

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA**

**Facultad de Ciencias**

Escuela Profesional de Biología - Microbiología

**“EFICIENCIA DE DEPURACIÓN DEL AGUA RESIDUAL POR  
MICROALGAS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO  
COPARE Y MAGOLLO EN LA PROVINCIA DE TACNA”**

**TESIS**

Presentada por

**Bach. YENDI MARIDET CHAMBE MANSILLA**

Para optar el Título Profesional de:

**BIÓLOGO - MICROBIÓLOGO**

TACNA – PERÚ

2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN, TACNA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**

**TESIS N°281**

**TÍTULO PROFESIONAL DE: BIÓLOGO MICROBIÓLOGO**

El secretario Académico Administrativo de la Facultad de Ciencias, certifica que por Resolución de Facultad N°8544-2016-FACI-UN/JBG, el Consejo de Facultad ha designado como jurado para la sustentación de tesis:

**“EFICIENCIA DE DEPURACIÓN DEL AGUA RESIDUAL POR MICROALGAS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO COPARE Y MAGOLLO EN LA PROVINCIA DE TACNA”**

El mismo que está conformado por:

PRESIDENTE	:	Mgr. DALADIER MIGUEL CASTILLO COTRINA
MIEMBRO	:	Mgr. ROBERTO CASTELLANOS CABRERA
SECRETARIA	:	M.Sc. ANGELA CHOQUE MIRANDA

Para examinar y calificar la sustentación de tesis en acto público el día 18 de agosto del 2016 a las 11:00 horas.

Presentado por el Bachiller: **YENDI MARIDET CHAMBE MANSILLA**, de la Escuela Profesional de Biología – Microbiología.

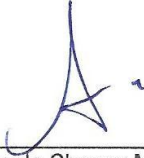
Los miembros del Jurado Calificador, en forma individual y secreta emitieron su calificación sobre la tesis expuesta y procedió a emitir el siguiente resultado:

Aprobado por **UNANIMIDAD**, con el calificativo de **SOBRESALIENTE** y promedio de 17.

Para ratificar lo detallado firman:

  
\_\_\_\_\_  
Mgr. Daladier Miguel Castillo Cotrina  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Mgr. Roberto Castellanos Cabrera  
Miembro

  
\_\_\_\_\_  
M.Sc. Angela Choque Miranda  
Secretaria

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Ida Mansilla Oviedo y Fredy Chambe Vargas, quienes con su entera dedicación y esmero, por tantos años, hicieron posible que culminara a cabalidad mis estudios y me enseñaran a caminar con rectitud por la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Área de Control de Calidad Microbiológica de la E.P.S Tacna, por facilitarme el ingreso a las áreas de estudio y el uso de equipos, materiales y laboratorio.

A mis profesores, por haberme inculcado los conocimientos necesarios en la carrera universitaria para poder aplicarlos en mi carrera profesional.

A la Mgr. Isabel Ancco Oliva, asesora de mi trabajo de tesis, por su valiosa amistad y colaboración indispensable durante este estudio.

A todos los amigos y en especial al Mgr. Daladier Castillo Cotrina, que de alguna u otra forma colaboraron para el desarrollo de este trabajo de investigación.

## ÍNDICE

I.	Introducción.....	1
1.1.	Objetivos .....	3
1.1.1.	Objetivo general .....	3
1.1.2.	Objetivos específicos.....	3
1.2.	Hipótesis.....	4
1.3.	Planteamiento del problema .....	4
1.4.	Justificación del problema.....	7
II.	Antecedentes .....	10
2.1.	Aguas residuales .....	10
2.1.1.	Composición del agua residual.....	10
2.1.2.	Tipos de aguas residuales .....	22
2.1.3.	Tipos de lagunas .....	25
2.1.4.	Tratamientos del agua residual.....	27
2.2.	Microalgas .....	31
2.2.1.	Clasificación de las algas .....	32
2.2.2.	Procesos de las microalgas en el agua residual .....	33
2.2.3.	Diversidad de algas en el agua residual .....	36
2.2.4.	Parámetros que influyen en el crecimiento de las microalgas.....	38
III.	Materiales y métodos .....	45
3.1.	Materiales.....	45
3.2.	Área de estudio .....	46
3.3.	Lugar de experimentación .....	49
3.4.	Tipo de estudio .....	49
3.5.	Material de estudio .....	49
3.6.	Metodología de campo.....	50
3.6.1.	Obtención y recolección de muestras.....	50
3.7.	Métodos de laboratorio .....	51
IV.	Resultados.....	56

4.1.	Microalgas identificadas.....	56
4.2.	Parámetros fisicoquímicos evaluados.....	58
4.3.	Remoción de materia orgánica evaluada.....	64
4.4.	Grado de relación entre parámetros fisicoquímicos y la concentración de microalgas.....	68
4.5.	Análisis estadístico .....	103
V.	Discusión.....	117
VI.	Conclusiones.....	130
VII.	Recomendaciones.....	132
VIII.	Referencias Bibliográficas .....	133
IX.	Anexos .....	142

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de clasificación algal de los diferentes grupos.....	32
Tabla 2. Características de las lagunas facultativas de Magollo.....	47
Tabla 3. Características de las lagunas facultativas de Copare.....	48
Tabla 4. Concentración de microalgas identificadas, presentes en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo, entre los meses de junio y agosto 2015.....	56
Tabla 5. Concentración de microalgas identificadas, presentes en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur, entre los meses de junio y agosto 2015.....	57
Tabla 6. Valores fisicoquímicos determinados en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo, entre los meses de junio y agosto 2015.....	58
Tabla 7. Valores fisicoquímicos determinados en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur, entre los meses de junio y agosto 2015.....	61
Tabla 8. Diferencia de valores de DBO <sub>5</sub> y DQO porcentuales entre el ingreso y salida en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo, entre los meses de junio y agosto 2015.....	64
Tabla 9. Diferencia de valores de DBO <sub>5</sub> y DQO porcentuales entre el ingreso y salida en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur, entre los meses de junio y agosto 2015.....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación simbiótica entre algas y bacterias presentes en lagunas facultativas.....	35
Figura 2. Fluctuación del pH entre los meses de junio y agosto 2015, en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo.....	59
Figura 3. Fluctuación de la conductividad eléctrica entre los meses de junio y agosto 2015, en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo.....	59
Figura 4. Fluctuación del oxígeno disuelto entre los meses de junio y agosto 2015, en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo.....	60
Figura 5. Fluctuación del pH durante entre los meses de junio y agosto 2015, en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Copare - Cono Sur.....	62
Figura 6. Fluctuación de la conductividad entre los meses de junio y agosto 2015, en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Copare - Cono Sur.....	62
Figura 7. Fluctuación del oxígeno disuelto entre los meses de junio y agosto 2015, en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Copare - Cono Sur.....	63
Figura 8. Diferencia de valores de DBO <sub>5</sub> porcentuales en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo, entre los meses de junio y agosto 2015.....	65
Figura 9. Diferencia de valores de DQO porcentuales en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo, entre los meses de junio y agosto 2015.....	65

Figura 10. Diferencia de valores de DBO <sub>5</sub> porcentuales en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur, entre los meses de junio y agosto 2015.....	67
Figura 11. Diferencia de valores de DQO porcentuales en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur, entre los meses de junio y agosto 2015.....	67
Figura 12. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.....	68
Figura 13. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.....	69
Figura 14. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 4, durante los meses de junio y agosto 2015.....	70
Figura 15. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 5, durante los meses de junio y agosto 2015.....	71
Figura 16. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 6, durante los meses de junio y agosto 2015.....	72

Figura 17. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.....	73
Figura 18. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.....	74
Figura 19. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 4, durante los meses de junio y agosto 2015.....	75
Figura 20. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 5, durante los meses de junio y agosto 2015.....	76
Figura 21. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 6, durante los meses de junio y agosto 2015.....	77
Figura 22. Relación entre el oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.....	78
Figura 23. Relación entre el oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.....	79

Figura 24. Relación entre el oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 4, durante los meses de junio y agosto 2015.....	80
Figura 25. Relación entre el oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 5, durante los meses de junio y agosto 2015.....	81
Figura 26. Relación entre el oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 6, durante los meses de junio y agosto 2015.....	82
Figura 27. Relación entre el DBO <sub>5</sub> y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.....	83
Figura 28. Relación entre el DBO <sub>5</sub> y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.....	84
Figura 29. Relación entre el DBO <sub>5</sub> y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 4, durante los meses de junio y agosto 2015.....	85
Figura 30. Relación entre el DBO <sub>5</sub> y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 5, durante los meses de junio y agosto 2015.....	86

Figura 31. Relación entre el $\text{DBO}_5$ y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 6, durante los meses de junio y agosto 2015.....	87
Figura 32. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.....	88
Figura 33. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.....	89
Figura 34. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 4, durante los meses de junio y agosto 2015.....	90
Figura 35. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 5, durante los meses de junio y agosto 2015.....	91
Figura 36. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 6, durante los meses de junio y agosto 2015.....	92
Figura 37. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.....	93

Figura 38. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.....	94
Figura 39. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.....	95
Figura 40. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.....	96
Figura 41. Relación entre oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.....	97
Figura 42. Relación entre oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.....	98
Figura 43. Relación entre la DBO <sub>5</sub> y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.....	99
Figura 44. Relación entre la DBO <sub>5</sub> y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.....	100

Figura 45. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.....101

Figura 46. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.....102

## RESUMEN

Se estudió la eficiencia de depuración del agua residual por microalgas en las Plantas de Tratamiento de Copare y Magollo. Se realizó un muestreo mensual durante tres meses para evaluar la concentración microalgal en la entrada y salida de las lagunas secundarias, el género que predominó en la Planta de Magollo fue *Chlamydomonas* y en la Planta de Copare – Cono Sur, *Phacus*. Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos del agua residual, como el pH, temperatura, conductividad eléctrica, OD, DBO<sub>5</sub>, DQO y se comparó con la norma de los Límites Máximos Permisibles. Se evaluó la remoción de materia orgánica, encontrándose que la Planta de Magollo funciona deficientemente, logrando una eficiencia solo del 25 % respecto a la DBO<sub>5</sub> y un 28 % en la DQO, siendo que en la Planta de Tratamiento de Copare – Cono Sur, se obtuvo una eficiencia de 68 % en DBO<sub>5</sub> y un 58 % con respecto a la DQO, lo que indica una eficiencia regular, pero aceptable.

Palabras clave: agua residual, eficiencia de remoción, límites máximos permisibles.

## **ABSTRACT**

The efficiency of waste water treatment by microalgae in Copare Treatment Plants and Magollo was studied. A monthly sampling was conducted for three months to assess the microalgal concentration in the inlet and outlet of the secondary gaps, the genre that dominated the plant was Magollo Chlamydomonas and Plant Copare - Cono Sur, Phacus. Physico-chemical parameters of wastewater, such as pH, temperature, electrical conductivity, OD, DBO<sub>5</sub>, DQO and compared with the standard of the maximum permissible limits were evaluated. the removal of organic matter was evaluated and found to Plant Magollo works poorly, achieving efficiency only 25 % over BOD<sub>5</sub> and 28 % in DQO, being in the Treatment Plant Copare - Cono Sur, is It gave an efficiency of 68 % in DBO<sub>5</sub> and 58 % with respect to DQO, which indicates an acceptable but regulate efficiency.

Keywords: wastewater removal efficiency, maximum permissible limits

## I. INTRODUCCIÓN

El agua residual es una potencial fuente de energía que en muchos casos se desaprovecha debido principalmente a problemas técnicos e incluso de gestión (González, J.; Bécares, E. 2001).

Desde hace varios años ha crecido el interés por el proceso del tratamiento de las aguas residuales ya que constituyen un gran problema sanitario, sin embargo, son un recurso muy apreciado para el riego y la piscicultura, y de gran valor económico en áreas desérticas o con estiajes prolongados (Escorihuela, et al. 2007).

Los nutrientes presentes en las aguas residuales tienen valor como fertilizantes y aumentan el rendimiento de los cultivos. Los tratamientos biológicos como el lagunaje, representan una alternativa en el tratamiento de aguas residuales debido a que los gastos de operación y mantenimiento son bajos, no requieren trabajo permanente en la instalación y facilitan el reciclaje y reutilización del agua (Andrade, 2006).

Las microalgas juegan un papel clave en estos sistemas de tratamiento de residuos debido a la capacidad fotosintética para utilizar la luz solar y producir el oxígeno necesario para la degradación biológica de la materia orgánica y su transformación en biomasa utilizable (Codina, et .al 2010).

La presencia de las algas en niveles adecuados asegura el funcionamiento de la fase aeróbica de las lagunas, cuando se pierde el equilibrio ecológico se corre con el riesgo de producir el predominio de la fase anaeróbica, que trae como consecuencia una reducción de la eficiencia del sistema (Rolim, 2000).

Por lo tanto, es necesario realizar estudios sobre los microorganismos fotosintéticos presentes en este tipo de tecnología, con el propósito de contribuir al conocimiento de los factores que pueden intervenir significativamente en la eficiencia de depuración de las aguas residuales y por ende lograr la optimización del tratamiento para la obtención de aguas residuales con una carga de poluentes aceptable (Escorihuela, 2007).

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo general**

- Determinar la eficiencia de depuración del agua residual por microalgas en las Plantas de Tratamiento Copare y Magollo en la Provincia de Tacna.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Determinar los géneros predominantes de microalgas en las lagunas secundarias de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Copare y Magollo.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos que cumplan con la normativa ambiental del MINAM para el agua residual de las lagunas secundarias en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Copare y Magollo.
- Establecer el grado de relación entre los parámetros fisicoquímicos y la concentración de microalgas en las aguas residuales.

## **1.2. HIPÓTESIS**

La eficiencia de depuración del agua residual por microalgas en la Planta de Tratamiento Copare es mayor a la de Magollo en la Provincia de Tacna.

## **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las aguas residuales son consecuencias de la actividad humana, estas provienen de las viviendas, industrias, etc., las cuales son ricas en materia orgánica y poseen sustancias inorgánicas como detergentes originados por actividades domésticas, que interfieren con el crecimiento de la población algal, a ello se suma las aguas de lluvias y las de riego de jardines, que también son depositadas en las lagunas de tratamiento, pero estas últimas solo arrastran tierra y no son perjudiciales (Rivas, J., & Vera, B., 2011).

Las lagunas facultativas son aquellas que poseen una zona aerobia, en la que el nitrógeno amoniacal se oxida, y de otra zona anaerobia en la que los nitratos se reducen. La depuración principal se consigue por una acción combinada de las microalgas y las bacterias (Rolim, 2000).

Las microalgas juegan un papel clave en estos sistemas de tratamiento de residuos por su acción generadora de oxígeno a través del proceso de la fotosíntesis, consumen los nutrientes inorgánicos (principalmente P y N), ayudan a la remoción de patógenos, también son empleadas en la eliminación de sustancias tóxicas, como pesticidas, herbicidas, metales pesados, etc., debido a su resistencia y capacidad de acumular importantes concentraciones de compuestos tóxicos, sin afectar su actividad biológica (Febles, 2010).

Uno de los signos de buen funcionamiento en las lagunas facultativas es el desarrollo de un color verde brillante debido a la presencia de algas; en niveles adecuados, aseguran el funcionamiento de la fase aerobia, pero sin estos organismos se perdería el equilibrio ecológico corriendo el riesgo de producir el predominio de la fase anaerobia, por lo tanto, las bacterias se verían imposibilitadas de utilizar el oxígeno para la oxidación de la materia orgánica, trayendo como consecuencia una reducción de la eficiencia del sistema (Mara, 1976; Dinges, 1982; Brock, 1978).

Existe un conocimiento limitado en Tacna acerca de cómo funcionan los organismos vivos nativos (algas), qué clases son las que actúan en las lagunas de depuración y cómo podrían aportar datos muy interesantes sobre su posible utilización como biorremediadores de agua y suelos debido a que por ser nativas se adaptan muy fácilmente al sistema a tratar, trayendo resultados positivos. (Rivas, J. & Vera, B., 2011).

Por esto, es necesario realizar estudios sobre los microorganismos fotosintéticos presentes en los sistemas de lagunaje de aguas residuales, con el propósito de contribuir al conocimiento de los factores que pueden intervenir significativamente en la eficiencia de depuración, así mismo, en la optimización del tratamiento para la obtención de aguas residuales con una carga de poluentes aceptables (Escorihuela, et al. 2007).

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El crecimiento de la población de las ciudades siempre lleva consigo el incremento de obras de saneamiento de alcantarillados, de aguas residuales, con el fin de evitar posibles malos olores en el centro de las ciudades, por ello se destina un lugar para depositar y tratar todas aquellas aguas provenientes de viviendas, negocios e instituciones, etc (Rivas, J.; & Vera, B.; 2011).

En condiciones favorables dentro de las aguas residuales se desarrollan poblaciones de especies vegetales, animales y microorganismos que desempeñan un papel muy importante dentro de este proceso de tratamiento de las aguas residuales, ayudando a realizar la fotosíntesis y la oxigenación del agua residual, manteniéndola en condiciones óptimas y en una estabilidad adecuada (Rittann, B. y McCarty, P. 2001).

Las lagunas facultativas constituyen un medio apropiado para el crecimiento de muchas clases de seres vivos acuáticos, entre los que se encuentran las microalgas, a las que desde hace poco, se presta mayor consideración, por el importante papel que pueden

desempeñar en la purificación de las aguas residuales, ya que éstas tienen la capacidad de remover cantidades apreciables de materia orgánica, absorber metales polivalentes y acelerar la inactivación de bacterias patógenas, al mismo tiempo, la biomasa de microalgas desarrolladas en conexión con el tratamiento de aguas residuales, puede eventualmente llegar a convertirse en fuente productora de fertilizantes, alimentos animales y otros productos comerciales (Brennan, 2010).

