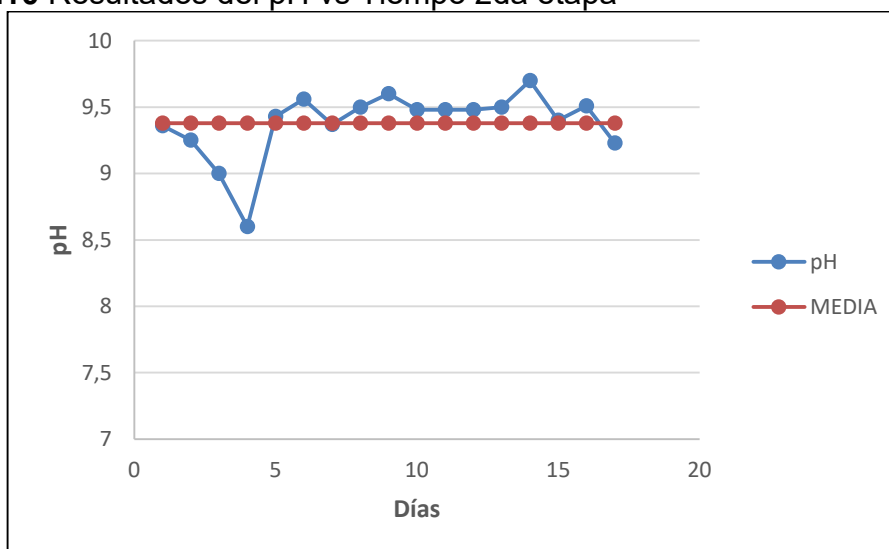
Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Anteriormente se ha mencionado que la *Anabaenopsis* es uno de los géneros que se encuentran en aguas contaminadas, según estudios realizados, se ha determinado también que la *Actinastrum* es un género que se encuentra con frecuencia en los sistemas de tratamientos biológicos de aguas contaminadas (Sardi, Peña, Madera, & Cerón, 2016).

4.4.2.2 Factores relacionados al oxígeno disuelto

El potencial de hidrógeno en esta etapa fue monitoreado por 17 días, en la Figura 4.10 se muestra el resultado de este monitoreo, además se observa la media o promedio determinado a partir de los 17 datos de los 17 días. Durante los días monitoreados el pH se mantuvo en un rango de 8 a 10, estos valores indican una actividad fotosintética (Guamán & González, 2016) y el valor promedio determinado fue de 9,38. En algunos estudios han determinado que el pH presente en cultivos de algas se encuentra entre 8 y 10 (Forero, 2013), es decir que el pH que presentó el agua del reactor fue óptimo para el crecimiento de las microalgas; si el pH no es óptimo afectará a la producción de oxígeno, ya que entre mayor crecimiento algal mayor presencia de OD en el medio acuático (Guamán & González, 2016).

Figura 4.10 Resultados del pH vs Tiempo 2da etapa



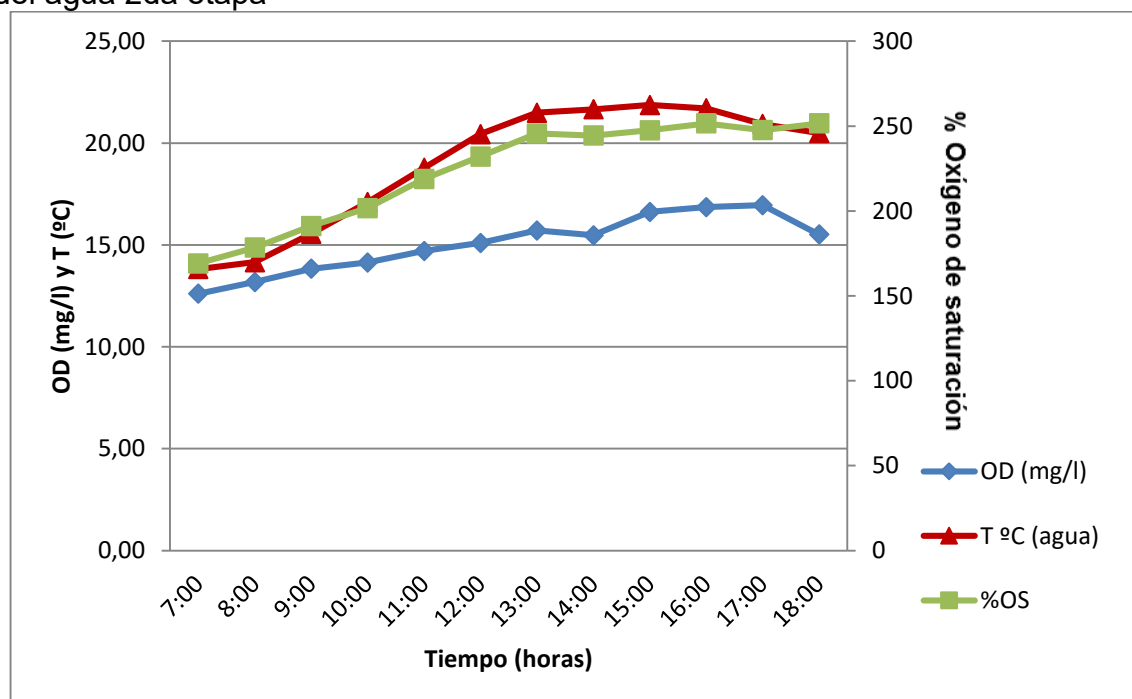
Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

- La temperatura del agua en esta investigación aumenta en el transcurso del día como se observa en la Figura 4.10, aumenta debido a la radiación solar que se intensifica al pasar las horas del día y disminuye cuando el sol se oculta. La temperatura es un parámetro que se considera en el crecimiento algal, la mayoría de las microalgas crecen con una temperatura entre 10 a 35°C (Grupo Cooperativo Cajamar, 2015), por lo tanto, si se tiene un

crecimiento adecuado de algas se obtiene alta producción de oxígeno gracias al proceso fotosintético. El rango de temperatura en este monitoreo fue entre 12 y 21 °C, por lo tanto, se encuentra en el rango óptimo para el crecimiento algal, en la Figura 4.10 también se observa la relación que tiene la temperatura con el OD, es decir, mientras aumenta la temperatura aumenta el oxígeno disuelto.

- El porcentaje de oxígeno de saturación varía dependiendo de las variables de temperatura, oxígeno disuelto y presión atmosférica (González, 2011), en la Figura 4.11 se observa la tendencia similar durante el día de 7:00 am a 18:00 pm del %OS, OD y temperatura. El porcentaje de oxígeno de saturación va en aumento durante el día ya que la temperatura y OD se incrementa como se había mencionado en los puntos anteriores.

Figura 4.11. Relación entre Oxígeno disuelto, % oxígeno saturación y temperatura del agua 2da etapa



Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Para determinar la tendencia de la temperatura y porcentaje de oxígeno de saturación se realizó un análisis estadístico que se observa en el ANEXO 2.