Las algas además tienen un rol sumamente importante en el proceso biológico de las lagunas facultativas, pues son los organismos responsables de la producción de oxígeno molecular, elemento vital para las bacterias que participan en la oxidación bioquímica de la materia orgánica (Gloyna, 2007).

La presencia de las algas en niveles adecuados, asegura el funcionamiento de la fase aeróbica de las lagunas, cuando se pierde el equilibrio ecológico se corre con el riesgo de producir el predominio de la fase anaeróbica, que trae como consecuencia una reducción de la eficiencia del sistema (Rolim, 2000).

El conocimiento de las propiedades y características químicas, físicas y biológicas de las aguas residuales es uno de los aspectos más importantes, para poder determinar la capacidad de uso así como el manejo que se le debe dar a este tipo de agua y si es que se está llevando una adecuada eficiencia del funcionamiento de las lagunas facultativas (Brennan, 2010).

La generación de información más precisa de los microorganismos presentes y características fisicoquímicas en los diferentes puntos del sistema de lagunaje nos dará una mejor interpretación de la situación existente en el tratamiento de aguas residuales, permitiendo una mejora en la calidad del efluente (Vargas, 2012).

La finalidad del presente trabajo fue evaluar el grado de correlación de la eficiencia de depuración de las aguas residuales de las Plantas de Tratamiento de Copare y Magollo en la Provincia de Tacna por las microalgas para que permitan conocer su capacidad en remoción de materia orgánica, para de tal manera determinar el correcto funcionamiento o déficit de las lagunas.

## **II. ANTECEDENTES**

### **2.1. AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales son aquellas que han sido usadas por una comunidad o industria y contienen material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión (MVC, 2009).

El componente principal de las aguas residuales es obviamente agua (99,4 %), pero el porcentaje residual (0,06 %) es suficiente para poner en riesgo la salud pública y el ambiente, (Liquidano, 2008).

#### **2.1.1. COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL**

La composición del agua residual se refiere a las propiedades físicas y a los componentes químicos, biológicos y microorganismos patógenos de origen fecal del agua residual; parámetros importantes para el tratamiento y vertido, así como para la gestión técnica de la calidad ambiental según Mujerriego (1990), Metcalf y Eddy (1991). Citados por Kestle (2004).

## **A. COMPOSICIÓN FÍSICA**

### *1. Temperatura*

La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica (Valencia, 2012).

### *2. Turbidez*

La turbidez, medida de la propiedad de transmisión de la luz del agua, es otro ensayo utilizado para indicar la calidad de los vertidos de aguas residuales con respecto a la materia suspendida (Rivas, 2011).

### *3. Sólidos Totales*

Los sólidos totales presentes en el agua residual se clasifican según su tamaño o presentación en sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

- Sólidos suspendidos: son las partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basuras, etc., y aquellas que también son perceptibles a simple vista y posibilidades de ser separadas del líquido por medios

físicos sencillos. Se pueden distinguir los sólidos sedimentables, que se depositarán por gravedad en el fondo de los receptores. Estos sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación (Rivas, 2011).

- Los sólidos filtrables: son la fracción filtrable de los sólidos corresponde a los sólidos disueltos y a los sólidos coloidales (Valencia, 2012).

#### 4. *Color*

El color es un indicativo de la edad de las aguas residuales. El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce y el color cambia a negro. En esta condición, se dice que el agua residual es séptica (Rivas, 2011).

#### 5. *Olor*

El olor es debido a los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica, sobre todo, a la

presencia de ácido sulfhídrico y otras sustancias volátiles. El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero más tolerable que el del agua residual séptica (Valencia ,2012).

## **B. COMPOSICIÓN QUÍMICA**

### *1. Materia Orgánica*

La materia orgánica está compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas. Cerca del 75 % de los sólidos en suspensión y el 40 % de los sólidos filtrables de un agua residual son de naturaleza orgánica. Estos sólidos provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos; los cuales están formados por combinaciones de carbono, hidrógeno, y oxígeno, con la presencia en determinados casos, de nitrógeno, azufre, fósforo o hierro (Andrade, 2008).

Además de estos elementos también se encuentran pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas

sintéticas tanto simples como complejas, ejemplos típicos de éstos son: surfactantes, contaminantes orgánicos, compuestos orgánicos volátiles y pesticidas de uso agrícola. Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina (Metcalf y Eddy, 1995).

La importancia de controlar la presencia de estas sustancias radica en que debido a su naturaleza, son oxidados por procesos biológicos en presencia de microorganismos, por lo que esta oxidación se traduce en una disminución del oxígeno disuelto, lo que puede destruir la fauna acuática si llega a unos límites mínimos. Este tipo de contaminación se determina mediante la Demanda Bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y la Demanda química de oxígeno (DQO) (Seoáñez, 2005).

## 2. *Materia Inorgánica*

Entre los elementos inorgánicos de mayor importancia en las aguas residuales se encuentran los considerados como nutrientes, como son el nitrógeno y el fósforo.

### **Nitrógeno**

Las principales fuentes de nitrógeno en las aguas residuales son la orina que contiene el nitrógeno (urea) proveniente de la degradación metabólica de las proteínas y las heces de los animales que contienen grandes cantidades de material orgánico proteico no asimilado (Metcalf y Eddy, 1995).

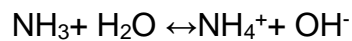
El nitrógeno puede estar presente en múltiples formas y son numerosas las transformaciones que éste puede sufrir. Es deseable (y está establecido) reducir el nitrógeno total, compuesto por nitrógeno orgánico ( $N_{org}$ ), amoníaco ( $N-NH_3$ ), nitrito ( $N-NO_2^-$ ) y nitrato ( $N-NO_3^-$ ), de la siguiente manera (Andrade, 2008):



En el agua residual reciente, el nitrógeno se halla principalmente combinado en forma de materia proteica y

urea, aunque su paso a la forma amoniacal se produce enseguida.

El nitrógeno amoniacal se encuentra en solución acuosa, bien en forma de ión amonio o como amoníaco, en función del pH del agua, de acuerdo a la siguiente ecuación de equilibrio:



A niveles de pH superiores a 7, el equilibrio se desplaza hacia la izquierda, mientras que el ión amonio es predominante a valores de pH menores a 7 (Andrade, 2008).

Por su parte, el nitrógeno en forma de nitrito es relativamente inestable y fácilmente oxidable a la forma de nitrato, siendo esta última la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en las aguas residuales (Metcalf y Eddy, 1995).

El exceso de nitrógeno puede ocasionar problemas de eutrofización en los cuerpos receptores de aguas residuales, mediante la estimulación del crecimiento de algas, además algunas formas de nitrógeno pueden ser tóxicas para gran

parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas (Romero, 1995).

### **Fósforo**

El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos, encontrándose frecuentemente en soluciones acuosas bajo la forma de ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{HPO}_4^{-2}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), polifosfatos ( $\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$ ) y fósforo orgánico, siendo este último de poca importancia en la mayor parte de los residuos domésticos. Los fosfatos pueden estar presentes en las aguas residuales como resultado del uso de fertilizantes, sustancias químicas, jabones, detergentes, pesticidas, residuos fecales, entre otros, pudiendo alcanzar concentraciones de hasta  $50 \text{ mg.l}^{-1}$  (Kiely, 1999).

Debido a que en las aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales y a través de las escorrentías naturales (Metcalf y Eddy, 1995).

### 3. Gases

Las aguas residuales urbanas contienen diversos gases con diferente concentración, los que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas residuales son el nitrógeno ( $N_2$ ), el oxígeno ( $O_2$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), el amoníaco ( $NH_3$ ) y el metano ( $CH_4$ ). Los tres primeros gases de común presencia en la atmósfera se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma, mientras que, los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales (Metcalf y Eddy, 1995).

El gas más importante en estas aguas es el oxígeno disuelto, el cual es consumido por la actividad biológica. El oxígeno disuelto depende de muchos factores como la temperatura, altitud, movimientos del curso receptor, actividad biológica, entre otros (Seoáñez, 2005).

## C. COMPOSICIÓN BIOLÓGICA

Las aguas residuales urbanas contienen un gran número de organismos vivos que son los que mantienen la actividad biológica, produciendo fermentaciones, descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica. Entre estos organismos se encuentran las bacterias, hongos, algas, virus y animales (Seoáñez, 2005).

### 1. *Bacterias*

Son organismos unicelulares móviles o inmóviles de formas diversas (cocos, bacilos, espirilos, filamentosas) de tamaño y modo de vida diferentes según la especie y el medio. Entre las más importantes dentro de las aguas residuales se encuentran las bacterias nitrificantes *Nitrobacter* y *Nitrosomonas*. Estas son aerobias, las primeras oxidan el ácido nitroso y las segundas el amoníaco (Seoáñez, 2005).

### 2. *Algas*

Suelen ser plantas microscópicas de los siguientes tipos: Planctónicas (dispersas), Epifíticas (fijas en el fondo de estanques y lagunas) y Bénticas (sobre la superficie de los

sedimentos). En principio las aguas residuales pueden contener (Andrade, 2008):

- Cianofíceas: El nombre común dado a este grupo es algas verde-azules. Habitan en aguas dulces y marinas o en las tierras de todos los continentes. Se reproducen por división celular simple.
- Clorofíceas: Los miembros de este diverso y gran grupo de organismos, llamados algas verdes, son principalmente especies de agua dulce. Se reproducen por zoosporas, fisión y otros métodos asexuales o por métodos sexuales como isogamia o heterogamia. Algunas representantes de este grupo son: *Clamydonomas*, *Scenedesmus* y *Chlorella*, entre otras.
- Crisofíceas: Son algas pardo-doradas, la mayor parte son unicelulares pero algunas forman colonias. La reproducción es por lo común asexual (fisión binaria) aunque también ocasionalmente por isogamia. Algunas representantes de este grupo son: *Bacillariophytas*, *Xanthophytas*.

- Euglenas: Son microorganismos unicelulares que se desplazan rápidamente por medio de flagelos y se reproducen por división celular. Al realizar la fotosíntesis utilizan la luz del sol como fuente de energía y se desarrollan tomando CO<sub>2</sub> y sales minerales del agua y emitiendo oxígeno.

### 3. *Hongos*

Los hongos se implantan en la materia orgánica en descomposición. Los más importantes son: *Mucor*, *Oidium*, *Aspergillus* y *Penicillium* (Seoáñez, 2005).

### 4. *Virus*

Son partículas parasíticas que no tienen la capacidad de sintetizar compuestos nuevos. Los más comunes en aguas residuales son: Adenovirus, Enterovirus, Hepatitis A, Reovirus y Rotavirus (Metcalf y Eddy, 1995).

### **2.1.2. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales presentan una cierta homogeneidad en cuanto a composición y carga contaminante. Sin embargo, esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipo de industria, entre otros (Metcalf y Eddy, 1995).

Las aguas residuales se clasifican en:

#### **1. Aguas Residuales Domésticas**

Estas aguas domésticas tienen contaminantes como patógenos, gérmenes, sólidos, detergentes, fósforo, materia orgánica, nitrógeno, entre otros. Las aguas residuales domésticas son aquellos líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales, instituciones y espacios recreacionales. Los usos a los que se destina incluyen el agua que se bebe, la usada para limpieza, higiene, fines culinarios, evacuación de residuos, y regado de jardines y zonas verdes particulares. (Salvato, J, A. 1985).

## 2. Aguas Residuales Pecuarias

Estas aguas tienen las características muy parecidas a la de las aguas residuales domésticas, debido a que estas aguas residuales provienen de los animales que tienen sangre caliente como los que están en actividad en la ganadería, por ejemplo de los camales (Sánchez, 2014).

## 3. Aguas Residuales Industriales

Según (Salvato, J, A. 1985), la cantidad de agua con que los municipios abastecen a las industrias para su uso en los diferentes procesos de producción presenta una gran variabilidad. Las industrias grandes consumidoras de agua, como las refinerías, químicas y conserveras, suelen abastecerse al margen de las redes públicas de abastecimiento de agua. En cambio, industrias cuyas necesidades y consumos son bastante menores, como las dedicadas a productos de tecnología, sí se abastecen a través de las redes públicas.

Las aguas residuales industriales son aquellas provenientes de industrias de manufactura y requieren tratamiento antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado municipal; como las

características de estas aguas residuales cambian de una a otra industria, los procesos de tratamiento son también muy variables (Sánchez, 2014).

#### 4. Aguas residuales urbanas

Según Seoanez, 1995, las aguas residuales urbanas no alcanzan, el nivel que deberían tener para compensar la diferencia que existe con la capacidad depuradora de los ríos. Las aguas residuales de las urbes, sin residuos industriales, provocan una perturbación que se manifiesta principalmente por la disminución del oxígeno disuelto debido a la materia orgánica que agregan. Estas se originan mediante el aporte de desechos humanos y animales, residuos domésticos, de restos vegetales, de aguas de lluvia, aguas de lavado y otros.

Un factor importante es debido al tiempo de haber sido generada, mientras más tiempo es séptica y pestífera (agua de color negro); dicha agua residual posee un olor muy similar al sulfhídrico (huevos podridos) (Sánchez, 2014).

### **2.1.3. TIPOS DE LAGUNAS**

Según Silva (2004), “el funcionamiento de las lagunas para el tratamiento de las aguas residuales está gobernado por diferentes factores, procesos de tratamiento, condiciones para cada laguna, criterios de diseño para cada tipo de lagunas de estabilización, entre otros”.

Por la finalidad del tratamiento del agua, las lagunas se clasifican en:

#### **1. Lagunas aerobias**

Según Rodríguez, (2009), “las lagunas aerobias se pueden clasificar, según el método de aireación sea natural o mecánico, en aerobias y aireadas”. Son de alta producción de biomasa, cuya profundidad es reducida entre 0,3 a 0,45 metros, en la cual, mediante la penetración de la luz solar hasta el fondo y por su diseño para una máxima producción de algas con cortos períodos de retención, la reducción de la materia orgánica es efectuada por la acción de organismos aeróbicos (Hernández, 2013).

## 2. Lagunas anaerobias.

Según Romero, (1999) indica que en las lagunas anaerobias el tratamiento se lleva a cabo por la acción de bacterias anaerobias, el oxígeno está ausente en toda la laguna y es cuando la carga orgánica aumenta mucho, la  $DBO_5$  excede la producción de oxígeno de las algas, actuando como un digestor anaeróbico abierto.

El objetivo perseguido es retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión, que pasan a incorporarse a la capa de fangos acumulados en el fondo y eliminar parte de la carga orgánica (Sánchez, 2014).

## 3. Lagunas facultativas.

Según Rolim, (2000), las lagunas facultativas son aquellas que poseen una zona aerobia y una anaerobia, siendo respectivamente en superficie y fondo.

La profundidad de las lagunas facultativas suele estar comprendida entre 1 y 2 metros, para facilitar así un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical (Rolim, 2000).

Según Rolim, (2000), las bacterias y algas actúan en forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos, teniendo como finalidad de estas lagunas, la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado por las algas presentes Silva (2014).

#### **2.1.4. TRATAMIENTOS DEL AGUA RESIDUAL**

El tratamiento de las aguas residuales consiste en los procesos físicos, químicos y biológicos o bacteriológicos y su principal finalidad es de eliminar todos los contaminantes que se encuentran en el agua efluente del uso humano y así evitar enfermedades de origen hídrico (Sánchez, 2014).

Existen diversos factores para la selección de un proceso de tratamiento de agua residual, como son (Sánchez, 2014):

- Características del agua residual
- Criterios de calidad (legislación ambiental vigente)
- Costos de implantación, operación y mantenimiento.
- Confiabilidad del sistema.

- Capacidad de crecimiento para satisfacer requerimientos futuros.
- Factor económico
- Área disponible

Los tipos de tratamiento que se pueden dar en el agua residual son preliminares o pre tratamiento, primarios, secundarios y dependiendo de los factores antes mencionados, terciarios (Mancl, 2010).

#### **1. Tratamientos preliminares o pre tratamiento**

Las aguas residuales llevan todo tipo de elementos de gran tamaño que deben ser retirados en primer lugar. Las siguientes operaciones tienen la categoría de pre tratamiento: desbaste, eliminación de arenas y desengrasado. El desbaste es la eliminación de los elementos que por su volumen son arrastrados por el agua residual. Suelen ser voluminosos o densos, dependiendo del tipo de población, industria, etc. La ubicación de estos procesos debe estar justo a la llegada de los colectores de la planta de tratamiento (Secretariado, 2008).

## **2. Tratamientos primarios**

El tratamiento primario se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, impuesta por los límites, tanto de descarga al medio receptor como para poder llevar los efluentes a un tratamiento secundario (Peralta, 2013).

Así mismo, el período de retención es normalmente corto, 1 a 2 h. En el tratamiento primario, alrededor del 60 al 70 % de los SS (sólidos en suspensión) son eliminados por la precipitación (Sánchez, 2014). El agua, una vez tratada, se recoge por medio de vertederos periféricos desde donde pasa a las siguientes operaciones de tratamiento o bien es evacuada hacia el exterior, para su vertido (Liquidano, 2008).

## **3. Tratamientos secundarios**

Tiene como objetivo remover la demanda biológica y eliminar la materia orgánica que se encuentra en estado de disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación.

Dicho proceso biológico participan los microorganismos que se encuentran presentes en las aguas residuales (Liquidano, 2008).

Las bacterias son los microorganismos principales y dichas bacterias se alimentan de los sólidos que se encuentran en suspensión y en estado coloidal produciendo en su degradación agua y anhídrido carbónico, y se origina una biomasa bacteriana que se precipitan (Peralta, 2013). Por tal, el agua queda limpia a cambio de producirse unos fangos con lo cual se debe buscar la manera de que sean eliminados (Mancl, 2010).