4.5 TASA DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO (TT)

Para determinar la tasa de transferencia de oxígeno (TT) se utilizó la fórmula (3).

Se calculó la Tasa de Transferencia (TT), de la primera y segunda etapa, es decir con el inóculo de agua proveniente del centro y la orilla de la laguna respectivamente, además se calculó la TT de los géneros de algas predominantes de cada etapa.

Para el cálculo de la TT se utilizó la media de la concentración de oxígeno disuelto, el volumen de agua presente en el reactor, área superficial y el tiempo de producción de O₂.

4.5.1 TASA DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO (TT) DE LA PRIMERA ETAPA

Para el cálculo de la TT en esta etapa se utilizaron los datos mostrados en la Tabla 4.14, la concentración de oxígeno fue el resultado promedio de los 5 días monitoreados de 7:00 am a 18:00 pm, el volumen y el área superficial del reactor fue calculado con las dimensiones del diseño y el tiempo de producción de oxígeno se determinó tomando en cuenta el proceso fotosintético que se presenta durante el día alrededor de 12 horas en presencia de la luz solar (Pérez, 2009).

Tabla 4.14. Datos para el cálculo de la tasa de transferencia 1ra etapa

Características del reactor y concentración de oxígeno	1ra Etapa experimental
	Inóculo centro
Concentración de Oxígeno (mg/l)	8,77
Volumen de Agua presente en el reactor (L)	88,2
Área superficial del reactor (m ²)	0,196
Tiempo de producción de oxígeno (horas)	12

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Se calculó la TT utilizando los datos de la Tabla 4.14, expresado en $\frac{kgO_2}{ha*dia}$ de la siguiente manera:

$$TT = \frac{C * V}{T * A}$$

$$TT = \frac{8,77 \frac{mgO_2}{l} * 88,2l}{12h * 0,196m^2} * \frac{1kgO_2}{10^6mgO_2} * \frac{24h}{1 \text{ día}} * \frac{10^4m^2}{1ha}$$

$$TT = 78,93 \frac{kgO_2}{ha * día}$$

Con este resultado se puede expresar que $8,88 * 10^8$ microalgas presentes en 88,2 litros en el reactor (Tabla 4.9) transfieren $78,93 \frac{kgO_2}{ha * día}$.

Comparando con resultados obtenidos de estudios sobre la evaluación de la tasa de transferencia de oxígeno con plantas acuáticas, se ha determinado que la TT obtenida en esta investigación es mayor, excepto con la planta *Myriophyllum aquaticum*, esto se debe a que esta planta utiliza menor área superficial por lo tanto se puede implementar mayor número de plantas (Larco & Paucar, 2017). En la Tabla 4.15 se puede observar dicha comparación.

Tabla 4.15. Comparación de la TT con algas y plantas acuáticas

ALGAS: GÉNERO	TT (gO ₂ /m ² *día)	PLANTAS ACUATICAS (Larco & Paucar, 2017): GÉNERO	TT (gO ₂ /m ² *día)
	1ra Etapa		
<i>Anabaenopsis</i>	7,89	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	12,11
<i>Aphanocapsa</i>		<i>Eichornia crassipes</i>	5,58
<i>Oscillatoria</i>		<i>Typha domingensis</i>	2,34
<i>Pseudoanabaena</i>		<i>Schoenoplectus californicus</i>	3,13
<i>Nitzschia</i>			
<i>Mallomonas</i>			
<i>Synedra</i>			
<i>Actinastrum</i>			

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

La TT en esta investigación fue evaluada en presencia de 8 géneros de algas como se observa en la Tabla 4.15, mientras que la TT evaluada con plantas acuáticas se presenta por cada género de planta.

4.5.2.1 Tasa de transferencia de oxígeno de los géneros predominantes

Para determinar la tasa de transferencia se ha tomado en cuenta la cantidad de oxígeno producido solamente de la microalga dominante, se utilizó la fórmula (3) y los mismos datos sobre las características del reactor, la diferencia está en la concentración de oxígeno, ese dato fue calculado anteriormente dando como resultado 8,67 mgO₂/l producto de la microalga *Anabaenopsis*. En la Tabla 4.16 se muestran los datos utilizados para el cálculo de la tasa de transferencia de oxígeno.

Tabla 4.16. Datos para la tasa de transferencia con las especies predominantes 1ra etapa

Características del reactor y concentración de oxígeno	Origen del inóculo
	Centro
Géneros	<i>Anabaenopsis</i>
Concentración de Oxígeno (mg/l)	8,67
Volumen de Agua presente en el reactor (L)	88,2
Área superficial del reactor (m ²)	0,196
Tiempo de producción (horas)	12

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

El resultado de la tasa de transferencia de oxígeno por el género *Anabaenopsis* se calculó de la siguiente manera:

$$TT = \frac{C * V}{T * A}$$

$$TT_{Anabaenopsis} = \frac{8,67 \frac{mgO_2}{l} * 88,2l}{12h * 0,196m^2} * \frac{1kgO_2}{10^6mgO_2} * \frac{24h}{1 \text{ día}} * \frac{10^4m^2}{1ha}$$

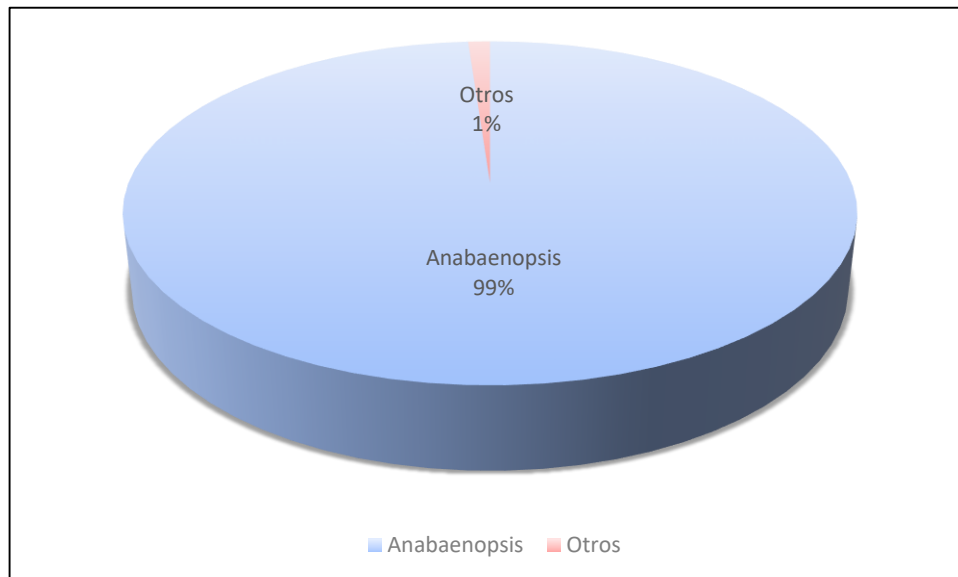
$$TT_{Anabaenopsis} = 78,03 \frac{kgO_2}{ha * \text{ día}}$$

En esta investigación el género *Anabaenopsis* es aquel que transfirió mayor cantidad de oxígeno al medio acuático, teniendo una densidad algal del género dominante de 9.965,91 células/ml (Tabla 4.10).

Se representó gráficamente los resultados de la tasa de transferencia de oxígeno en porcentaje, la Figura 4.12 representa el porcentaje de la TT generada por

Anabaenopsis con un 99% y el 1% restante es la TT generada por los demás géneros de algas, esto significa que la mayor parte de oxígeno fue brindado por el género *Anabaenopsis* por su alta densidad algal presente en el agua del reactor.

Figura 4.12. % TT por género de alga 1ra etapa



Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

4.5.2 TASA DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO (TT) DE LA SEGUNDA ETAPA

Para el cálculo de la TT en esta etapa se utilizó la fórmula (3) y los mismos datos sobre las características del reactor (volumen y área superficial) y la concentración de oxígeno fue el resultado promedio de los 17 días monitoreados de 7:00 am a 18:00 pm, y el tiempo de producción de oxígeno se determinó tomando en cuenta el proceso fotosintético que se presenta durante el día alrededor de 12 horas en presencia de la luz solar (Pérez, 2009; Muñoz, 2017).

Los datos para el cálculo de la TT se muestran en la Tabla 4.14:

Tabla 4.17. Datos para la tasa de transferencia 2da etapa

Características del reactor y concentración de oxígeno	Origen del inóculo
	Orilla
Concentración de Oxígeno (mg/l)	15,06
Volumen de Agua presente en el reactor (L)	88,2
Área superficial del reactor (m ²)	0,196
Tiempo de producción (horas)	12

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Se calculó la TT utilizando los datos de la Tabla 4.17, expresado en $\frac{kgO_2}{ha*día}$ de la siguiente manera:

$$TT = \frac{C * V}{T * A}$$

$$TT = \frac{15,06 \frac{mgO_2}{l} * 88,2l}{12h * 0,196m^2} * \frac{1kgO_2}{10^6mgO_2} * \frac{24h}{1 día} * \frac{10^4m^2}{1ha}$$

$$TT = 135,54 \frac{kgO_2}{ha * día}$$

Con este resultado se puede expresar que $1,13*10^9$ microalgas presentes en el reactor con 88,2 litros de agua (Tabla 4.9) transfieren $135,54 \frac{kgO_2}{ha*día}$.

Comparando con resultados obtenidos de estudios sobre la evaluación de la tasa de transferencia de oxígeno con plantas acuáticas, se ha determinado que la TT obtenida en esta etapa de investigación es mayor, es decir las algas son más eficientes en producción de oxígeno que las plantas acuáticas, en la Tabla 4.18 se muestra la comparación de la evaluación de la TT con algas y plantas acuáticas, y claramente la tasa de transferencia oxígeno supera a los resultados de las diferentes plantas acuáticas estudiadas.

Tabla 4.18. Comparación de la TT con algas y plantas acuáticas 2da etapa

ALGAS: GÉNERO	TT (gO ₂ /m ² *día)	PLANTAS ACUATICAS (Larco & Paucar, 2017): GÉNERO	TT (gO ₂ /m ² *día)
	2da Etapa		
<i>Anabaenopsis</i>	13,55	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	12,11
<i>Aphanocapsa</i>		<i>Eichornia crassipes</i>	5,58

<i>Oscillatoria</i>		<i>Typha domingensis</i>	2,34
<i>Pseudoanabaena</i>		<i>Schoenoplectus californicus</i>	3,13
<i>Nitzschia</i>			
<i>Mallomonas</i>			
<i>Synedra</i>			
<i>Actinastrum</i>			

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

4.5.2.1 Tasa de transferencia de oxígeno de los géneros predominantes

Para determinar la tasa de transferencia de oxígeno en este caso se ha tomado en cuenta la cantidad de oxígeno producido solamente de las microalgas dominantes en esta etapa de evaluación, se utilizó la fórmula (3) y los mismos datos sobre las características del reactor, la diferencia está en el resultado de la concentración de oxígeno, ya que se ha calculado el OD de los géneros dominantes presentes en el agua del reactor, en la Tabla 4.19 se muestra los datos necesarios para determinar la TT de cada género predominante.

Tabla 4.19. Datos para la tasa de transferencia por las especies predominantes 2da etapa

Características del reactor y concentración de oxígeno	Origen del inóculo	
	<i>Anabaenopsis</i>	<i>Actinastrum</i>
Géneros		
Concentración de Oxígeno (mg/l)	5,56	4,77
Volumen de Agua presente en el reactor (L)	88,2	
Área superficial del reactor (m ²)	0,196	
Tiempo de producción (horas)	12	

Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

Los resultados de la tasa de transferencia de oxígeno por los géneros *Anabaenopsis* y *Actinastrum* en esta etapa se calcularon de la siguiente manera:

$$TT_{Anabaenopsis} = \frac{C * V}{T * A}$$

$$TT_{Anabaenopsis} = \frac{5,56 \frac{mgO_2}{l} * 88,2l}{12h * 0,196m^2} * \frac{1kgO_2}{10^6mgO_2} * \frac{24h}{1 \text{ día}} * \frac{10^4m^2}{1ha}$$

$$TT_{Anabaenopsis} = 50,04 \frac{kgO_2}{ha * día}$$

$$TT_{Actinastrum} = \frac{C * V}{T * A}$$

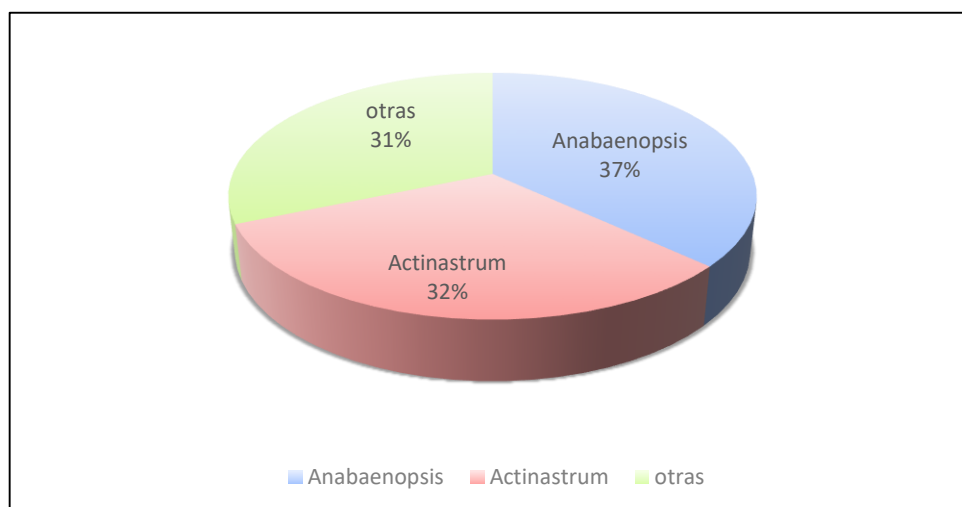
$$TT_{Actinastrum} = \frac{4,77 \frac{mgO_2}{l} * 88,2l}{12h * 0,196m^2} * \frac{1kgO_2}{10^6mgO_2} * \frac{24h}{1 día} * \frac{10^4m^2}{1ha}$$

$$TT_{Actinastrum} = 42,93 \frac{kgO_2}{ha * día}$$

Los resultados representan la cantidad de oxígeno que aportan los géneros dominantes *Anabaenopsis* y *Actinastrum* en esta etapa.