#### **4. Tratamiento terciario o avanzado**

Este puede ser de naturaleza biológica o físico-química, en el que se reúne un conjunto de instalaciones de tratamiento, que normalmente se sitúan detrás del tratamiento secundario (Sánchez, 2014).

Su principal objetivo es de suprimir algunos contaminantes específicos que se encuentran presentes en el agua residual, a través de procesos de nitrificación-desnitrificación, procesos de

eliminación de fósforos, biodiscos y lechos bacterianos, lagunaje de maduración, lagunas de macrofitas, filtros verdes y sistemas de aplicación al suelo en general, filtros y ultrafiltración, ozonización y radiación ultravioleta (Sánchez, 2014).

Debemos saber que no todas las plantas tienen esta etapa ya que dependerá de la composición del agua residual y el destino que se le dará (Liquidano, 2008).

## **2.2. MICROALGAS**

Las microalgas son organismos fotosintéticos eucarióticos unicelulares o multicelulares que no tienen complejidad de tejidos (Kadlec & Wallace 2009; Park et al. 2011), estas pueden encontrarse tanto en medios terrestres como acuáticos (Carrillo 2003; Peña et al, 2005); de allí que se puedan considerar ubicuas. Dependiendo de la especie, las algas pueden variar su tamaño desde 1 micra ( $\mu\text{m}$ ) hasta unos pocos cientos de micrones de tamaño. Existe una gran biodiversidad de microalgas. Se ha estimado entre 200,000 y 800,000 especies existentes de las

cuales sólo alrededor de 35,000 especies se han identificado y descrito (Cerón, 2013).

### 2.2.1. CLASIFICACIÓN DE LAS ALGAS

Se adoptará el sistema de clasificación propuesto por Van Den Hoek et al. (1995) y apoyado por Gualtieri & Barsanti (2006)

Tabla N° 1. Sistema de Clasificación algal de los diferentes grupos.

REINO	DIVISIÓN	CLASE
Procariota eubacteria	Cianofita	Cianoficeae
	Proclorofita	Procloroficeae
Eucariota	Glaucofito	Glaucoficeae
	Rodofita	Bangioficeae
		Florideoficeae
	Heterocontofita	Crisoficeae
		Xantoficeae
		Eustigmatoficeae
		Bacilarioficeae
		Rapidofoficeae
		Dictiocoficeae
		Faeoficeae
	Haptofita	Haptoficeae
	Criptofita	Criptoficeae
	Dinofita	Dinoficeae
	Euglenofita	Euglenoficeae
	Cloracnifita	Cloracnoficeae
	Clorofita	Prasinoficeae
		Cloroficeae
		Ulvoficeae
		Cladoforoficeae
		Briopsidoficeae
Zignematoficeae		
Trentepohlioficeae		
Klebsormidoficeae		
Caroficeae		
Dasycladoficeae		

Fuente: Cerón, 2011

### **2.2.2. PROCESOS DE LAS MICROALGAS EN EL AGUA RESIDUAL**

La microbiología de los sistemas de tratamiento de agua residual es compleja y muy variada. Los procesos microbiológicos que se llevan a cabo en estos sistemas son de mucha importancia ya que juegan un papel importante para la desinfección del agua residual (Cabrera, 2014).

En los sistemas lagunares existen condiciones adecuadas para el desarrollo de microalgas, debido a la alta presencia de luz, nitrógeno inorgánico (amonio y nitratos) y fósforo, además de metales pesados. Por ello las microalgas constituyen parte de un tratamiento que ofrece remover de manera altamente eficiente los nutrientes y metales pesados, además de producir biomasa con alto contenido de lípidos que posteriormente se puede utilizar para numerosos propósitos (Abdel-Raouf et al., 2012).

Generalmente en un tratamiento convencional de aguas residuales, se halla una alta fuente de carbono que es necesario para convertir el nitrato en gas nitrógeno, y biomasa excesiva generada por el tratamiento, estos deben ser tratados y desechados de una manera segura y eficiente, resultando una operación costosa

(Yang et al. 2003). En contraste, el proceso de asimilación del nitrato por microalgas tiene una ventaja sobre la remoción biológica convencional, el nitrato puede ser convertido en biomasa sin ninguna fuente externa de carbono (Kang et al.2006). Los principales mecanismos de eliminación de nutrientes de algas de las aguas residuales incluyen la captación y extracción celular de amoníaco a través de pH elevado (Hoffman, 1998).

Las microalgas también son capaces de llevar a cabo la fotosíntesis en presencia de luz, convirtiendo el carbón inorgánico y agua en oxígeno y materia orgánica; debido a esto el oxígeno que necesitan las bacterias para oxidar el  $DBO_5$  de las aguas residuales es suministrado principalmente por microalgas que crecen de forma natural y profusa en los sistemas lagunares; con un característico color verde; y el dióxido de carbono que necesitan las algas es proporcionado principalmente por las bacterias presentes en los estanques como un producto final de su metabolismo; de esta manera se crea una relación simbiótica entre las algas y las bacterias del estanque (Mara, 2004), un esquema de esto se muestra en la Figura 1.

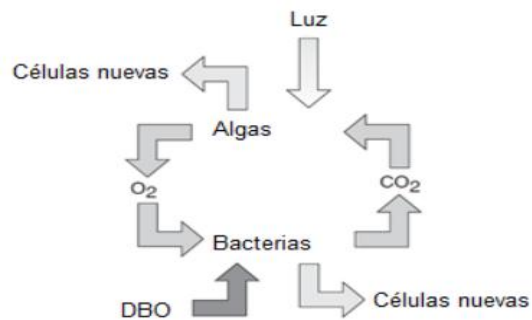


Figura 1. Relación simbiótica entre algas y bacterias presentes en lagunas facultativas (Mara, 2004).

En el proceso de fotosíntesis las algas producen materia orgánica necesaria para su supervivencia, convirtiendo la energía de la luz en energía química. Durante las 24 horas del día ellas respiran, oxidan la materia orgánica producida y liberan energía en los procesos de crecimiento, reproducción, movimiento y otros (Cabrera, 2014).

El balance entre la producción (fotosíntesis) y el consumo (respiración) de oxígeno favorecen ampliamente a la fotosíntesis, en efecto las algas pueden producir 15 veces más oxígeno del que ellas consumen. De esta forma en los sistemas lagunares se genera una división entre la parte superficial y la parte oscura de la laguna, en donde existe equilibrio entre el oxígeno que se consume

y el que se produce, este punto se denomina oxypause (von Sperling, 2007).

Las microalgas, al ser organismos fotosintéticos, requieren energía lumínica, debido a esto es común que en los sistemas lagunares estas se sitúen cerca de la superficie de la laguna y a medida que la profundidad de esta desciende, la penetración de luz disminuye por lo que la concentración de microalgas se reduce (von Sperling, 2007).

La presencia de las microalgas, en niveles adecuados, asegura el funcionamiento de la fase aeróbica de las lagunas, cuando se pierde el equilibrio ecológico se corre con el riesgo de producir el predominio de la fase anaeróbica, que trae como consecuencia una reducción de la eficiencia del sistema (Rolim, 2000).

### **2.2.3. DIVERSIDAD DE ALGAS EN EL AGUA RESIDUAL**

Existe una amplia diversidad de especies de algas y cianobacterias en sistemas de tratamiento lagunar. Comúnmente su concentración está por debajo de los 200 mg/l en términos de

sólidos suspendidos secos y pueden estar en un rango de  $10^4$  a  $10^6$  células por ml (Alvarado, 2013).

Los géneros y las especies que predominan en las lagunas de tratamiento se desarrollan en función de la carga orgánica que estas reciben, sin embargo, una alta carga orgánica provoca que la diversidad de especies disminuya (Cabrera, 2014).

Los principales tipos de algas encontradas en los sistemas lagunares son:

**Alga verde (Chlorophyta) y alga pigmentada (Euglenophyta):**

este tipo de algas le dan el característico color verde a la laguna, predominando los géneros: *Chlamydomonas*, *Chlorella* y *Euglena*. *Chlamydomonas* y *Euglena* son usualmente las primeras en desarrollarse, predominan en periodos fríos y poseen flagelos, lo que ayuda a su movilidad optimizando su posición con relación a la incidencia de la luz (von Sperling, 2007).

**Cianobacterias (Cyanophyta o alga verde azulada):** estas presentan características de alga y bacteria, pero actualmente son

clasificadas como bacterias. Estos organismos no poseen sistema de locomoción, pero son capaces de moverse por deslizamiento. Se pueden proliferar en cualquier ambiente que tenga al menos CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, agua, algunos minerales y luz (Cabrera, 2014).

Son organismos de típicas condiciones de bajo pH y poca disponibilidad de nutrientes, siendo este entorno no muy característico en lagunas de estabilización y desfavorable para las algas verdes. Las Cianobacterias más importantes que están presentes en las lagunas de estabilización son: *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Anacystis* y *Anabaena*. Otro tipo de microalgas que pueden ser encontradas son: *Bacillariophyta* y *Chrysophyta* (von Sperling, 2007).

#### **2.2.4. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO DE LAS MICROALGAS**

El crecimiento microalgal está influenciado por condiciones físicas y químicas, como la concentración de sustrato o de otros factores limitantes que pueden reducir la tasa de crecimiento. Cada especie y subespecie de microalgas tienen sus características propias con respecto a ciertas condiciones de crecimiento, así como

productividades máximas alcanzadas en diferentes configuraciones de cultivos (Ruiz, 2011; Richmond, 2004).

## **1. Luz**

La luz es uno de los parámetros que mayor incidencia tiene en el crecimiento y productividad de microalgas, debido a que el crecimiento de los microorganismos fotosintéticos es proporcional a la intensidad de la luz recibida (Cabrera, 2014).

Las algas son microorganismos que convierten la energía lumínica en metabólica mediante la fotosíntesis, esta energía lumínica puede ser recibida de forma natural en ciclos de día y noche; o artificial, que a su vez puede ser de forma continua o discontinua en ciclos alternados de luz y obscuridad (Romero, 2005).

## **2. Vientos**

La acción de los vientos es útil cuando es posible la homogenización de la masa líquida, llevando oxígeno de la superficie a las capas más profundas, haciendo que el afluente y los microorganismos, sean dispersados en toda la extensión de esa

masa, de esta manera auxilian al movimiento de las algas (Correa, 2008).

Cuando la fotosíntesis no fuere suficiente al existir déficit de oxígeno, el viento puede contribuir para la transferencia y difusión de oxígeno de la atmósfera hacia la masa líquida (Fructuoso, 2015).

### **3. Temperatura**

Es un parámetro directamente relacionado con la cantidad de radiación incidente. Un aumento de la temperatura interior de la laguna, incrementa la productividad microalgal hasta una temperatura óptima (aproximadamente 30°C), ya que por encima de esta, la producción celular disminuye debido al incremento de la respiración y fotorespiración de las algas (Park et al., 2010) y también se reduce la obtención de biomasa debido al fenómeno de fotoinhibición (Fructuoso, 2015)

Las bajas temperaturas inducen a la acumulación celular de polioles y aminoácidos o derivados de aminoácidos que podrían contribuir a la sensibilidad o tolerancia de microalgas a la refrigeración (Richmond, 2004).

#### **4. pH**

El pH es una función de la productividad algal y de la respiración de las algas y bacterias, pues varía la concentración de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua (Fructuoso, 2015).

El pH puede afectar muchos de los procesos bioquímicos asociados con el crecimiento y metabolismo de las algas, incluso la disponibilidad de los iones de nitrógeno como nutrientes (Ruiz Martínez, 2011; Park et al., 2010).

Existen diversos estudios sobre cuál es el pH ideal para el crecimiento de las algas, con un óptimo en un pH ligeramente básico de valor 8 (Kong, 2010). Además, un pH elevado puede mejorar la eliminación del nitrógeno amoniacal y del fósforo a través de la precipitación de fosfatos y la volatilización del nitrógeno (García et al 2000).

#### **5. Oxígeno disuelto**

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD), en la laguna, son el reflejo de la intensa actividad fotosintética. Dependiendo de cada laguna facultativa, la capa oxigenada superficial presenta una

variación diurna de OD y puede que el oxígeno disminuya notablemente durante la noche; pero también puede ocurrir que se observe concentraciones de sobresaturación de OD durante el día, hasta valores determinados, en algunos estudios, de 36 mg/l (Romero, 2005).

El oxígeno disuelto es el principal indicador de una buena actividad en la laguna (Fructuoso, 2015).

## **6. Nutrientes**

### **- Nitrógeno**

El nitrógeno es el nutriente más importante que contribuye a la producción de biomasa. Además, es un factor crítico para la regulación del contenido lipídico celular de las microalgas. Sin embargo, en exceso puede disminuir el crecimiento celular (Park et al., 2010).

El nitrógeno entra a la laguna de estabilización con el agua residual en forma de nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico y nitratos; además, algunas especies de algas pueden fijar nitrógeno atmosférico. Las proteínas son desunidas, mediante

hidrólisis, en aminoácidos, los cuales son descompuestos por las bacterias en amoníaco. El amoníaco soluble se combina con el ión  $H^+$  para formar ión amonio que luego de la oxidación mediante las bacterias nitrificantes produce nitritos y nitratos. Las algas, al utilizar amoníaco como fuente de nitrógeno para construir su material celular, remueven nitrógeno y disminuyen la demanda nitrogenácea de oxígeno del agua residual (Cabrera, 2014).

- **Fósforo**

El fósforo es esencial para el crecimiento de las algas, así como para varios procesos como la transferencia de energía, biosíntesis de ácidos nucleicos, etc. Es uno de los nutrientes más importantes para el crecimiento de las algas (Cabrera, 2014).

El suministro de fósforo influencia a la composición de la biomasa producida, especialmente en el contenido de lípidos y carbohidratos (Richmond, 2004).

Las algas utilizan fósforo inorgánico y lo asimilan en síntesis celular; las bacterias y las algas son fuente de fósforo orgánico a través de su respiración y descomposición (Correa, 2008).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. MATERIALES**

##### **a. Equipos**

- pH metro
- Conductímetro
- Electrodo para OD
- Microscopio Compuesto
- Incubadora para DBO
- Digestor para DQO
- Horno para esterilización
- Autoclave
- Refrigeradora

##### **b. Material de vidrio**

- Cámara de Sedgwick-Rafter
- Láminas y laminillas
- Termómetro
- Vaso de precipitados
- Pipetas de 1 ml

### **c. Otros materiales**

- Botellas de plástico (500 ml)
- Solución de lugol
- Alcohol 96°
- Guantes de látex
- Mascarilla
- Gotero
- Marcador indeleble
- Etiquetas
- Cooler
- Cámara fotográfica

### **3.2. ÁREA DE ESTUDIO**

El presente estudio se realizó en las Plantas de Tratamiento de Agua Residual de Magollo y Cono Sur-Copare de la Ciudad de Tacna.

La Planta de Agua Residual de Magollo está ubicada entre los kilómetros 13 y 14, en la zona límite de Magollo y La Yarada, contigua a la carretera que va a la playa Boca del Río. En su

primera etapa se construyeron dos pares (primarias y secundarias) con una capacidad de 20 l/s cada una, en la segunda etapa dos pares más y actualmente cada par está diseñada para tratar 35 lts/seg. Los módulos de las lagunas facultativas primarias seguidas de las lagunas facultativas secundarias de la Planta Magollo presentan las siguientes características:

**Tabla N°2:** Características de las lagunas facultativas de Magollo

<b>Lagunas Primarias</b>	<b>I ETAPA</b>	<b>II ETAPA</b>	<b>III ETAPA</b>
Cantidad	2	2	2
Largo	182,20 m	260 m	260 m
Ancho	93,20 m	104 m	104 m
Profundidad	1,8 m	2 m	2 m
Área Unitaria	1,70 ha	2,70 ha	2,70 ha
Volumen	30566 m <sup>3</sup>	54080 m <sup>3</sup>	54080 m <sup>3</sup>
<b>Lagunas Secundarias</b>			
Cantidad	2	2	2
Largo	156,20 m	260 m	260 m
Ancho	94,40 m	75 m	75 m
Profundidad	1.50 m	2 m	2 m
Área Unitaria	1,47 ha	2,25 ha	2,25 ha
Volumen	22090 m <sup>3</sup>	45000 m <sup>3</sup>	45000 m <sup>3</sup>

Fuente: Sistema de Tratamiento de Agua - EPS

La planta de agua residual de Magollo tiene una capacidad de diseño para tratar 180 l/s, sin embargo actualmente recibe un caudal de ingreso promedio de 300 l/s que sobrepasa su capacidad.

Mientras que la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Cono Sur – Copare se encuentra ubicada hacia el sur-oeste de la ciudad de Tacna, exactamente en la parte superior del Aeropuerto Crnl. FAP “CARLOS CIRIANI SANTA ROSA” y en el sector de abastecimiento N° 7, lugar que se conoce como Cono Sur, en la actualidad, por el avance de la expansión urbana, se encuentra rodeada de viviendas.

La planta cuenta con un sistema de lagunas, dos lagunas primarias de tipo aerobias; recibiendo la inyección de oxígeno con seis motores aereadores de 10 HP de potencia; y dos lagunas secundarias tipo facultativas. Las características del diseño de las lagunas son las siguientes:

**Tabla N°3:** Características de las lagunas facultativas de Copare

	<b>Lagunas Primarias</b>	<b>Lagunas Secundarias</b>
Cantidad	2	2
Largo	115 m	115 m
Ancho	82 m	82 m
Profundidad	4,6 m	4,6 m
Área Unitaria	1,70 ha	2,70 ha
Volumen	43295 m <sup>3</sup>	43295 m <sup>3</sup>

Fuente: Sistema de Tratamiento de Agua - EPS

La planta de aguas servidas de Cono Sur tiene una capacidad de diseño para tratar 150 l/s, sin embargo, actualmente recibe un caudal de ingreso promedio de 35 l/s.