La Figura 4.13 representa la tasa de transferencia de oxígeno en porcentaje correspondiente a los géneros de algas predominantes y el resto que representa a los demás géneros que estuvieron presentes en el reactor. Como resultado se observa que la *Anabaenopsis* brinda un mayor porcentaje de TT en relación a los demás géneros con un 37%, la *Actinastrum* brinda un porcentaje de 32% y los demás géneros un 31%. Entre los dos géneros dominantes suma un porcentaje mayor al 50%, lo que significa que estas dos microalgas brindaron mayor cantidad de oxígeno al agua del reactor (FAO, 2006).

Figura 4.13 % TT por género de alga 2da etapa



Elaboración: William Sampedro y Stefany Revelo

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La tasa de transferencia de oxígeno producido por algas en el reactor aerobio en la primera y segunda etapa alcanzó una producción de $79,93 \frac{kgO_2}{ha \cdot día}$ y $135,54 \frac{kgO_2}{ha \cdot día}$ respectivamente, un valor adecuado para la aplicación de algas en tratamientos biológicos para aguas residuales.
- La concentración de nutrientes presentes en el reactor fue suficiente para el crecimiento de algas y por ende una generación de oxígeno proveniente de una densidad abundante de algas en el reactor aerobio.
- Con la solución nutritiva Organic Grow utilizada para alimentar o proporcionar mayor cantidad de nutrientes al inóculo de agua con algas proveniente de la laguna de Yambo, se logró mantener una densidad adecuada de algas para el monitoreo del OD, pH y temperatura.
- Introduciendo los nutrientes necesarios se logró obtener con éxito los datos de los parámetros y variables como son el OD, pH y temperatura del agua del reactor, obteniendo principalmente una producción de oxígeno en aumento al transcurrir las horas del día y al transcurrir los días durante la investigación.
- Considerando el factor climático de la ciudad de Quito, los géneros de algas dominantes que se aclimataron de mejor manera fueron la *Anabaenopsis* y *Actinastrum*, por lo tanto, estas son las que proporcionaron mayor oxígeno al reactor aerobio y son aptas para aplicaciones en tratamientos biológicos de aguas residuales en la ciudad de Quito.
- Las algas son mejores productoras de oxígeno que las plantas acuáticas, por lo tanto, la eficiencia de la tasa de transferencia de oxígeno es mayor, concluyendo que las lagunas de estabilización con algas son mejor

alternativa que el uso de humedales con plantas acuáticas para el tratamiento de aguas contaminadas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para implementar el tratamiento biológico con algas se debe tomar en cuenta la concentración de la carga orgánica, ya que el sistema podría fallar si sobrepasa la capacidad de suministro de O₂ por las algas.
- Si existe un exagerado crecimiento algal se recomienda cosechar dichas algas que pueden servir como biomasa para fines comerciales, por ejemplo, para usos de alimentación animal, biocombustibles, entre otros.
- Para evitar la estratificación en lagunas de estabilización, generada por exceso de radiación solar y crecimiento de algas, se debe propiciar la mayor mezcla posible en el sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, M., & Gallardo, T. (2000). *Una revisión sobre la biotecnología de las algas. Bot. Complutensis. Universidad complutense, 10-20.*
- APHA. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washintgon: American Public Health Association .*
- Ayala, M. (2005). *Evaluación preliminar de la remoción de sólidos suspendidos en el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arauca. Arauca: Universidad Nacional de Colombia.*
- Barsanti, L., & Gualtieri, P. (2014). *Algae, Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology. Pisa, Italy: CRC Press is an imprint of Taylor & Frances Group an Informa business.*
- Bertrán, C., Fernández, A., Fernández, E., & Hernández, E. (2010). *H2O Elixir de vida. Elementalwatson, 5-17.*
- Botero, R. R. (2010). *IMPORTANCIA DEL CICLO DIARIO DE LA TEMPERATURA DE LOS . Bogota: Universidad Nacional de Colombia.*
- Burgasí, D., & Cayo, T. (2016). *Diagnóstico ambiental del ecosistema de la laguna de Yambo, cantón Salcedo, provincia Cotopaxi, período 2015. Tesis de Grado. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.*
- Cabrera , M. A., & Pulla, M. F. (2014). *Linea Base para el Aprovechamiento de Microalgas de Sistemas de Tratamiento de Agua Residual (tesis de pregrado). Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.*
- Candela, R. (2016). *Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica(Tesis de pregrado). Bucaramanga: Universidad Nacional Abierta y a Distancia Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente.*
- Castañeda, A., & Flores, H. (2013). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. Paakat: Revista de tecnología y sociedad, 4-6.*

- Castillo, L. E. (2011). "ESTUDIO DEL COSECHADO DE CULTIVOS DE MICROALGAS EN AGUA RESIDUAL MEDIANTE TÉCNICAS DE CENTRIFUGADO". Cadiz: Universidad de Cadiz.
- CEPAL. (2012). *Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador*. Ecuador: Naciones Unidas.
- Cerón, V. (2015). *Uso de lagunas algales de alta tasa para tratamiento de aguas residuales*. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo- Universidad del Norte*, 33(1), 12.
- Cimcool. (2011). *Porque es Importante el Oxígeno Disuelto*. Queretaro: Milacron Mexicana Sales, S.A.
- Comas, A., & Moreira, R. (2016). *Novedades para la flora de algas y cianobacterias de Cuba: Strombomonas borysteniensis (Roll) Popova (Euglenophyceae), Anabaenopsis elenkinii Miller y Glaucospira sp. (Cyanobacteria)*. *Anales de Biología*, 5-7.
- Comisión Nacional del Agua . (2013). *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Lagunas de estabilización*. Tlapan, México: Secretaría de medio ambiente y recursos naturales.
- Comisión Nacional del Agua. (2011). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Tlapan: Secretaria de medio ambiente y recursos naturales.
- Conant, J., & Fadem, P. (2011). *El problema de las aguas negras*. En J. Conant, & P. Fadem, *Guía Comunitaria para la Salud Ambiental* (págs. 116-117). California: Hesperian Foundation.
- Cubas, P. (2008). *Cyanophyta*. Recuperado el 8 de Agosto de 2018, de *Cyanophyta*: https://www.aulados.net/Botanica/Curso_Botanica/Cyanophyta/3_Cyanophyta_texto.pdf
- Culebro, J. (2015). *Cosechado de microalgas cultivadas en lagunas de alta carga para el tratamiento de aguas residuales: efecto del almidón sobre la floculación de biogás*. Barcelona: GEMMA.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba-Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua.