### **3.3. LUGAR DE EXPERIMENTACIÓN**

Todas las muestras fueron transportadas en un cooler (con un gel refrigerante en su interior) al laboratorio de Control de Calidad Microbiológica de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Calana - EPS, en la ciudad de Tacna, para su análisis.

### **3.4. TIPO DE ESTUDIO**

Se definió como un estudio de diseño descriptivo, prospectivo, de corte longitudinal.

### **3.5. MATERIAL DE ESTUDIO**

El agua residual proveniente de los ingresos y salidas de las lagunas secundarias facultativas de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual de Magollo y Cono Sur-Copare.

### **3.6. METODOLOGÍA DE CAMPO**

#### **3.6.1. OBTENCIÓN Y RECOLECCIÓN DE MUESTRAS**

La toma de muestra se basó en el Standard Methods for Examination of Water & Wastewater, 22ª edición; 10200 B; la muestra se recolectó con ayuda de un muestreador, se vertió a un recipiente (botella de plástico de 500 ml) y se rotuló.

Se tomó y evaluó muestras durante tres meses, con un inicio en el mes de junio. En cada muestreo se obtuvieron 14 muestras. Las muestras se preservaron con solución de lugol, añadiéndose 0,3 ml por cada 100 ml de muestra, conservándose en la oscuridad. Se hicieron tres muestreos, uno por mes.

El muestreo en la Planta de Tratamiento de Copare se realizó mensualmente durante las mañanas, en el ingreso y salida de las dos (2) lagunas secundarias respectivamente, obteniendo dos (2) muestras de 500 ml por cada laguna. En la planta de tratamiento de Magollo, también se realizó el muestreo mensualmente, en el ingreso y salida de las cinco (5) lagunas facultativas secundarias respectivamente, obteniendo dos (2) muestras de 500 ml por cada

laguna facultativa secundaria. El muestreo se realizó en la mañana.

### **3.7. MÉTODOS DE LABORATORIO**

Se utilizaron como base el Standard Methods for Examination of Water & Wastewater, 22<sup>a</sup> edición y el Manual de Análisis de Agua, Tercera Edición de Hach.

#### **3.7.1. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO**

Para el análisis fisicoquímico se determinaron los parámetros de temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y demanda química de oxígeno (DQO).

##### **A. Temperatura**

La lectura de temperatura se realizó sumergiendo el termómetro en el interior de la muestra hasta una profundidad determinada y esperando hasta lectura constante. Esta medida se realizó al momento de tomar la muestra.

#### B. pH

Se evaluó utilizando un electrodo dentro de cada muestra, con una agitación moderada del electrodo para minimizar la entrada de dióxido de carbono y suficiente como para homogenizar la muestra, el electrodo tomó el valor de pH de la muestra, cuando la medida de lectura fue estable por al menos 1 minuto. Entre medida y medida de pH de muestras diferentes, el electrodo se limpió con agua destilada y posteriormente fue secado.

#### C. Conductividad

Se midió la conductividad utilizando un electrodo, el cual se introdujo dentro de la muestra, se dejó estabilizar la lectura por al menos un minuto. Entre medida y medida de conductividad de muestras diferentes, el electrodo se limpió con agua destilada y luego fue secado.

#### D. Oxígeno disuelto

Se introdujo el electrodo en la muestra, se esperó a que se llegara a estabilizar y muestre el valor de la muestra. Al

terminar la medición se lavó el electrodo con agua destilada y posteriormente se secó con papel toalla.

#### E. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Se utilizó la incubadora para DBO<sub>5</sub> marca Hach. El método consistió en llenar 90 ml en un frasco con muestra, cerrando herméticamente e incubarlo a temperatura establecida durante 5 días. Posteriormente, se realizó la lectura.

#### F. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se realizó según el procedimiento del Manual de Análisis de Agua, tercera edición de Hach. La demanda química de oxígeno (DQO), expresada en mg de O<sub>2</sub>/L.

### 3.7.2. ANÁLISIS BIOLÓGICO

#### A. Determinación Cualitativa de Microalgas (CEPIS, 1983)

Llegada la muestra al laboratorio, esta se analizó cualitativamente, para conocer los diversos géneros de algas.

Se colocó una gota de la muestra, previa agitación de la muestra, sobre una lámina portaobjeto, y se cubrió con un cubreobjetos.

Se examinó toda el área que cubría la lámina, identificando todos los organismos con la ayuda del microscopio binocular compuesto.

Estas observaciones se realizaron repetidas veces hasta obtener el mayor número de géneros presentes en la muestra.

#### **B. Determinación Cuantitativa de Microalgas (Standard Methods for Examination of Water & Wastewater, 22ª edición, 20200 F)**

La evaluación cuantitativa del fitoplancton se realizó mediante el uso de una cámara de Sedgwick Rafter (S-R).

Antes de llenar la cámara S-R con la muestra, se colocó el cubreobjetos diagonalmente a través de la cámara y luego se llenó con ayuda de una pipeta de 1 ml con la muestra a observar.

Luego se dejó en reposo durante 15 minutos, y se procedió al conteo de los campos.

### **C. Determinación de los géneros de microalgas**

Las especies de los diferentes taxones se identificaron según las claves del Standard Methods for Examination of Water & Wastewater, 22<sup>a</sup> edición y demás claves taxonómicas relacionadas.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. MICROALGAS IDENTIFICADAS

**Tabla N° 4. Concentración de microalgas identificadas, presentes en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo, entre los meses de junio y agosto 2015.**

N° de Laguna	Punto de Muestreo	Género	Mes (microalgas/ml)		
			Junio	Julio	Agosto
Laguna Secundaria 1	IL1-M	<i>Chlamydomonas</i>	660	1 183	1 212
		<i>Navicula</i>	2	0	0
	SL1-M	<i>Chlamydomonas</i>	1 194	1 052	1 352
		<i>Phacus</i>	13	0	0
Laguna Secundaria 2	IL2-M	<i>Chlamydomonas</i>	1 408	1 537	1 476
	SL2-M	<i>Chlamydomonas</i>	1 852	1 911	1 792
		<i>Phacus</i>	6	5	1
Laguna Secundaria 4	IL4-M	<i>Chlamydomonas</i>	2 832	1 619	1 181
		<i>Navicula</i>	2	2	0
		<i>Phacus</i>	0	0	2
	SL4-M	<i>Chlamydomonas</i>	3 273	2 173	2 715
Laguna Secundaria 5	IL5-M	<i>Chlamydomonas</i>	1 986	558	1 084
	SL5-M	<i>Chlamydomonas</i>	1 521	876	2 670
Laguna Secundaria 6	IL6-M	<i>Chlamydomonas</i>	1 757	736	555
		<i>Phacus</i>	6	2	0
		<i>Navicula</i>	0	4	1
	SL6-M	<i>Chlamydomonas</i>	276	650	734
		<i>Phacus</i>	5	1	0

**FUENTE: Elaboración propia**

**Tabla N° 5. Concentración de microalgas identificadas, presentes en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur, entre los meses de junio y agosto 2015.**

N° de Laguna	Punto de Muestreo	Género	Mes (microalgas/ml)		
			Junio	Julio	Agosto
Laguna Secundaria 1	IL1-CS	<i>Phacus</i>	730	661	687
		<i>Ankistrodesmus</i>	29	51	13
		<i>Coelastrum</i>	21	0	0
		<i>Scenedesmus</i>	1	2	0
		<i>Microactinium</i>	0	0	3
		<i>Navicula</i>	0	0	2
	SL1-CS	<i>Phacus</i>	1 969	1 869	1 902
		<i>Ankistrodesmus</i>	41	60	15
		<i>Coelastrum</i>	14	2	0
		<i>Scenedesmus</i>	0	6	0
		<i>Microactinium</i>	1	0	2
		<i>Navicula</i>	1	0	1
Laguna Secundaria 2	IL2-CS	<i>Phacus</i>	768	724	756
		<i>Ankistrodesmus</i>	110	66	36
		<i>Coelastrum</i>	27	15	6
		<i>Scenedesmus</i>	7	5	2
		<i>Navicula</i>	11	5	2
		<i>Microactinium</i>	0	0	4
	SL2-CS	<i>Phacus</i>	2 013	1 483	1 979
		<i>Ankistrodesmus</i>	90	66	37
		<i>Coelastrum</i>	38	14	5
		<i>Scenedesmus</i>	5	4	0
		<i>Navicula</i>	1	1	0
		<i>Microactinium</i>	0	0	3

**FUENTE: Elaboración propia**

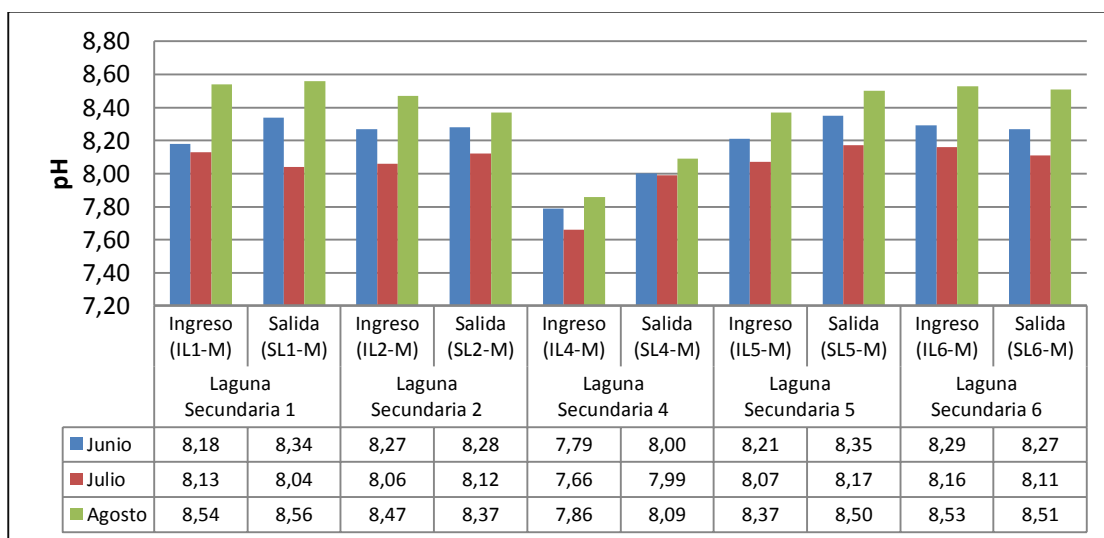
## 4.2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EVALUADOS

Tabla N° 6. Valores fisicoquímicos determinados en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo, entre los meses de junio y agosto 2015.

PLANTA DE MAGOLLO																			
N° de Laguna	Punto	T (°C)			PH			Conductividad eléctrica (uS/cm)			OD (mg/l)			DBO <sub>5</sub> (mg/L)			DQO (mg/L)		
		JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
Laguna Secundaria 1	IL1-M	21,11	18,77	20,81	8,18	8,13	8,54	1 772	1 698	1 728	1,27	1,22	1,30	368	362	343	497	409	414
	SL1-M	20,82	19,56	20,26	8,34	8,04	8,56	1 743	1 707	1 745	1,41	1,12	1,51	271	319	249	354	327	311
Laguna Secundaria 2	IL2-M	20,74	18,95	20,74	8,27	8,06	8,47	1 745	1 683	1 750	1,30	1,39	1,34	348	337	355	475	448	462
	SL2-M	20,0	18,68	20,19	8,28	8,12	8,37	1 746	1 697	1 786	1,41	1,56	1,49	261	246	274	351	331	358
Laguna Secundaria 4	IL4-M	20,50	19,67	19,94	7,79	7,66	7,86	1 890	1 765	1 847	1,49	1,46	1,58	285	355	379	495	426	468
	SL4-M	20,53	18,78	20,0	8,00	7,99	8,09	1 880	1 762	1 825	1,57	1,55	1,84	186	230	228	263	221	224
Laguna Secundaria 5	IL5-M	21,52	19,47	20,31	8,21	8,07	8,37	1 809	1 742	1 799	1,68	1,12	1,21	361	396	378	422	464	447
	SL5-M	21,17	19,29	20,18	8,35	8,17	8,50	1 790	1 721	1 785	1,27	1,17	1,55	270	337	248	318	360	324
Laguna Secundaria 6	IL6-M	21,60	19,76	20,64	8,29	8,16	8,53	1 844	1 819	1 872	1,19	1,06	1,13	354	368	386	428	432	452
	SL6-M	20,83	19,48	20,18	8,27	8,11	8,51	1 843	1 817	1 901	1,01	0,58	1,08	330	318	304	376	370	332

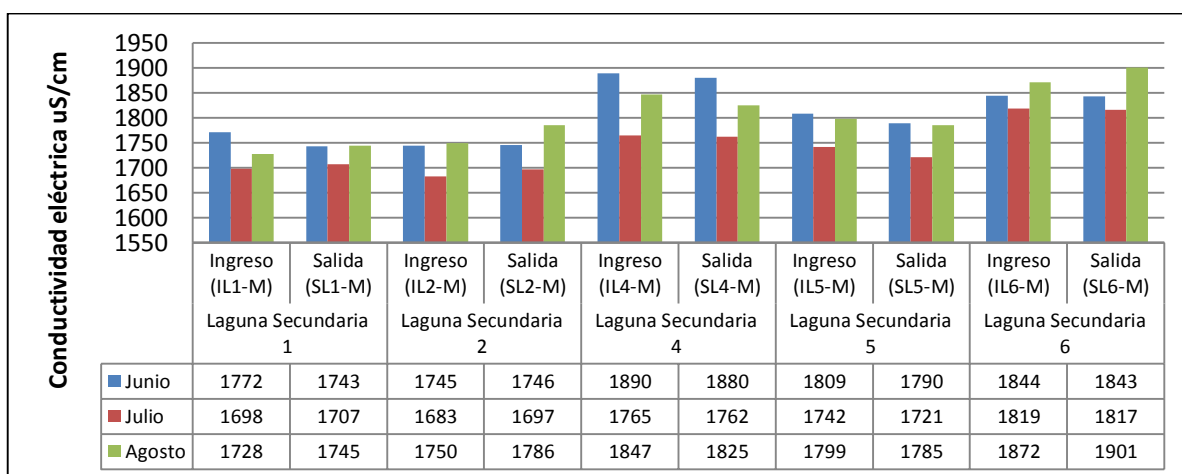
FUENTE: Elaboración propia

**Figura N° 2. Fluctuación del pH entre los meses de junio y agosto 2015, en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo.**



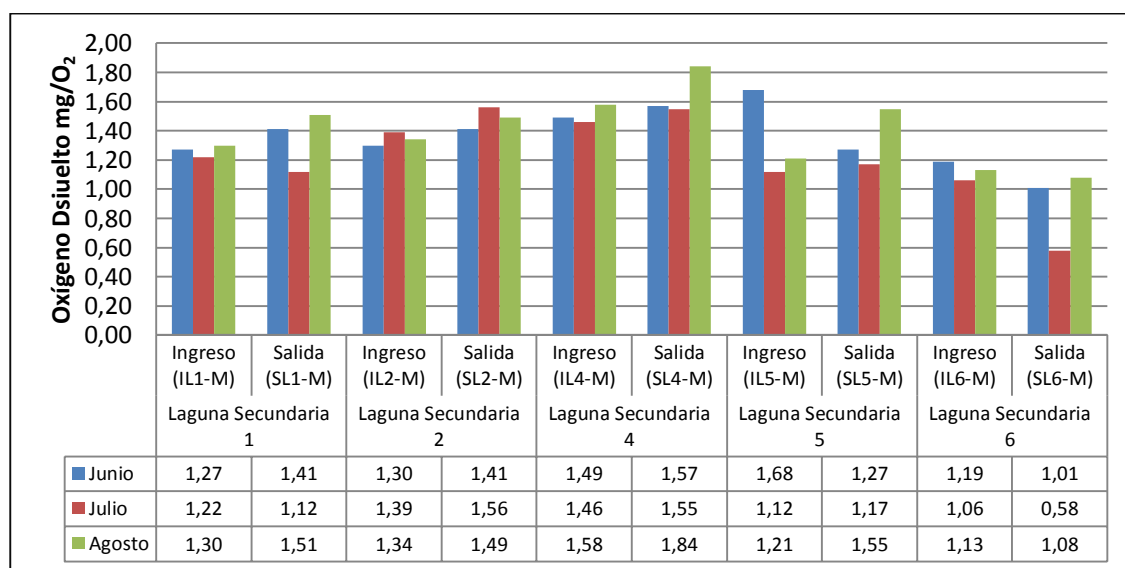
Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 3. Fluctuación de la conductividad eléctrica entre los meses de junio y agosto 2015, en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo.**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 4. Fluctuación del oxígeno disuelto entre los meses de junio y agosto 2015, en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo.**



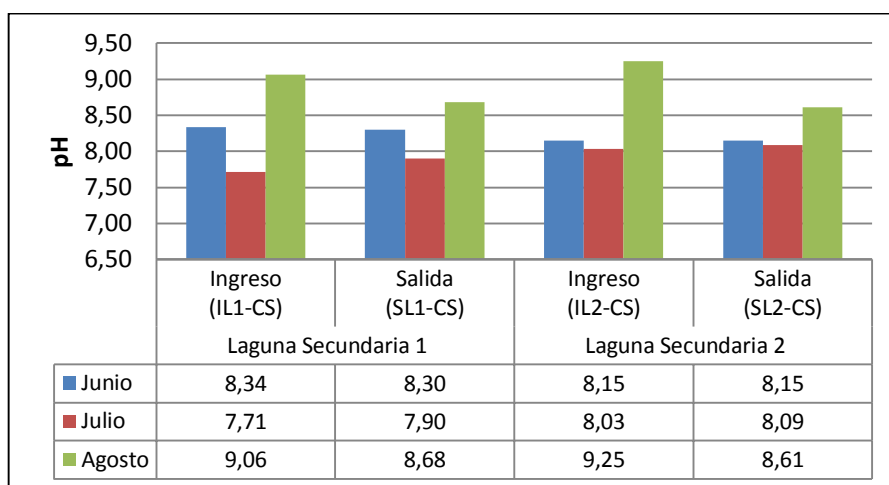
**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 7. Valores fisicoquímicos determinados en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur, entre los meses de junio y agosto 2015.**