- Díaz, J. (2007). *Atlas de organismos planctónicos en los humedales de Andalucía*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2018, de *Atlas de organismos planctónicos en los humedales de Andalucía*: https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/rediam/contenidos_ordenacion/PDF/Atlas_Org_Planctonicos_1.pdf
- Durán, E., & Rojas, G. (2006). *Modelación de la transferencia de oxígeno en sistemas de aeración mediante un modelo de dos zonas simplificado*. *Ciencia y Tecnología*, 20.
- Espinosa, T., & Rodriguez, C. (2016). *Determination of water quality index (WQI) of Morón river and Patanemo river of Carabobo state in Venezuela*. *Revista INGENIERÍA UC*, 9-11.
- FAO. (2006). *Cultivo de bivalvos en criadero*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2018, de *Cultivo de algas*: <http://www.fao.org/3/a-y5720s.pdf>
- Fluence News Team. (2016). *Un Nuevo Biorreactor para el Cultivo de Alta Densidad de Diversas Comunidades Microbianas*. *Journal of Visualized Experiments*, 8-10.
- Forero, P. (2013). *Fundamento teórico sobre tratamiento de aguas residuales por fitorremediación*. *Universidad Militar Nueva Granada*, 7.
- García, A. (2011). *Proyecto educativo sobre consumo de agua segura dirigido a las familias de la comunidad los tillales parroquia Sucre, cantón 24 de mayo, provincia manabí, 2011*. (Tesis de grado). *Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.
- García, Z. (2012). *COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE TRES PLANTAS ACUÁTICAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE REMOCION DE NUTRIENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS*. *Lima: Universidad Nacional de Ingeniería- Perú*.
- Gómez, I. (2003). *Saneamiento Ambiental*. *San Jose- Costa Rica: Universidad Estatal a distancia*.
- Gómez, M., Danglot, C., & Vega, L. (2010). *Disponibilidad de agua para la salud y la vida*. *Revista Mexicana de Pediatría*, 11.

- González, C. (5 de Octubre de 2011). Oxígeno disuelto. Obtenido de Oxígeno disuelto: <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-861/maguaoxigenodisuelto.pdf>
- Graham, L., Graham, J., & Wilcox, L. (2009). *ALGAE*. San Francisco: Pearson education.
- Grupo Cooperativo Cajamar. (2015). ¿Qué son las microalgas? Interés y uso . CAJAMAR ADN Agro, 11.
- Guamán , M., & González, N. (2016). *Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador*. Quito: QUIK PRINT.
- Hernández , A., & Labbé, J. (2014). *Microalgas, cultivo y beneficios*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 4-5.
- Kerven, R. (1989). *Alkalinity water, classification systems*. Michigan.
- Klose, K., Cooper, S., Leydecker, A., & Kreitler, J. (Julio de 2012). *Relationships among catchment land use and concentrations of nutrients, algae, and dissolved oxygen in a southern California river*. *Freshwater Science*, 21.
- Kwong., E. S. (2012). *DISTRIBUCION DEL OXÍGENO DISUELTO, pH y TEMPERATURA, DE LA LAGUNA FACULTATIVA DE LA PLANTA MARACAIBO SUR*. Maracaibo.
- Larco, K., & Paucar, P. (2017). *Evaluación de la transferencia de oxígeno con plantas acuáticas en un cultivo hidropónico (Tesis pregrado)*. Quito: EPN.
- Lenntech. (22 de 09 de 2018). ¿Por qué es importante el oxígeno disuelto en el agua? Obtenido de ¿Por qué es importante el oxígeno disuelto en el agua?: <https://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm>
- López, C., Méndez, G., García, H., & Cervantes, F. (2017). *Tratamientos biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*. Reino Unido: IWA Publishing.
- López, E. (2016). *Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica*. Limón: Tecnología en Marcha.
- Lund, H., & Lund, J. (2007). *Freshwater algae*. Hong Kong: Biopress Ltd.
- Mancera, J. E. (1994). *FLORECIMIENTO DE MICROALGAS RELACIONADO CON MORTANDAD MASIVA DE PECES EN EL COMPLEJO LAGUNAR*

- CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO. Santa Marta: INVEMAR.
- Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos tratamiento y control de calidad de aguas*. Madrid: Rafael Marín Galvín.
- Marínez, M., & Osorio, A. (2018). *VALIDACIÓN DE UN MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE COLOR REAL*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Mercado, A. (2013). *Lagunas de Estabilización*. Santa Cruz: UMSS.
- Millán, F., Mathison, J., Alvares, M., & Jarboub, W. (2003). *Estudio comparativo de la dureza del agua en el estado Mérida y algunas localidades del centro y occidente de Venezuela*. Mérida: Instituto Universitario Politécnico "Santiago Mariño".
- Molina, J. (2015). *Análisis y Tratamiento de Aguas Residuales*. Lima: Creatividad A1.
- Muñoz, M., & Aldás, M. (2017). *Sistema de depuración de aguas residuales*. Quito: EPN.
- Muñoz, M. (21 de Julio de 2017). *Tratamiento de aguas residuales*. (S. Revelo, & W. Sampedro, Entrevistadores)
- Organización de las Naciones Unidas. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016*. Francia: UNESCO.
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. París: UNESCO.
- Palmer, M. (1962). *Algas en Abastecimientos de Agua*. Mexico: Editorial Internacional, S.A.
- Peña, E., & Chang, J. (26 de Junio de 2007). *Calidad de agua, trabajo de investigación OD*. Obtenido de *Calidad de agua, trabajo de investigación OD*: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Pérez, E. (2009). *Fotosíntesis : Aspectos Básicos*. Reduca(Biología). Serie *Fisiología Vegetal*, 1-2.