PLANTA DE COPARE – CONO SUR																			
N° de Laguna	Punto	T (°C)			PH			Conductividad (us/cm)			Oxígeno disuelto (mg/L)			DBO <sub>5</sub> (mg/L)			DQO (mg/L)		
		JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
Laguna Secundaria 1	IL1-M	21,64	20,40	21,45	8,34	7,71	9,06	1 597	1 602	1 585	3,56	3,62	3,69	354	370	361	486	495	492
	SL1-M	21,17	20,27	21,56	8,30	7,90	8,68	1 592	1 606	1 605	6,71	6,03	6,84	100	118	110	201	212	209
Laguna Secundaria 2	IL2-M	21,73	20,36	21,72	8,15	8,03	9,25	1 595	1 600	1 537	3,63	3,18	3,53	357	346	370	480	498	488
	SL2-M	21,32	20,17	21,48	8,15	8,09	8,61	1 591	1 601	1 599	6,75	5,35	6,16	108	156	108	198	260	175

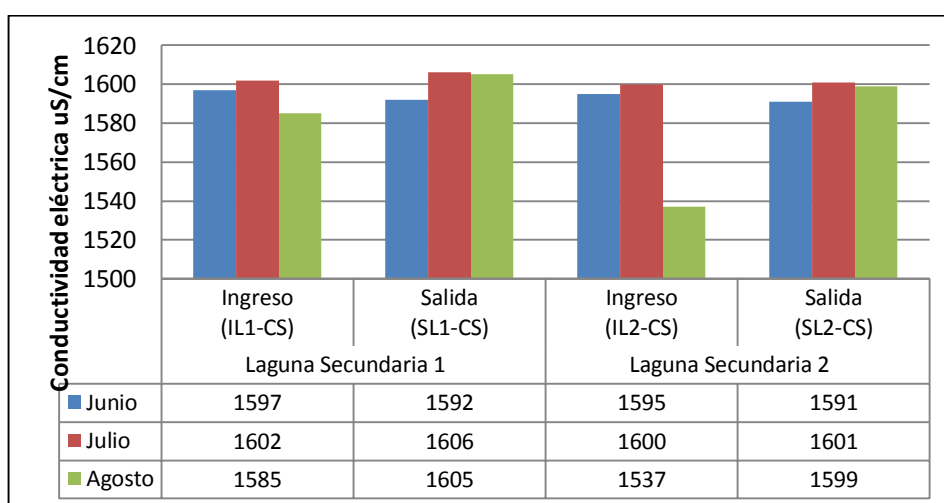
**FUENTE: Elaboración propia**

**Figura N° 5. Fluctuación del pH durante entre los meses de junio y agosto 2015, en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Copare - Cono Sur.**



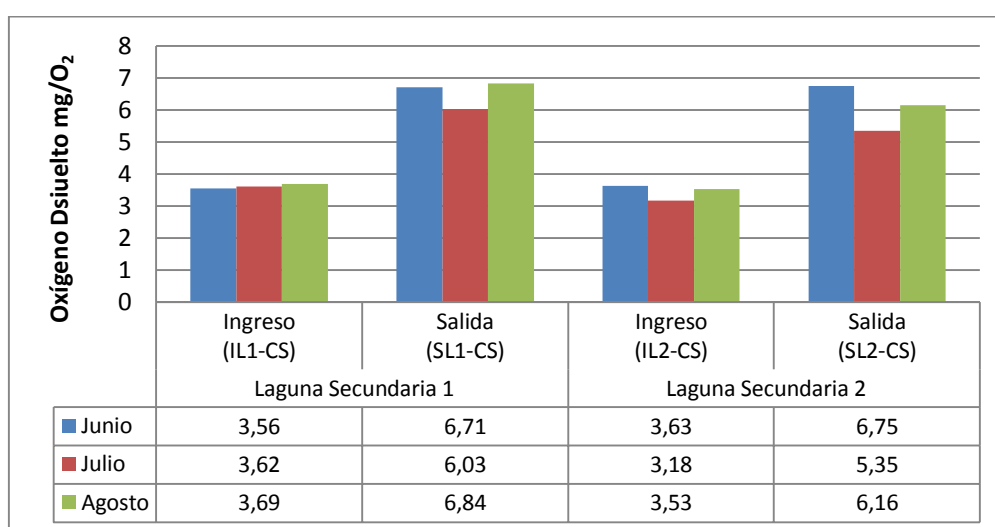
FUENTE: Elaboración propia

**Figura N° 6. Fluctuación de la conductividad entre los meses de junio y agosto 2015, en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Copare - Cono Sur.**



FUENTE: Elaboración propia

**Figura N° 7. Fluctuación del oxígeno disuelto entre los meses de junio y agosto 2015, en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Copare - Cono Sur.**



**FUENTE: Elaboración propia**

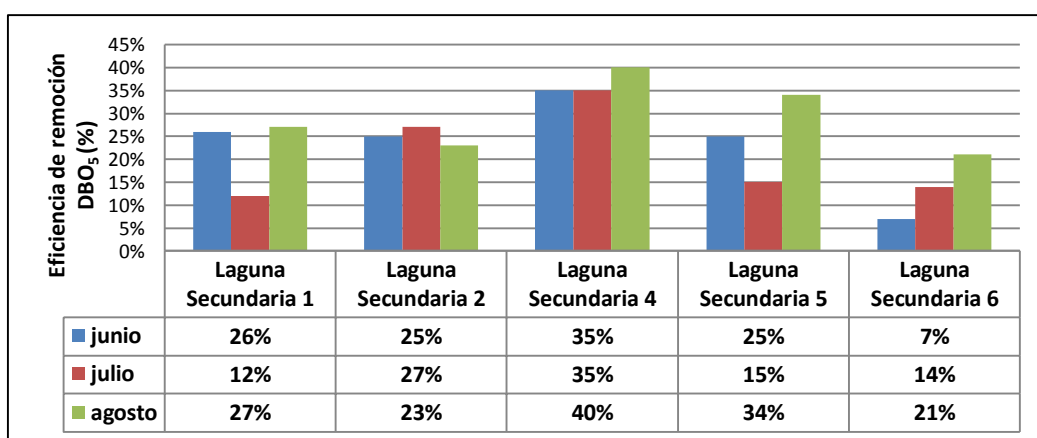
#### 4.3. REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EVALUADA

Tabla N° 8. Diferencia de valores de DBO<sub>5</sub> y DQO porcentuales entre el Ingreso y Salida en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo, entre los meses de junio y agosto 2015.

PLANTA DE MAGOLLO						
N° de Laguna	DBO <sub>5</sub>			DQO		
	JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
Laguna Secundaria 1	26 %	12 %	27 %	29 %	20 %	25 %
Laguna Secundaria 2	25 %	27 %	23 %	26 %	26 %	23 %
Laguna Secundaria 4	35 %	35 %	40 %	47 %	48 %	52 %
Laguna Secundaria 5	25 %	15 %	34 %	25 %	22 %	28 %
Laguna Secundaria 6	7 %	14 %	21 %	12 %	14 %	27 %

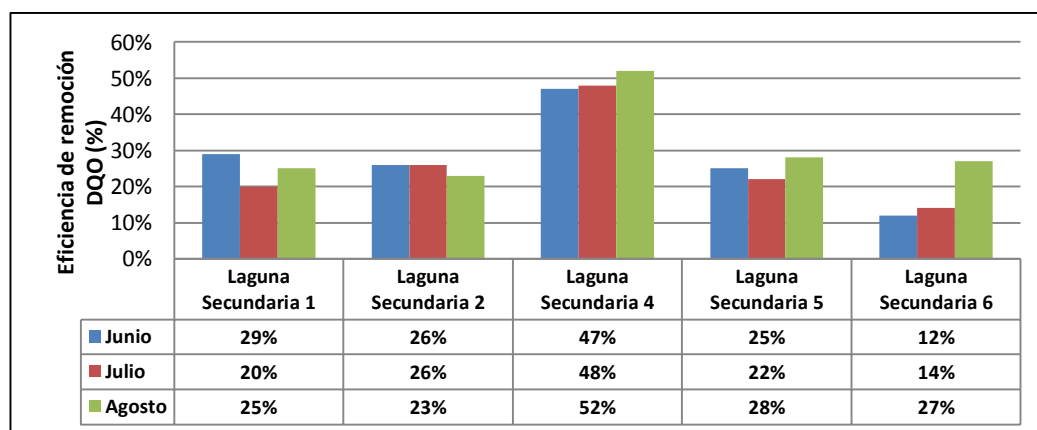
FUENTE: Elaboración propia

**Figura N° 8. Diferencia de valores de DBO<sub>5</sub> porcentuales en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo, entre los meses de junio y agosto 2015.**



FUENTE: Elaboración propia

**Figura N° 9. Diferencia de valores de DQO porcentuales en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo, entre los meses de junio y agosto 2015.**



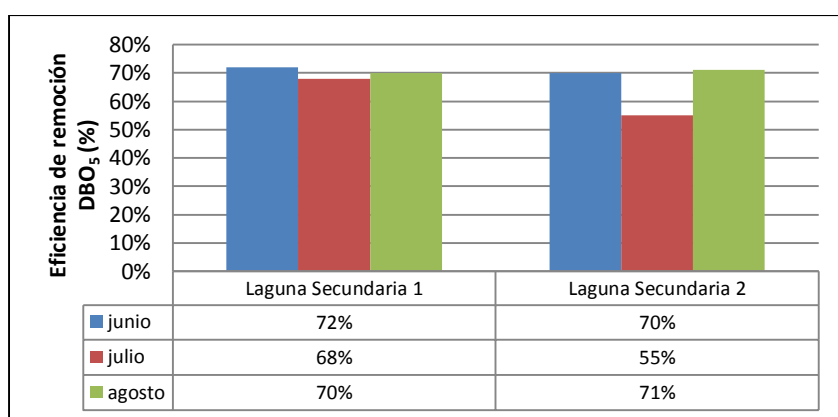
FUENTE: Elaboración propia

**Tabla N° 9. Diferencia de valores de DBO<sub>5</sub> y DQO porcentuales entre el Ingreso y Salida en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur, entre los meses de junio y agosto 2015.**

<b>PLANTA DE COPARE – CONO SUR</b>						
<b>N° de Laguna</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>			<b>DQO</b>		
	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>
<b>Laguna Secundaria 1</b>	72 %	68 %	70 %	59 %	57 %	58 %
<b>Laguna Secundaria 2</b>	70 %	55 %	71 %	59 %	48 %	64 %

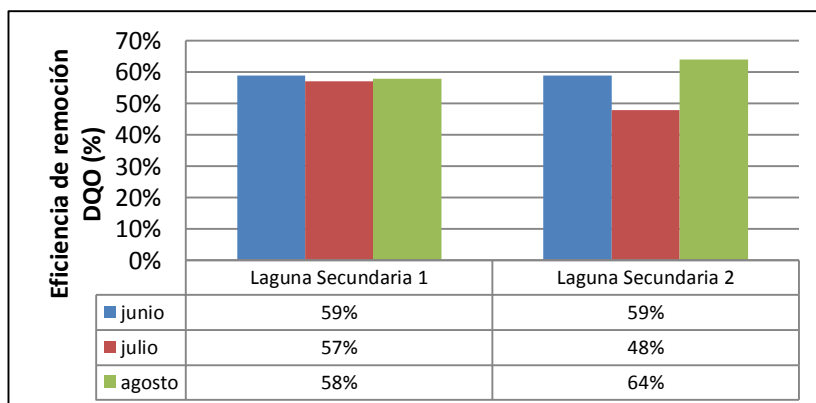
**FUENTE: Elaboración propia**

**Figura N° 10. Diferencia de valores de DBO<sub>5</sub> porcentuales en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur, entre los meses de junio y agosto 2015.**



**FUENTE: Elaboración propia**

**Figura N° 11. Diferencia de valores de DQO porcentuales en las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur, entre los meses de junio y agosto 2015.**



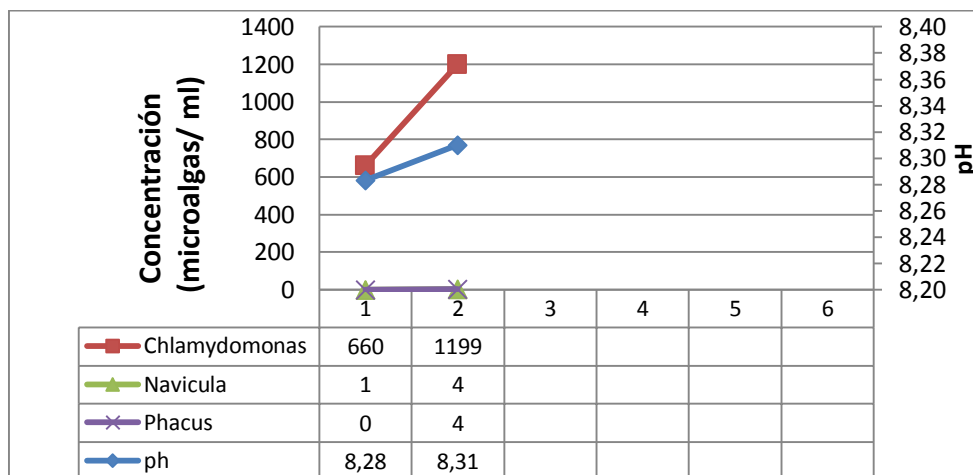
**FUENTE: Elaboración propia**

#### 4.4. GRADO DE RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y LA CONCENTRACIÓN DE MICROALGAS

##### 1. Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo

- Relación estadística entre el pH y la concentración de microalgas en las lagunas secundarias.

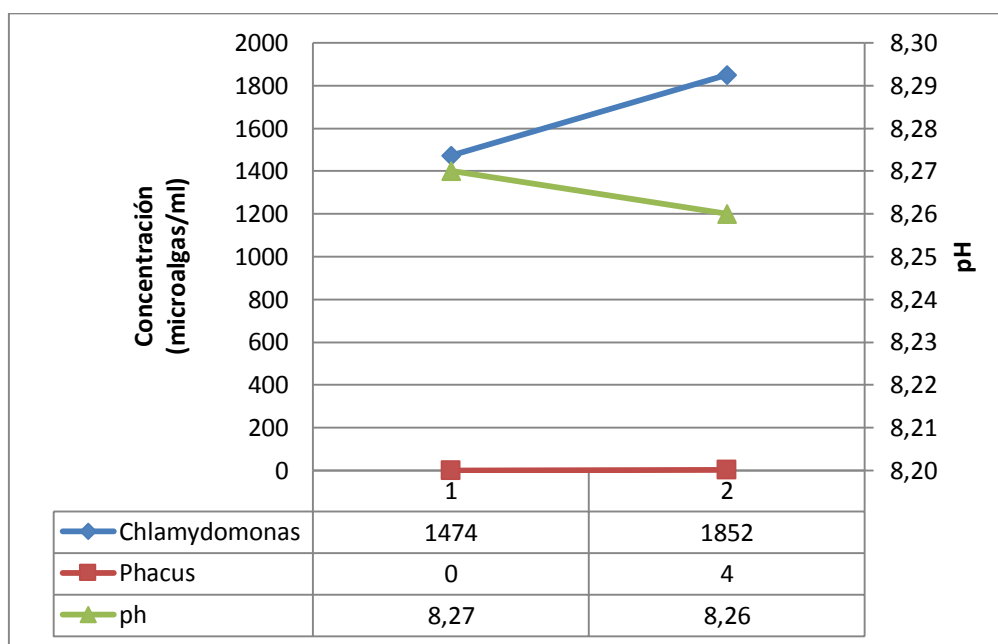
Figura N° 12. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.



Fuente: Elaboracion propia

De la figura N° 12, se puede observar que al incrementarse el pH en la salida de la laguna secundaria 1, también aumentaron las concentraciones de los géneros de microalgas *Chlamydomonas*, *Navicula* y *Phacus*.

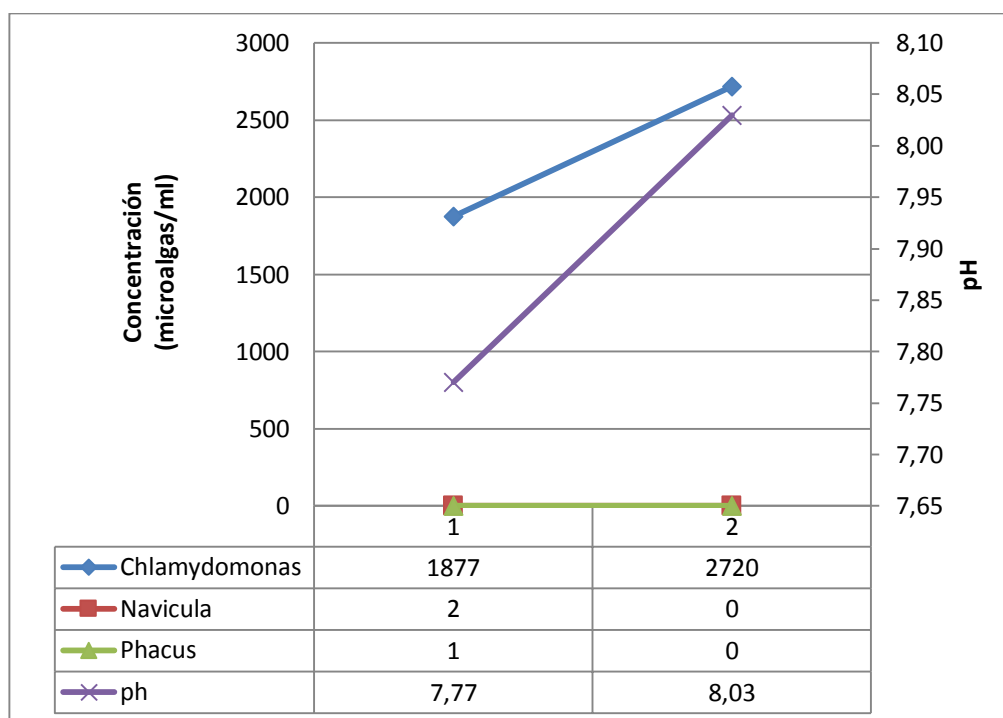
**Figura N° 13. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboracion propia**

Según la figura N° 13, se observa un ligero descenso del pH del ingreso a la salida de la laguna secundaria 2, con respecto a los géneros presentes en la laguna, hubo también un aumento en las concentraciones de microalgas.

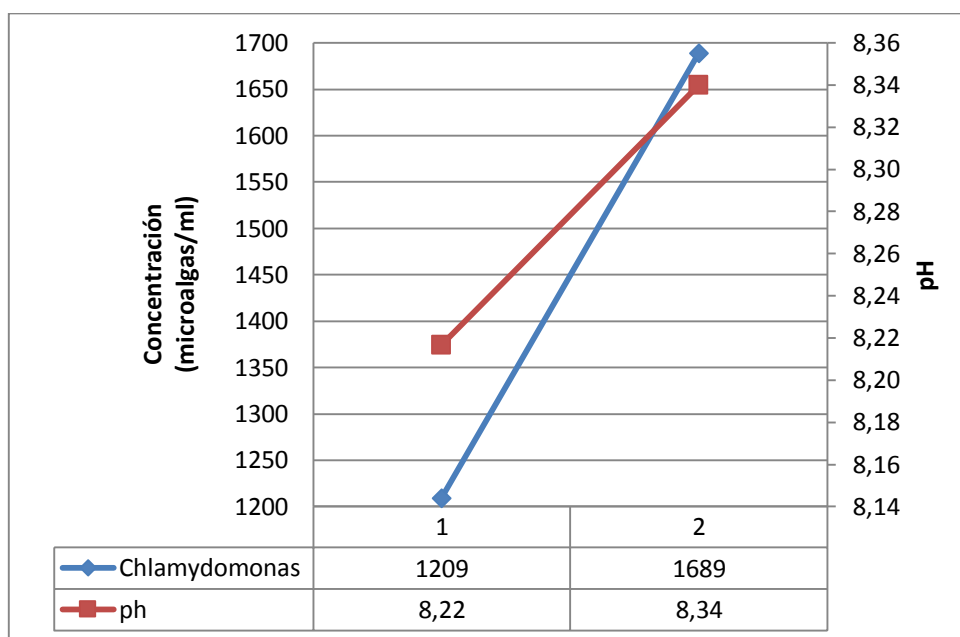
**Figura N° 14. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 4, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

Según la figura N° 14, los valores de pH aumentaron a la salida de la laguna 4, de igual modo la concentración del género *Chlamydomonas*, de manera contraria ocurrió con los géneros *Navicula* y *Phacus*, que disminuyeron.

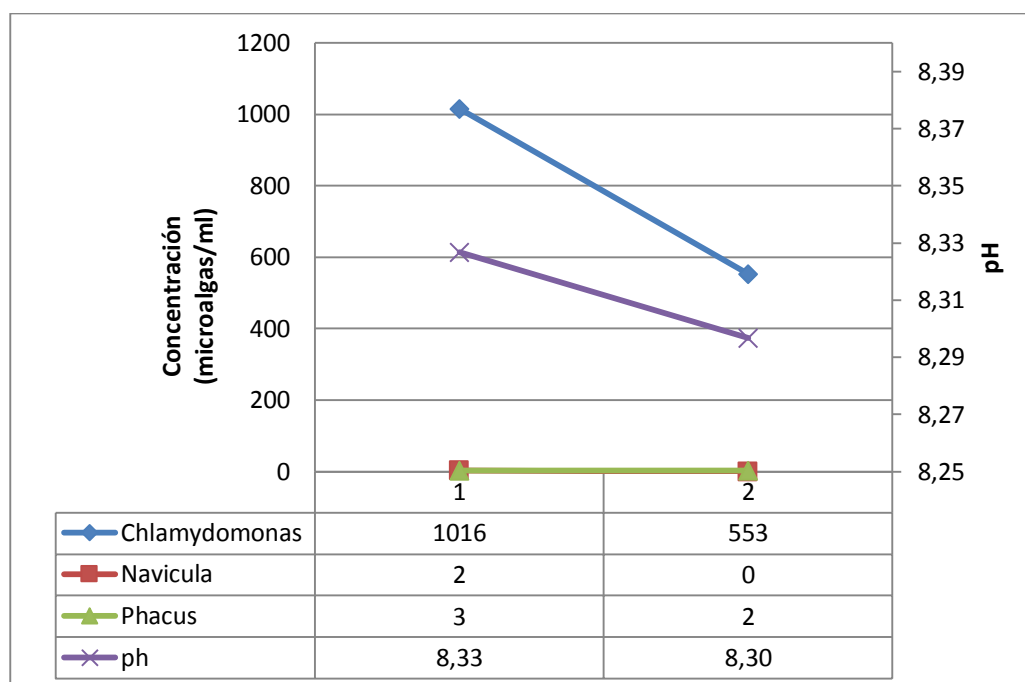
**Figura N° 15. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 5, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboracion propia**

De la figura N° 15, se puede observar que la relación entre el género de microalga *Chlamydomonas* va acorde al pH, ya que este parámetro fisicoquímico desde el ingreso a su salida se incrementó, de igual modo ocurrió con la concentración de la microalga.

**Figura N° 16. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 6, durante los meses de junio y agosto 2015.**

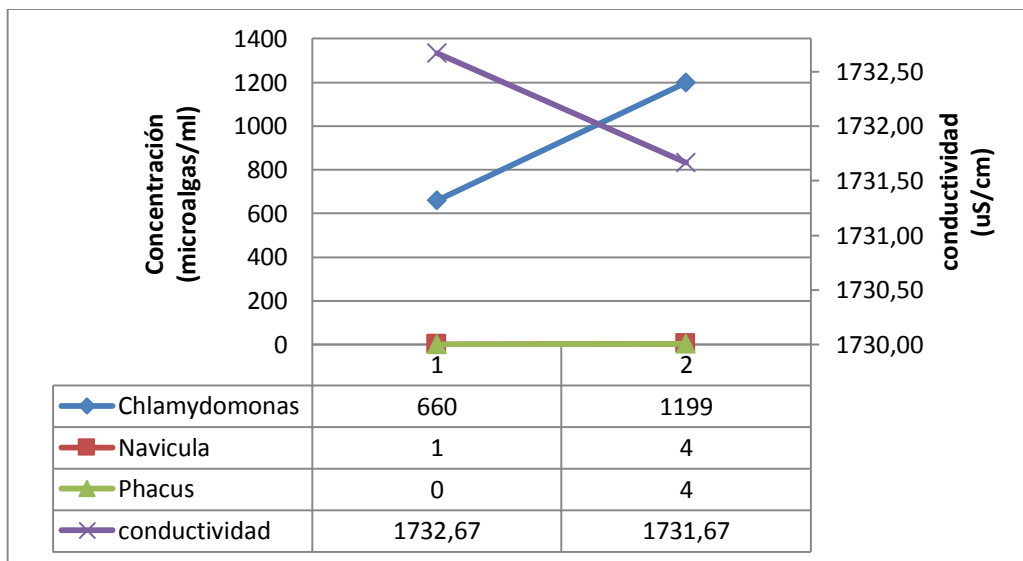


**Fuente: Elaboracion propia**

Según la figura N° 16, los valores de pH disminuyeron en el transcurso del ingreso y salida de la laguna 6, de igual modo ocurrió con la concentración de los géneros *Chlamydomonas*, *Navicula* y *Phacus*.

- Relación estadística entre la conductividad y la concentración de microalgas en las lagunas secundarias.

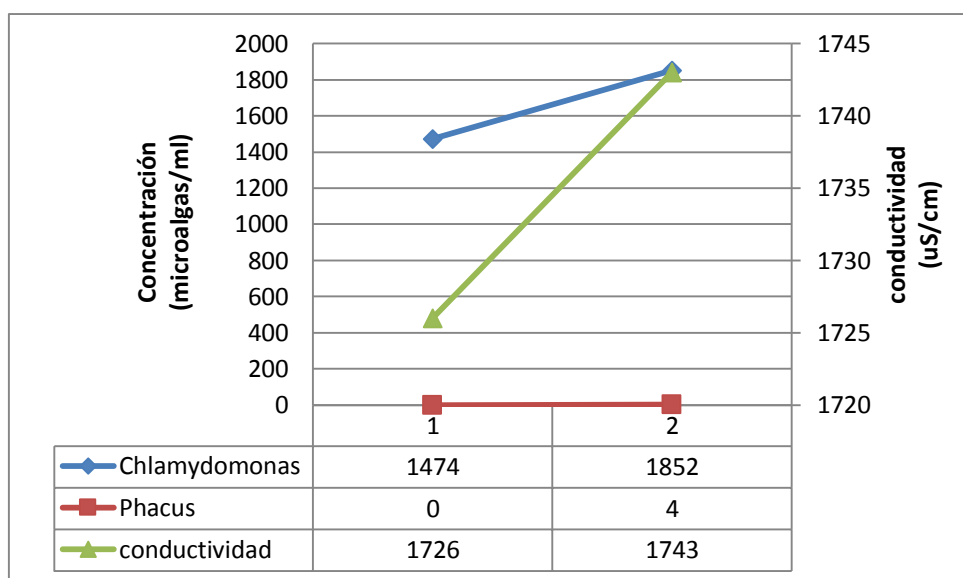
**Figura N° 17. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboracion propia**

De la figura N° 17, se puede observar un ligero descenso de la conductividad, de manera contraria ocurrió con los géneros de microalgas *Chlamydomonas*, *Navicula* y *Phacus*, que aumentaron en concentración en la laguna 1.

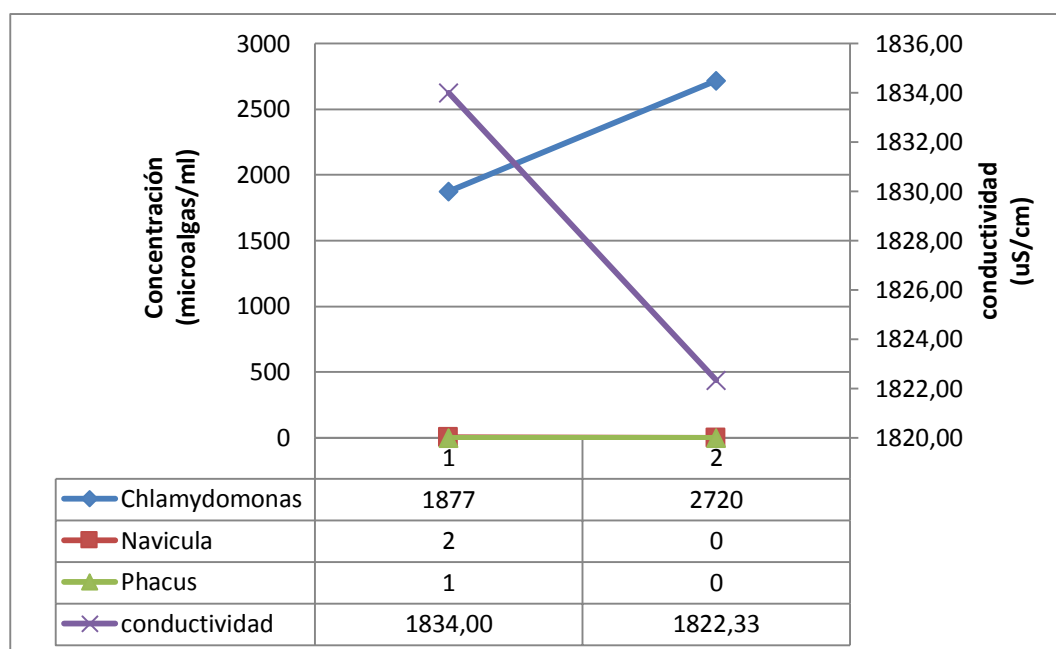
**Figura N° 18. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboracion propia**

Según la figura N° 18, la relación entre la conductividad y la concentración de los géneros de microalgas encontrados en la laguna 2 es positiva, ya que al incrementarse la conductividad, también aumentó la concentración microalgal.

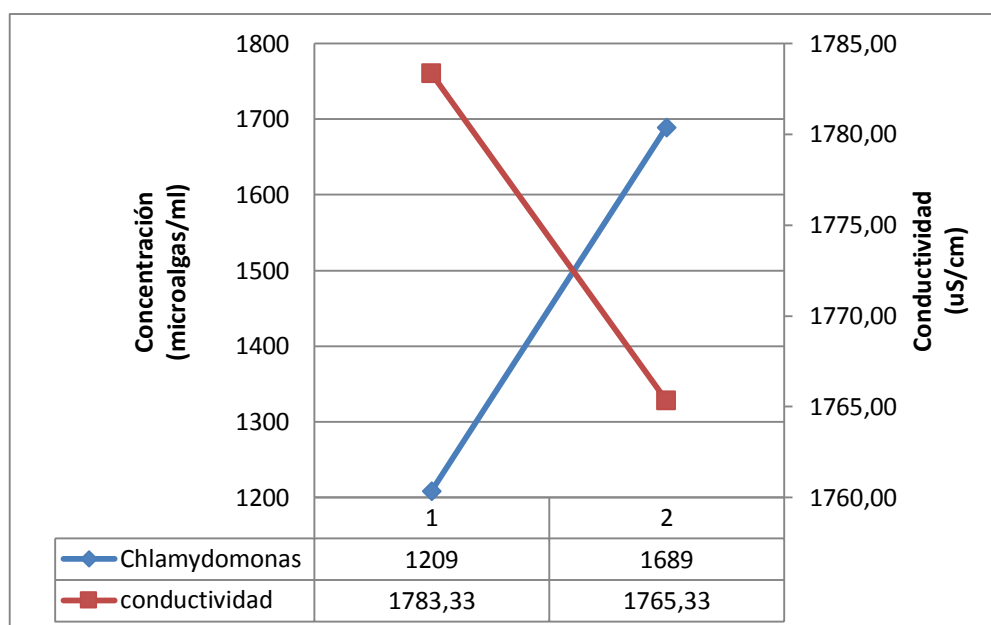
**Figura N° 19. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 4, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboracion propia**

De la figura N° 19, se puede decir que al disminuir el parámetro de conductividad solo hubo un aumento en la concentración del género *Chlamydomonas*, mientras que con los géneros de *Navicula* y *Phacus*, disminuyó la concentración de la laguna 4.

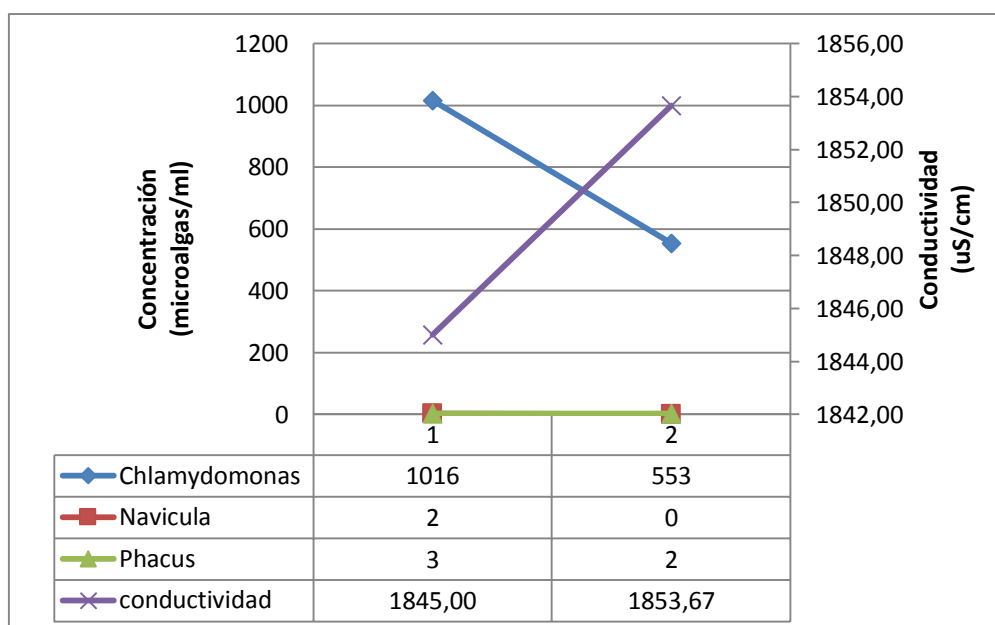
**Figura N° 20. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 5, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

Según la figura N° 20, la relación entre la conductividad y la concentración del género microalgal *Chlamydomonas* es inversamente proporcional, ya que al disminuir la conductividad, la concentración de las microalgas aumentó en la laguna 5.