- Pesantes, L., & Ruiz, V. (2017). *Estudio Piloto para el Tratamiento de Lixiviados Generados en el Botadero de San Miguel de los Bancos (tesis de pregrado)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Restrepo, G. C. (2012). *Monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fé de Antioquia, Colombia*. Santa Fé de Antioquia: Producción + Limpia.
- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., & Villar, S. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid: Elecé Industris Gráfica. Obtenido de Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales.
- Rodríguez, J. (2009). *Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre*. Grecia: Universidad de Costa Rica.
- Sáenz, G. (2016). *La fotosíntesis*. Recuperado el 9 de Septiembre de 2018, de La fotosíntesis: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/11/24/fisiologia-vegetal-la-fotosintesis-el-proceso-que-alimenta-al-mundo/>
- Sardi, A., Peña, E., Madera, C., & Cerón, V. (2016). Diversidad de las comunidades de algas asociadas a un sistema algal de alta tasa fotosintética para la biorremediación de lixiviados de rellenos sanitarios. *Lat. Am. J. Aquat. Res*, 1-2.
- Steinberg, L. D. (2017). Que sob las plantas marinas y las algas. En L. Steinberg, *Que sob las plantas marinas y las algas* (págs. 4-7). New York: Britannica Educational Publishing.
- Steinitz, M., & Lenca, N. (Abril de 2013). *Field guide to algae and other "scums" in ponds, lakes, streams and rivers*. Obtenido de Field guide to algae and other "scums" in ponds, lakes, streams and rivers: <https://www.townofchapelhill.org/home/showdocument?id=28866>
- Terneus, E. (17 de Noviembre de 2014). *Vegetación acuática y estado trófico de las andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador*. Obtenido de Vegetación acuática y estado trófico de las andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador:

file:///C:/Users/user/Downloads/Dialnet-VegetacionAcuaticaYEstadoTroficoDeLasLagunasAndina-6537270%20(2).pdf

- Toro, C. G. (2011). *Monitoreo de la Calidad del Agua, La Turbidez*. Mayagüez: Universidad de Puerto Rico.
- Torres, A., Camberato, D., & López, R. (2013). *El control de Algas en las Lagunas de Riego*. Indianápolis: Purdue.
- Universidad de Sevilla. (2010). *Cianobacterias y diatomeas*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2018, de Cianobacterias y diatomeas: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/cianobacterias_y_diatomeas.asp
- Villacres, D. (2005). *Remoción natural de microorganismos patógenos en estanques de 20 y 35 cm de profundidad (tesis de posgrado)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Vinegla, B., & López, F. (2009). Efecto de la radiación UV solar y artificial sobre la fotosíntesis y la actividad anhidrasa carbónica en macroalgas intermareales del sur de España. *Ciencias Marinas*, 2-5.

ANEXOS

ANEXO 1

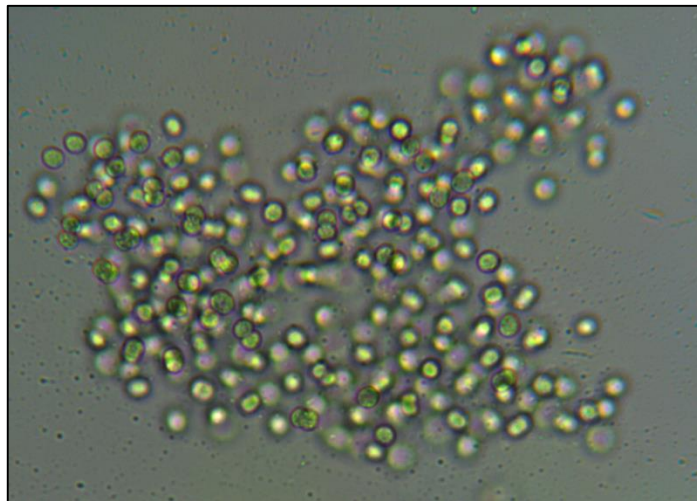
**FOTOGRAFÍAS DE LA IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LAS
ALGAS**

Filo: Cyanobacteria **Género:** *Anabaenopsis*



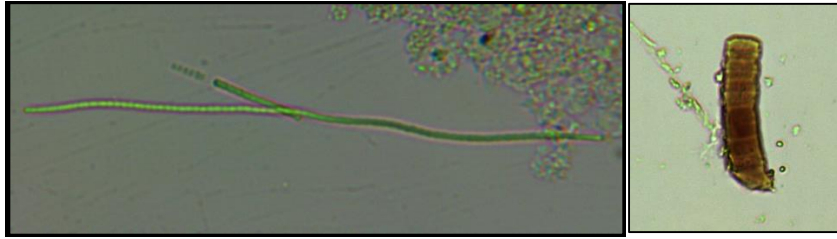


Filo: Cyanobacteria **Género:** *Aphanocapsa*



Filo: Cyanobacteria **Género:** *Oscillatoria*





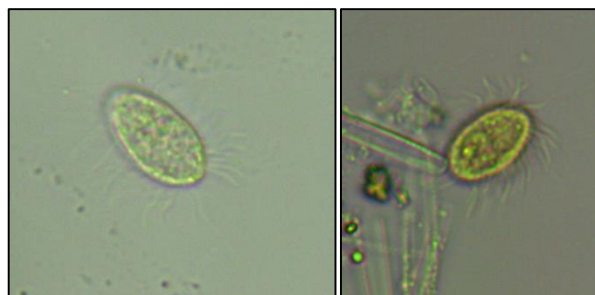
Filo: Cyanobacteria **Género:** *Pseudoanabaena*



Filo: Ochrophyta **Género:** *Nitzschia*



Filo: Ochrophyta **Género:** *Mallomonas*



Filo: Ochrophyta **Género:** *Synedra*



Filo: Chlorophyta **Género:** *Actinastrum*



ANEXO 2

ESTADISTICA DESCRIPTIVA

Estadística Descriptiva del Oxígeno Disuelto

La tabla contiene los datos obtenidos en el monitoreo del oxígeno disuelto en el reactor de la primera etapa. Fueron monitoreados 5 días desde las 7h00 hasta la 18h00.

Tabla A1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL OXÍGENO DISUELTO (mg/l) Primera Etapa

		ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL OXÍGENO DISUELTO (mg/l) Primera Etapa											
HORA		7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
DÍAS	D1	8,39	8,62	8,84	8,92	9,63	9,43	9,83	9,90	10,14	10,03	10,39	10,24
	D2	7,03	7,22	7,31	7,54	7,46	7,55	7,92	8,24	8,67	8,47	8,23	8,03
	D3	6,75	6,97	7,06	7,32	7,23	7,76	7,81	8,14	8,85	8,94	8,95	8,23
	D4	7,08	7,36	7,62	7,83	8,06	8,44	8,44	8,88	9,49	10,03	10,52	10,85
	D5	7,94	8,34	8,40	9,04	9,30	9,47	10,43	10,50	10,68	11,65	11,86	11,74
MEDIA		7,44	7,70	7,85	8,13	8,34	8,53	8,89	9,13	9,56	9,82	9,99	9,82
MÁXIMO		8,39	8,62	8,84	9,04	9,63	9,47	10,43	10,50	10,68	11,65	11,86	11,74
MÍNIMO		6,75	6,97	7,06	7,32	7,23	7,55	7,81	8,14	8,67	8,47	8,23	8,03
DESVIACIÓN ESTANDAR		0,69	0,73	0,75	0,80	1,08	0,90	1,18	1,04	0,85	1,23	1,42	1,63
VARIANZA		0,48	0,53	0,56	0,64	1,17	0,81	1,39	1,08	0,73	1,51	2,02	2,66

La tabla contiene los datos obtenidos del monitoreo del oxígeno disuelto en el reactor de la segunda etapa. Fueron monitoreados 18 días desde las 7h00 hasta la 18h00. Existen casilleros sin datos debido a que el valor de oxígeno disuelto superaba el límite de medición del oxímetro utilizado, el límite era 22mg/l, algunos datos fueron obtenidos con el método winkler para medir el oxígeno disuelto que no se había podido medir con el oxímetro.