**Figura N° 21. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 6, durante los meses de junio y agosto 2015.**

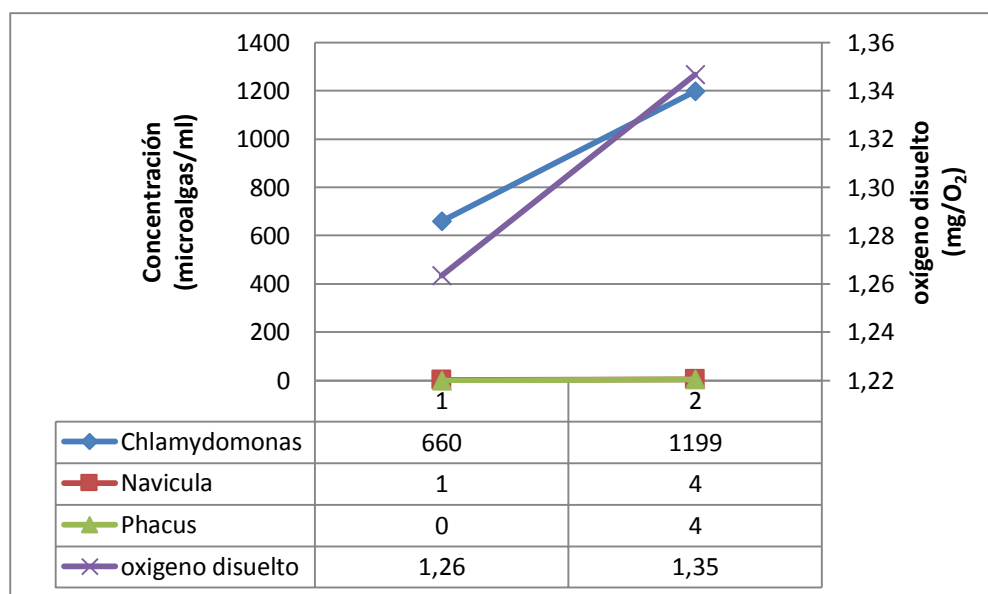


**Fuente: Elaboración propia**

De la figura N° 21, se puede observar que al disminuir la conductividad, las concentraciones de los géneros *Chlamydomonas*, *Navicula* y *Phacus* también disminuyeron en la laguna 6.

- Relación estadística entre el oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en las lagunas secundarias.

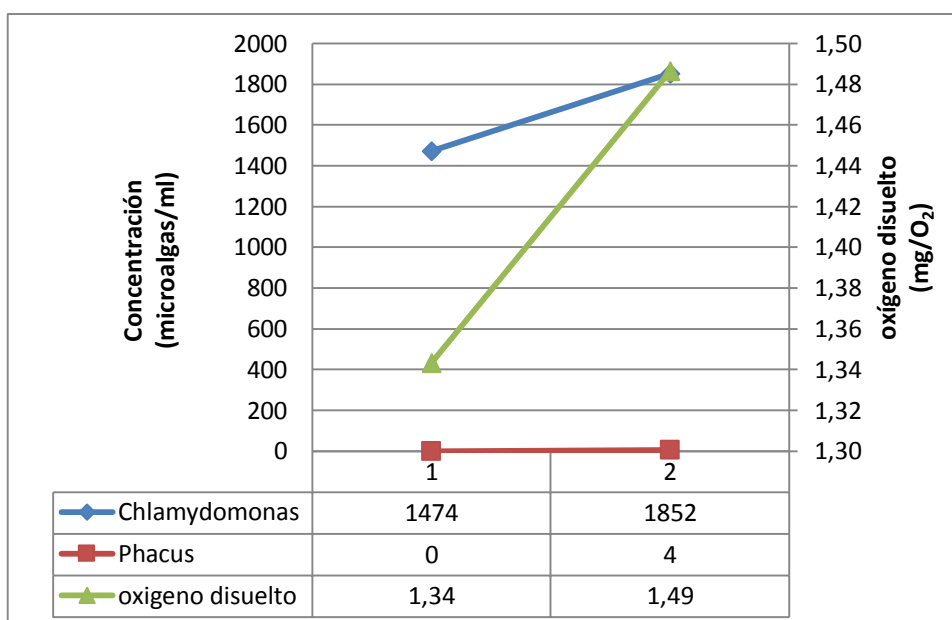
Figura N° 22. Relación entre el oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.



Fuente: Elaboración propia

Según la figura N° 22, se puede observar que al incrementarse los valores de oxígeno disuelto ocurrió lo mismo con las concentraciones de las microalgas en la laguna secundaria 1.

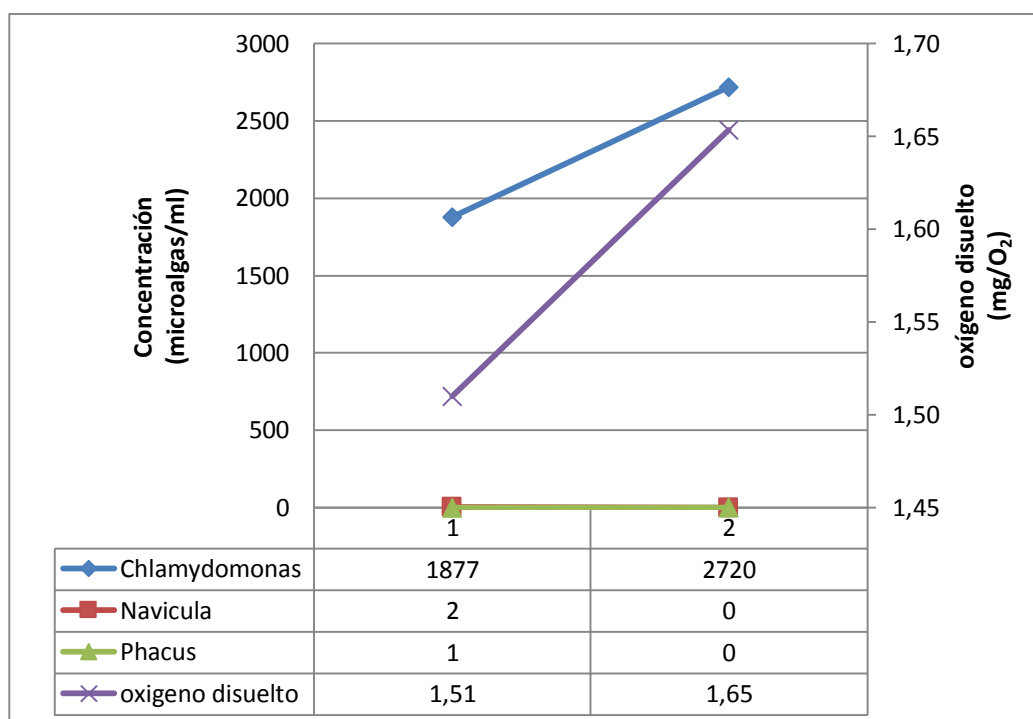
**Figura N° 23. Relación entre el oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

De la figura N° 23 se puede extraer que al incrementarse los valores de oxígeno disuelto en la laguna secundario 2, las concentraciones de los géneros *Chlamydomonas*, *Navícula* y *Phacus* también aumentaron.

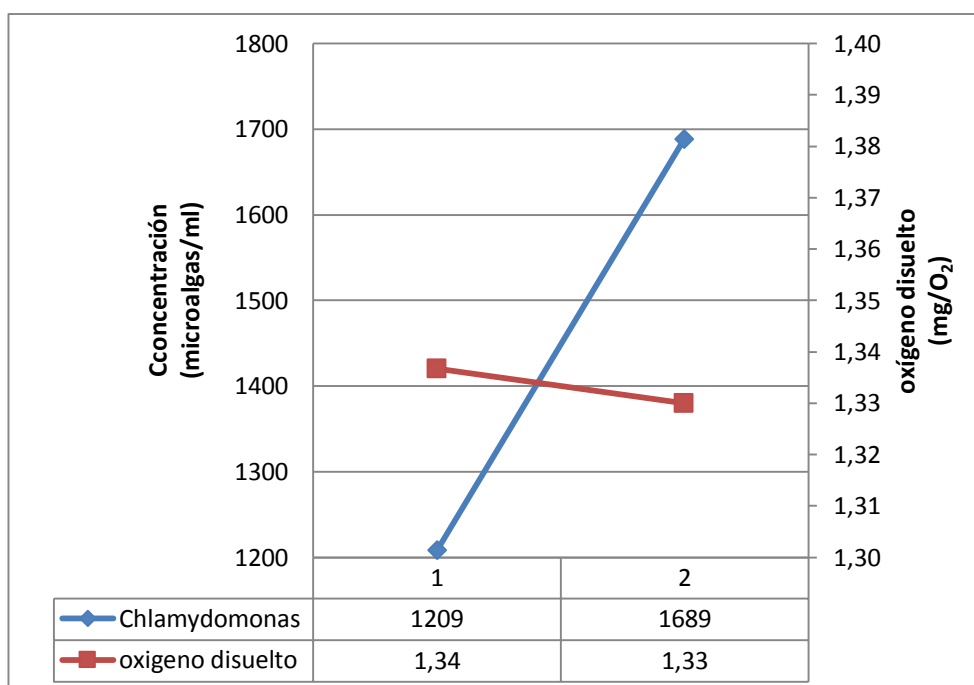
**Figura N° 24. Relación entre el oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 4, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

Según la figura N° 24, hubo un aumento de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua residual de la laguna 4, de igual modo ocurrió con el género de microalga *Chlamydomonas*, excepto con los géneros de *Navícula* y *Phacus*.

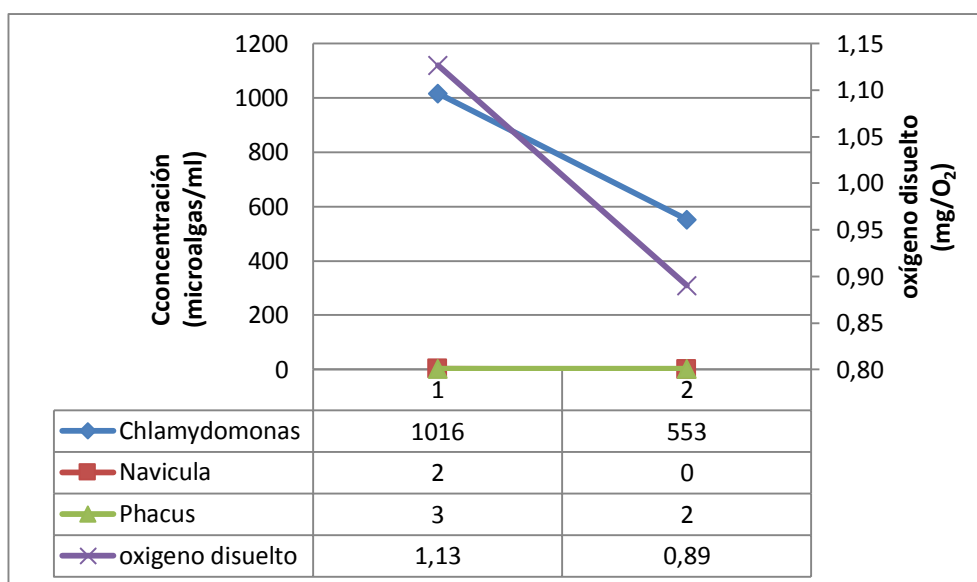
**Figura N° 25. Relación entre el oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 5, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

De la figura N° 25, se puede observar que hubo un ligero cambio en la concentración de oxígeno disuelto, disminuyendo; a pesar del ligero cambio, la concentración del género de microalga presente en la laguna 5 se incrementó.

**Figura N° 26. Relación entre el oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 6, durante los meses de junio y agosto 2015.**

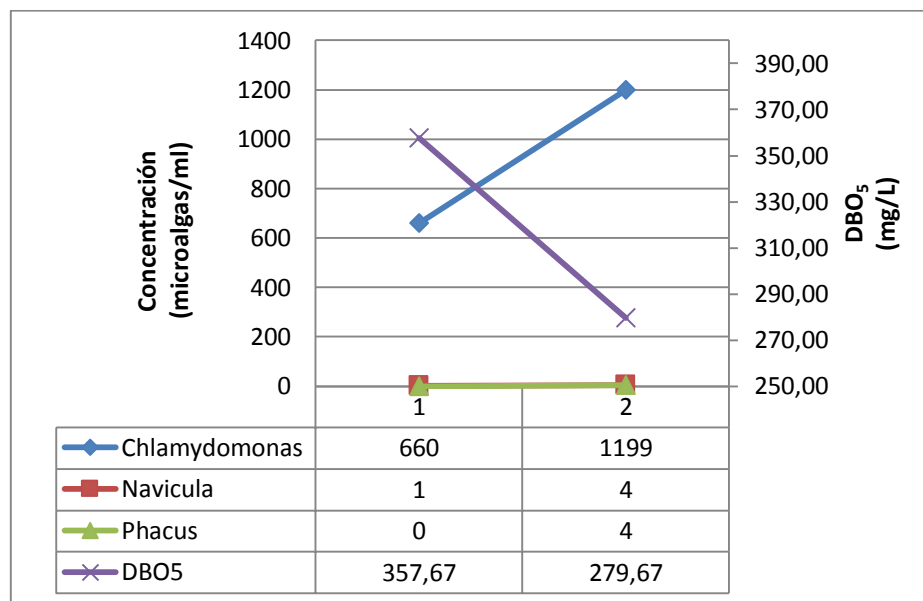


**Fuente: Elaboración propia**

Según la figura N° 26, se redujo la concentración de oxígeno disuelto en la laguna 6, en consecuencia también se observa que la concentración de los géneros de microalgas fue disminuyendo.

- Relación estadística entre la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y la concentración de microalgas en las lagunas secundarias.

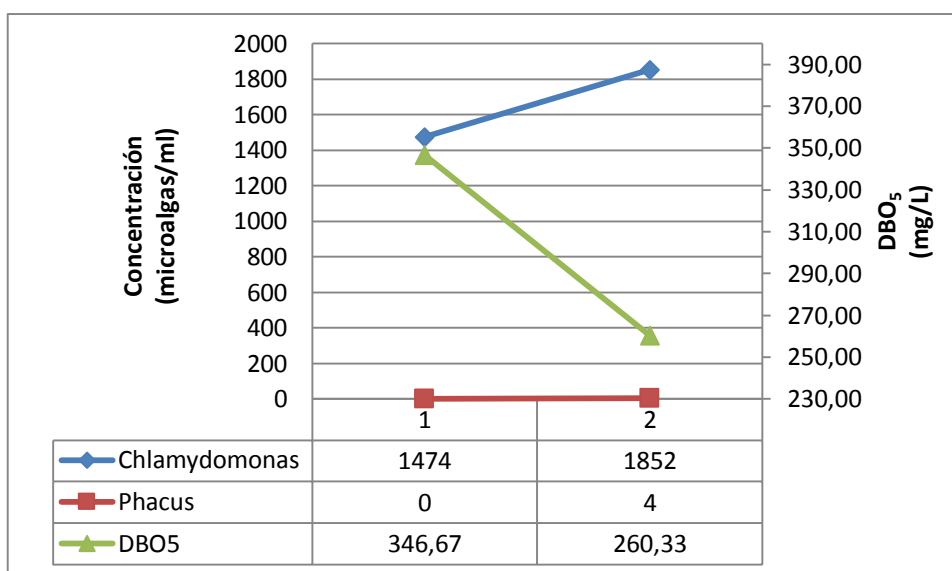
**Figura N° 27. Relación entre el DBO<sub>5</sub> y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

De la figura N° 27, se puede deducir que al incrementarse las concentraciones de los géneros microalgales presentes en la laguna 1, el DBO<sub>5</sub>, se redujo desde el ingreso hacia la salida de la laguna.

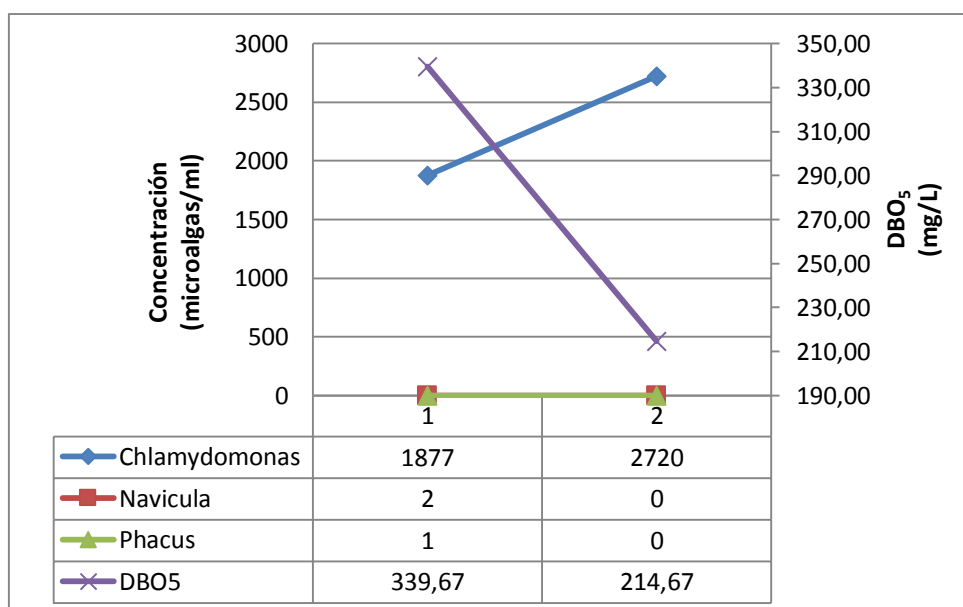
**Figura N° 28. Relación entre el DBO<sub>5</sub> y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

Según la figura N° 28, al incrementare la concentración de los géneros de microalgas *Chlamydomonas* y *Phacus* en la laguna 2, como consecuencia la DBO<sub>5</sub> disminuyó.