Tabla A2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL OXÍGENO DISUELTTO (mg/l) Segunda Etapa

HORA		ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL OXÍGENO DISUELTTO (mg/l) Segunda Etapa												
		7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	
	D1	12,59	13,23	13,88	15,24	14,71	16,86	16,65	17,87	15,86	16,51	16,55	17,00	
	D2	12,05	12,30	13,16	13,63	14,38	14,67	15,32	15,67	16,23	16,99	17,30	17,84	
	D3	9,36	9,68	9,81	10,27	10,78	10,88	11,96	12,39	12,32	12,74	12,50	13,03	
	D4	9,75	10,17	10,48	10,97		12,18	12,32	13,17	13,35	13,78	13,87	13,17	
	D5	9,09	9,57	10,20	10,92	11,51	11,81	12,46	13,13	13,69	14,47	14,76	15,30	
	D6	9,86	10,29	11,02	11,69	12,35	13,02	14,25	15,16	14,89	16,29	17,21	17,79	
	D7	12,19	12,63	13,36	13,96	14,27	15,30	16,07	16,96	17,07	18,15	19,00	19,58	
	D8	19,65	20,40	21,08	21,26	21,41	20,07	21,55			24,00			
DÍAS	D10	18,11	18,46	19,89	20,38	20,32	19,90	20,51	20,47	20,78	20,82	22,67	0,00	
	D11	19,16	20,11	21,36						27,20				
	D12	12,38	14,21	12,72	13,53	13,85	13,58	13,34	13,64	14,09	14,96	15,04	14,85	
	D13	10,24	10,32	10,45	10,26	10,01	10,00	10,63	11,14	11,70	12,35	13,14	14,22	
	D14	15,58	16,88	18,43	19,42	20,26	20,60	22,00						
	D15	14,32	14,94	16,03	16,87	17,38	19,14	19,89	19,96	21,90	21,39	23,50	21,49	
	D16	13,20	12,96	14,00	16,34	16,57	19,52	19,65	19,55	19,72	20,53	22,00	22,00	
	D17	8,15	8,88	9,92	11,16	12,35	13,28	13,26	14,41	15,33	15,05	15,60	16,28	
	D18	8,65	9,08	9,27	10,31	10,42	10,72	11,48	13,13	15,19	14,80	14,13	14,56	
		MEDIA	12,61	13,18	13,83	14,14	14,70	15,10	15,71	15,47	16,62	16,86	16,95	15,51
		MÁXIMO	19,65	20,40	21,36	21,26	21,41	20,60	22,00	20,47	27,20	24,00	23,50	22,00
		MÍNIMO	8,15	8,88	9,27	10,26	10,01	10,00	10,63	11,14	11,70	12,35	12,50	0,00
		DESVIACIÓN ESTANDAR	3,67	3,82	4,11	3,76	3,74	3,74	3,87	3,02	4,16	3,45	3,59	5,29
		VARIANZA	13,45	14,57	16,87	14,11	14,00	13,96	14,96	9,14	17,34	11,89	12,90	27,94

Estadística Descriptiva del Porcentaje de Oxígeno de Saturación

La tabla contiene los datos obtenidos en el monitoreo del porcentaje de saturación en el reactor de la primera etapa. Fueron monitoreados 5 días desde las 7h00 hasta la 18h00.

Tabla A3. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL PORCENTAJE DE OXÍGENO DE SATURACIÓN Primera Etapa

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL PORCENTAJE DE OXÍGENO DE SATURACIÓN Primera Etapa												
HORA	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
D1	118,3	121,5	128,3	133,5	145,4	147,7	161,8	167,7	170,7	168,1	170,7	163,7
D2	101,0	102,5	105,4	111,4	114,0	120,0	129,4	136,7	140,7	133,0	126,3	120,6
D3	93,3	95,8	99,3	104,7	110,2	121,3	127,2	133,7	146,3	147,8	133,0	126,3
D4	100,8	103,3	109,5	116,0	126,1	136,4	140,3	150,7	163,7	174,2	179,7	181,7
D5	112,0	116,6	117,2	131,9	136,8	149,4	169,6	172,5	181,3	197,6	196,6	191,4
MEDIA	105,1	107,9	111,9	119,5	126,5	135,0	145,6	152,3	160,5	164,1	161,3	156,7
MÁXIMO	118,3	121,5	128,3	133,5	145,4	149,4	169,6	172,5	181,3	197,6	196,6	191,4
MÍNIMO	93,3	95,8	99,3	104,7	110,2	120,0	127,2	133,7	140,7	133,0	126,3	120,6
DESVIACIÓN ESTANDAR	10,0	10,7	11,2	12,7	14,9	14,0	19,1	17,6	16,9	24,9	30,4	32,0
VARIANZA	99,4	114,3	126,0	161,8	221,7	195,8	366,3	309,8	284,4	618,6	925,8	1026,7

La tabla contiene los datos obtenidos del monitoreo del porcentaje de saturación en el reactor de la segunda etapa. Fueron monitoreados 18 días desde las 7h00 hasta la 18h00. Existen casilleros sin datos debido a que el porcentaje de oxígeno de saturación se midió con el mismo equipo que se midió el OD entonces no se obtuvo valores en horas en las cuales el oxígeno superaba el límite de medición que tiene el oxímetro.

Tabla A4. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL PORCENTAJE DEL OXÍGENO DE SATURACIÓN Segunda Etapa

		ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL PORCENTAJE DEL OXÍGENO DE SATURACIÓN Segunda Etapa															
HORA	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00					
D1	173,9	175,9	190,0	205,0	217,6	246,5	248,9	262,6	257,6	251,8	254,7	226,8					
D2	160,5	170,7	183,1	192,4	208,2	221,9	240,3	248,3	220,1	248,3	203,2	241,6					
D3	124,3	128,9	137,8	145,3	151,6	160,5	179,8	185,0	185,2	190,2	184,6	189,8					
D4	130,0	136,9	147,6	158,9		187,6	197,8	214,9	215,0	220,1	218,9	203,2					
D5	122,7	145,4	137,8	151,7	169,3	183,1	191,7	196,3	202,3	212,8	215,6						
D6	127,6	132,8	144,7	157,4	175,3	188,2	203,7	217,4	224,1	241,2	254,6	261,7					
D7	157,9	167,4	182,3	198,6	213,9	234,8	250,7	268,2	270,8	279,7	289,4	292,6					
D8	264,1	274,0	289,0	303,5	320,9	316,0	339,2										
D10	231,4	237,0	270,4	282,1	284,9	293,7	322,3	341,2	315,9	321,8							
D11	254,4	268,5	293,2														
D12	170,3	194,6	179,7	195,2	203,0	204,7	213,6	220,3	228,3	225,6	238,4	231,7					
D13	144,3	145,3	145,9	155,9	157,5	158,4	171,1	182,5	199,5	213,7	223,5	235,1					
D14	207,3	227,9	251,2	284,7	314,7	325,7	350,0										
D15	193,5	201,9	219,4	242,1	255,6	297,9	313,0	314,8	340,0	312,7	330,4	308,3					
D16	178,8	174,7	203,0	240,6	258,9	313,9	319,7	316,3	318,6	326,5	332,2	332,6					
D17	111,0	121,0	138,1	154,6	185,9	207,3	215,5	241,3	248,2	242,0	243,1	257,6					
D18	123,0	130,7	136,7	159,1	165,9	173,5	172,7	213,0	239,7	235,6	231,0	237,5					
MEDIA	169,1	178,5	191,2	201,7	218,9	232,1	245,6	244,4	247,5	251,6	247,7	251,5					
MÁXIMO	264,1	274,0	293,2	303,5	320,9	325,7	350,0	341,2	340,0	326,5	332,2	332,6					
MÍNIMO	111,0	121,0	136,7	145,3	151,6	158,4	171,1	182,5	185,2	190,2	184,6	189,8					
DESVIACIÓN ESTANDAR	47,5	48,8	55,1	53,3	56,0	59,2	63,1	50,6	48,0	42,9	45,3	41,9					
VARIANZA	2255,9	2385,3	3041,4	2839,8	3132,1	3507,1	3982,0	2557,9	2303,7	1838,7	2050,4	1757,6					

Estadística Descriptiva de la Temperatura del agua

La tabla contiene los datos obtenidos del monitoreo de la temperatura en el reactor de la primera etapa. Fueron monitoreados 5 días desde las 7h00 hasta la 18h00.

Tabla A5. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA TEMPERATURA (°C) Primera Etapa

		ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA TEMPERATURA (°C) Primera Etapa											
HORA		7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
DÍAS	D1	15,90	15,93	17,20	18,77	19,13	20,90	23,30	24,70	24,40	24,13	23,10	21,77
	D2	16,03	16,13	16,87	17,30	19,60	21,50	22,87	23,50	22,40	20,80	19,60	18,63
	D3	14,83	14,63	15,77	17,63	19,53	20,67	22,67	23,07	23,43	23,27	22,40	19,60
	D4	16,27	15,63	16,77	18,23	20,87	22,47	23,77	24,53	25,60	25,93	25,13	24,10
	D5	15,93	15,57	16,67	17,60	18,50	21,33	22,20	23,27	24,80	24,77	23,63	22,83
MEDIA		15,79	15,58	16,65	17,91	19,53	21,37	22,96	23,81	24,13	23,78	22,77	21,39
MÁXIMO		16,27	16,13	17,20	18,77	20,87	22,47	23,77	24,70	25,60	25,93	25,13	24,10
MÍNIMO		14,83	14,63	15,77	17,30	18,50	20,67	22,20	23,07	22,40	20,80	19,60	18,63
DESVIACIÓN ESTANDAR		0,56	0,58	0,53	0,59	0,87	0,70	0,60	0,75	1,24	1,93	2,04	2,26
VARIANZA		0,31	0,33	0,29	0,35	0,75	0,48	0,36	0,56	1,54	3,72	4,16	5,09

La tabla contiene los datos obtenidos del monitoreo de la temperatura en el reactor de la segunda etapa. Fueron monitoreados 18 días desde las 7h00 hasta la 18h00. Existen casilleros sin datos debido a que la temperatura se midió con el mismo equipo que se midió el OD entonces no se obtuvo valores de horas en las cuales el oxígeno superaba el límite de medición que tiene el oxímetro.

Tabla A6. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA TEMPERATURA (°C) Segunda Etapa

HORA		ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA TEMPERATURA (°C) Segunda Etapa											
		7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
DÍAS	D1	15,27	15,20	16,50	18,50	20,63	23,00	24,10	24,40	24,63	23,93	23,34	22,16
	D2	14,80	15,13	15,27	15,97	17,13	19,17	20,87	21,37	21,80	21,73	21,20	20,07
	D3	13,13	13,27	15,73	16,07	16,30	17,93	18,83	18,50	18,80	18,40	17,90	17,27
	D4	13,37	13,80	15,83	17,17		20,17	22,03	22,80	22,13	21,73	21,20	20,07
	D5	13,97	13,87	14,03	15,33	17,93	20,47	19,93	18,57	18,03	22,50	17,43	
	D6	12,10	12,00	12,80	13,97	16,27	17,10	16,57	16,70	18,93	18,07	18,00	17,77
	D7	12,17	13,23	14,53	16,40	18,87	20,00	20,80	21,33	21,33	20,00	19,47	19,13
	D8	13,77	13,77	14,73	16,60	18,90	21,40	22,70	24,27	23,03			
	D10	11,60	11,83	14,40	15,17	16,00	18,17	20,53	22,27	23,27	24,50		
	D11	13,27	13,50	16,07	18,30	19,40							
	D12	14,80	14,70	16,17	17,17	17,90	19,87	22,17	22,50	22,50	21,80	21,40	20,70
	D13	14,53	15,47	16,77	19,53	21,33	21,47	22,27	22,50	23,60	24,10	24,50	23,50
	D14	14,57	15,10	17,73	18,13	20,90	21,93	23,83					
	D15	13,97	14,07	14,63	16,83	17,00	20,70	21,17	21,23	21,07	20,60	20,43	18,90
	D16	13,87	14,27		18,03	21,03	22,27	22,37	23,03	22,87	23,17	23,33	22,57
	D17	14,40	14,47	15,47	17,20	19,13	20,87	22,83	22,50	22,50	22,13	20,60	20,23
	D18	15,23	16,93	18,13	20,33	21,80	22,53	22,83	22,90	23,40	21,17	23,33	23,47
	MEDIA	13,81	14,15	15,55	17,10	18,78	20,44	21,49	21,66	21,86	21,70	20,93	20,49
MÁXIMO	15,27	16,93	18,13	20,33	21,80	23,00	24,10	24,40	24,63	24,50	24,50	23,50	
MÍNIMO	11,60	11,83	12,80	13,97	16,00	17,10	16,57	16,70	18,03	18,07	17,43	17,27	
DESVIACIÓN ESTANDAR	1,09	1,26	1,38	1,61	1,94	1,70	1,92	2,17	1,93	1,96	2,29	2,08	
VARIANZA	1,19	1,58	1,89	2,60	3,78	2,90	3,67	4,72	3,71	3,85	5,25	4,33	

ANEXO 3
FOTAGRAFÍAS