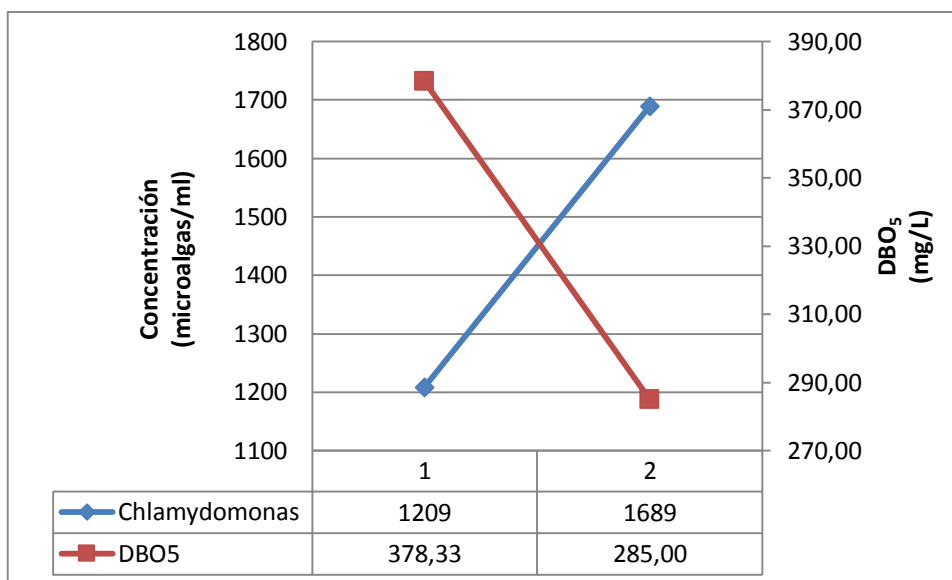
**Figura N° 29. Relación entre el DBO<sub>5</sub> y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 4, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

De la figura N° 29, se puede observar que al incrementarse la concentración del género microalgal *Chlamydomonas*, el cual es el predominante en la laguna 4, el DBO<sub>5</sub> de la laguna se redujo.

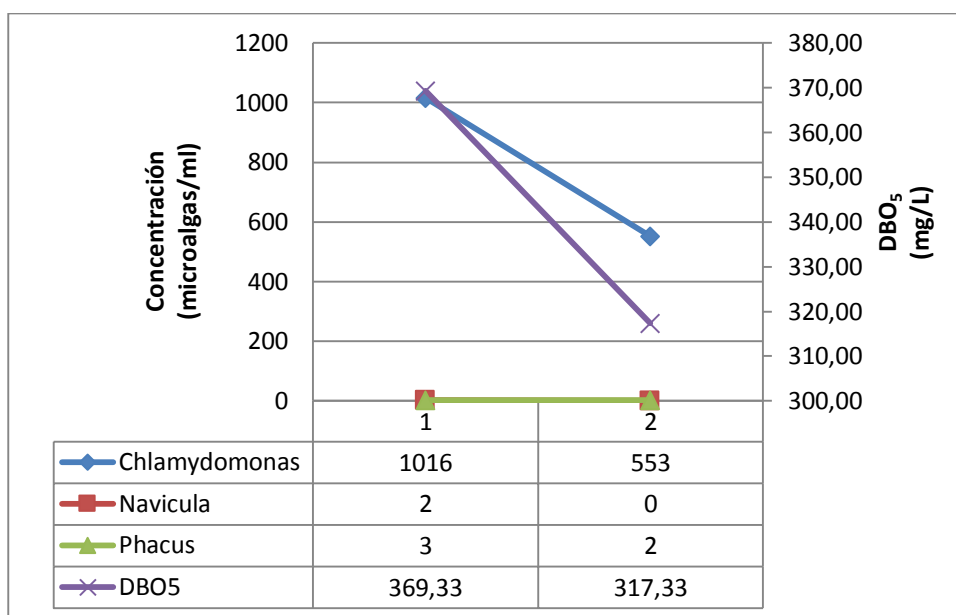
**Figura N° 30. Relación entre el DBO<sub>5</sub> y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 5, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

Según la figura N° 30, la concentración del género microalgal *Chlamydomonas* se incrementó, mientras que el DBO<sub>5</sub> disminuyó en la salida de la laguna 5.

**Figura N° 31. Relación entre el DBO<sub>5</sub> y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 6, durante los meses de junio y agosto 2015.**

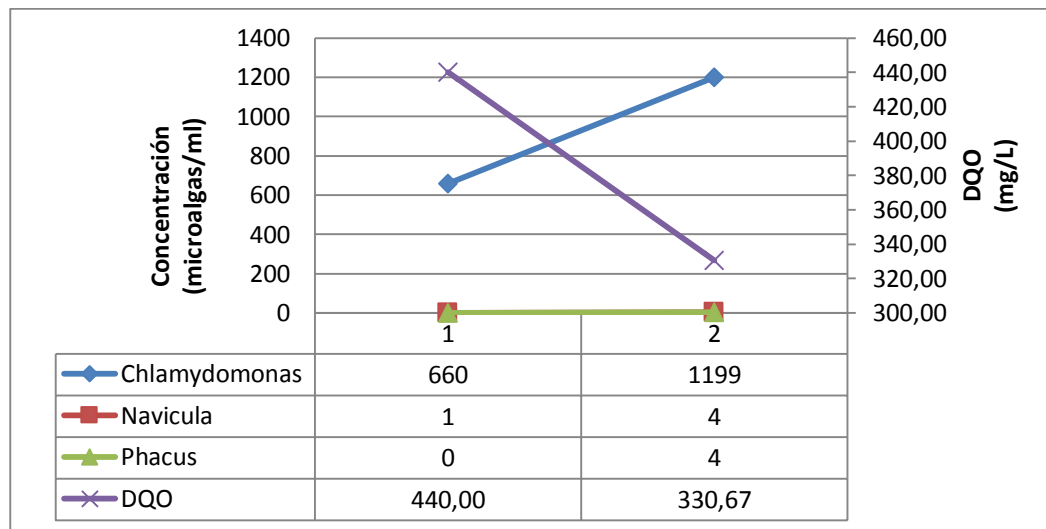


**Fuente: Elaboración propia**

De la figura N° 31, se observa un descenso de la concentración de microalgas en la laguna 6, mientras que la concentración de DBO<sub>5</sub> disminuyó en la salida de la laguna.

- Relación estadística entre la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la concentración de microalgas en las lagunas secundarias.

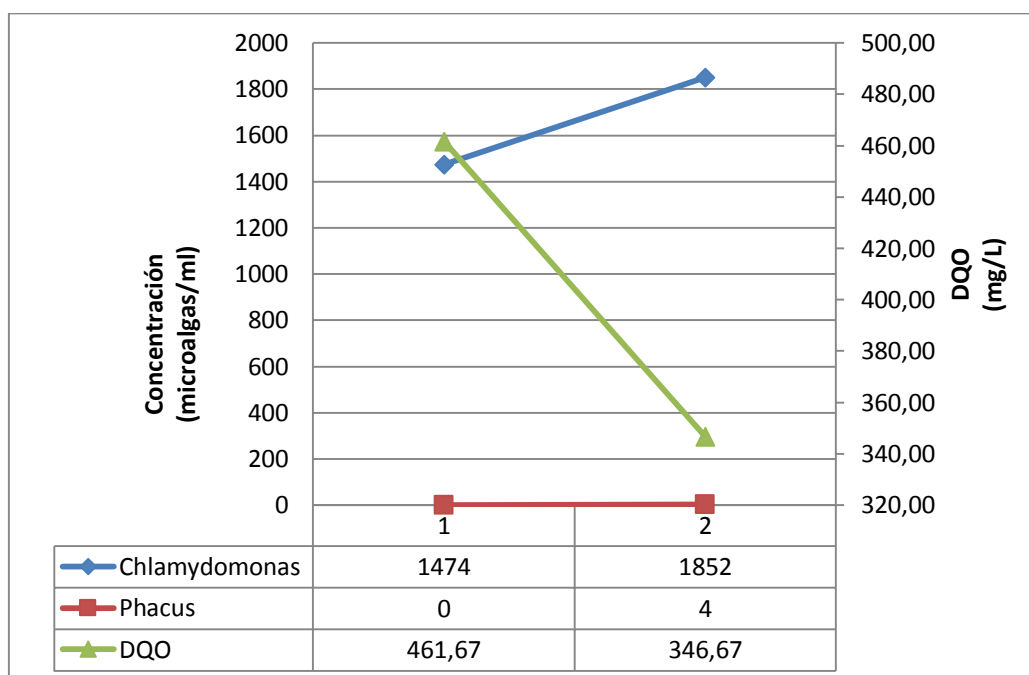
**Figura N° 32. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

Según la figura N° 32, las concentraciones de los géneros microalgales se incrementaron, mientras que la DQO disminuyó durante en la salida de la laguna 1.

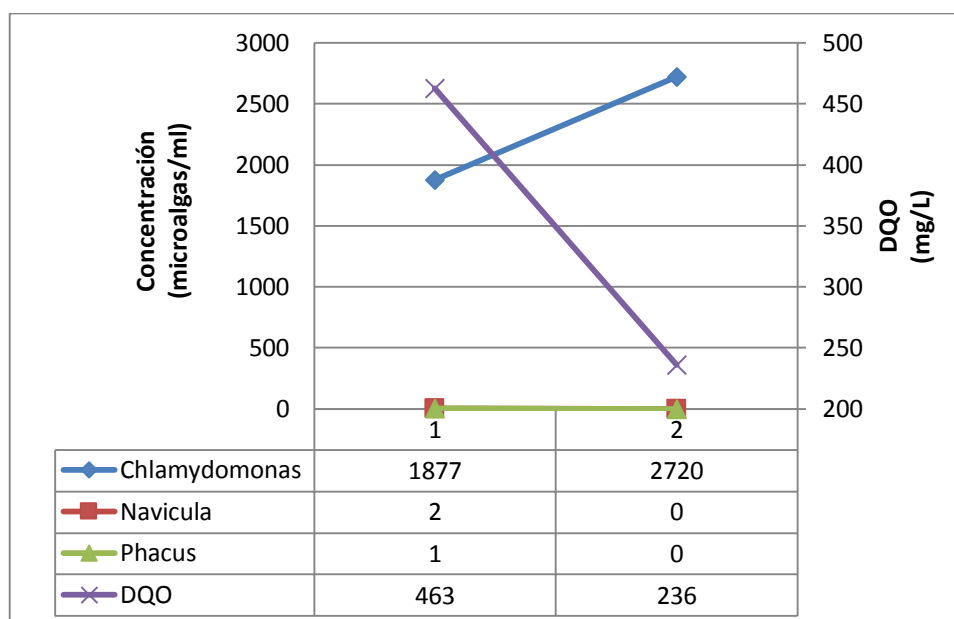
**Figura N° 33. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

De la figura N° 33, se puede decir que las concentraciones de los géneros de microalgas en la laguna 2 se incrementaron, y de manera inversa la DQO disminuyó.

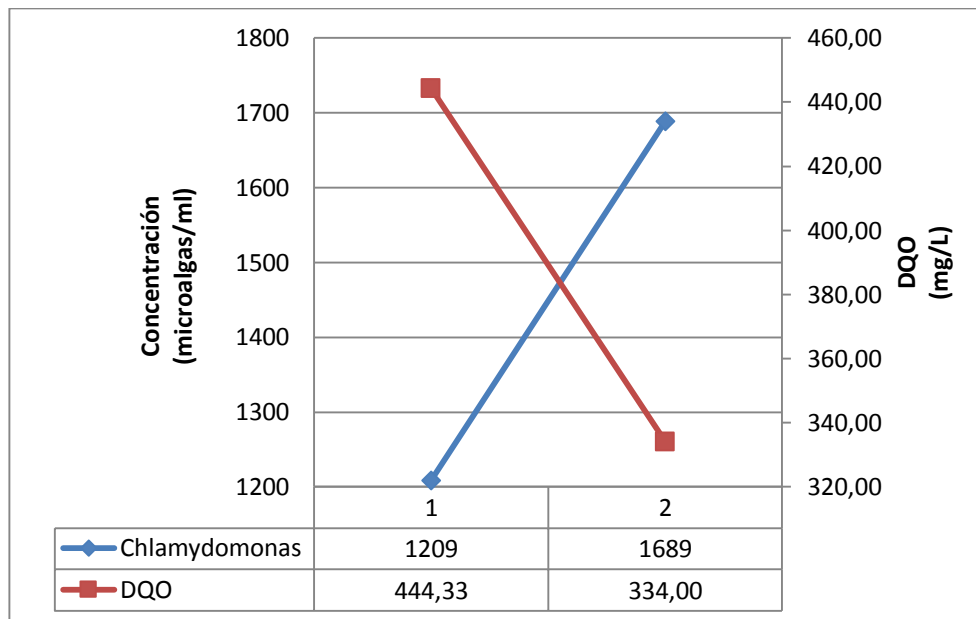
**Figura N° 34. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 4, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

Según la figura N° 34, se puede observar que se incrementó la concentración del género microalgal *Chlamydomonas*, el cual fue predominante en la laguna 4, mientras que la DQO de la laguna disminuyó.

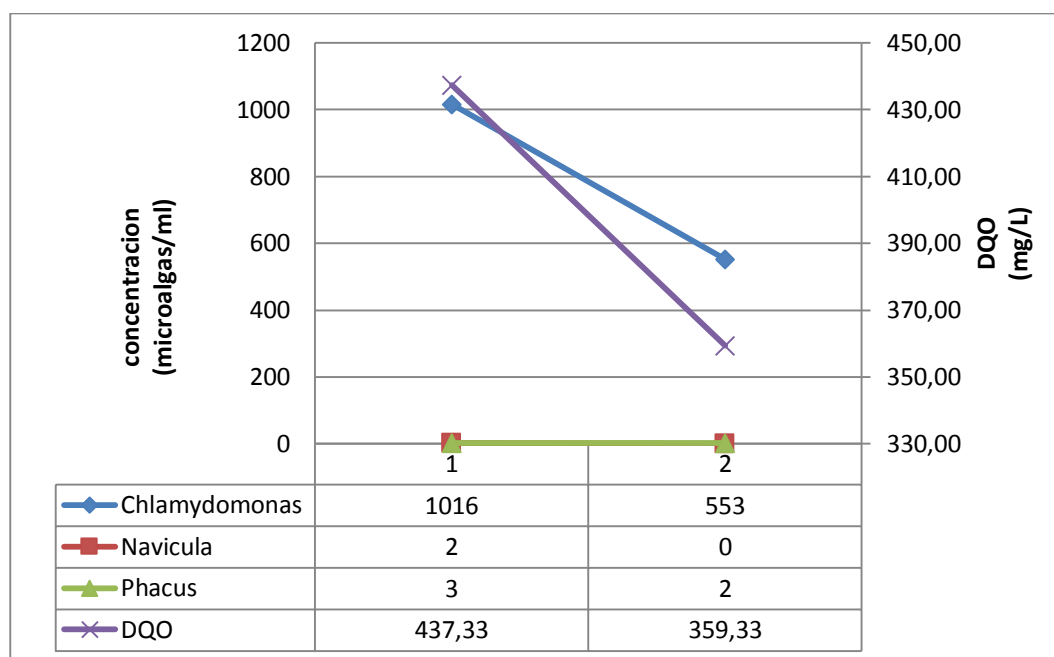
**Figura N° 35. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 5, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

Si observamos la figura N° 35, la concentración del género microalgal *Chlamydomonas* se incrementó, mientras que la DQO disminuyó en la salida de la laguna 5.

**Figura N° 36. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 6, durante los meses de junio y agosto 2015.**



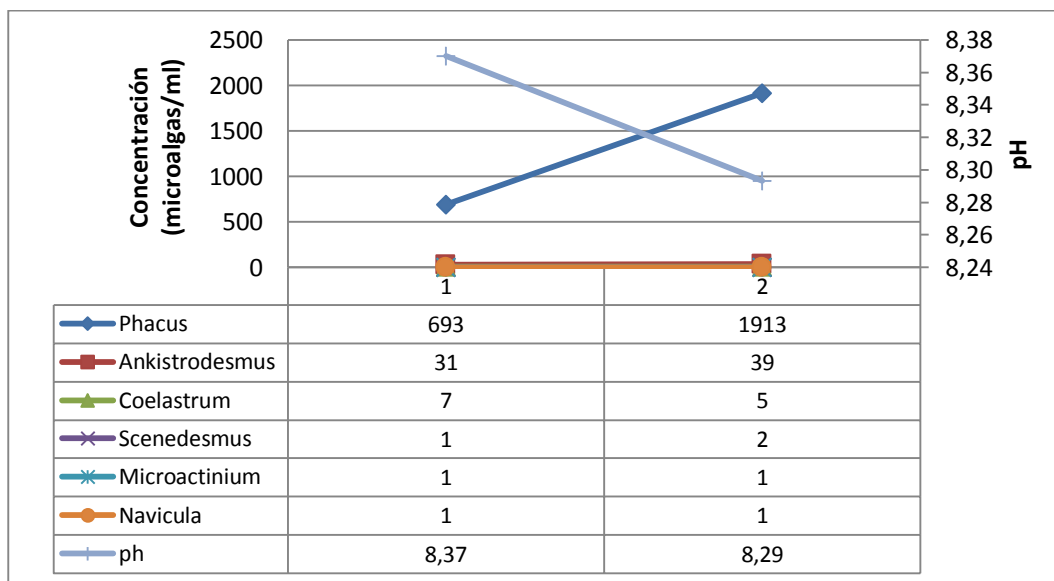
**Fuente: Elaboración propia**

Según la figura N° 36, se observa un descenso de la concentración de microalgas en la laguna 6, mientras tanto la DQO disminuyó en una concentración menor durante el ingreso y hasta la salida del agua residual en la laguna.

**2. Planta de Tratamiento de Agua Residual de Copare – Cono Sur**

- Relación estadística entre el pH y la concentración de microalgas en las lagunas secundarias.

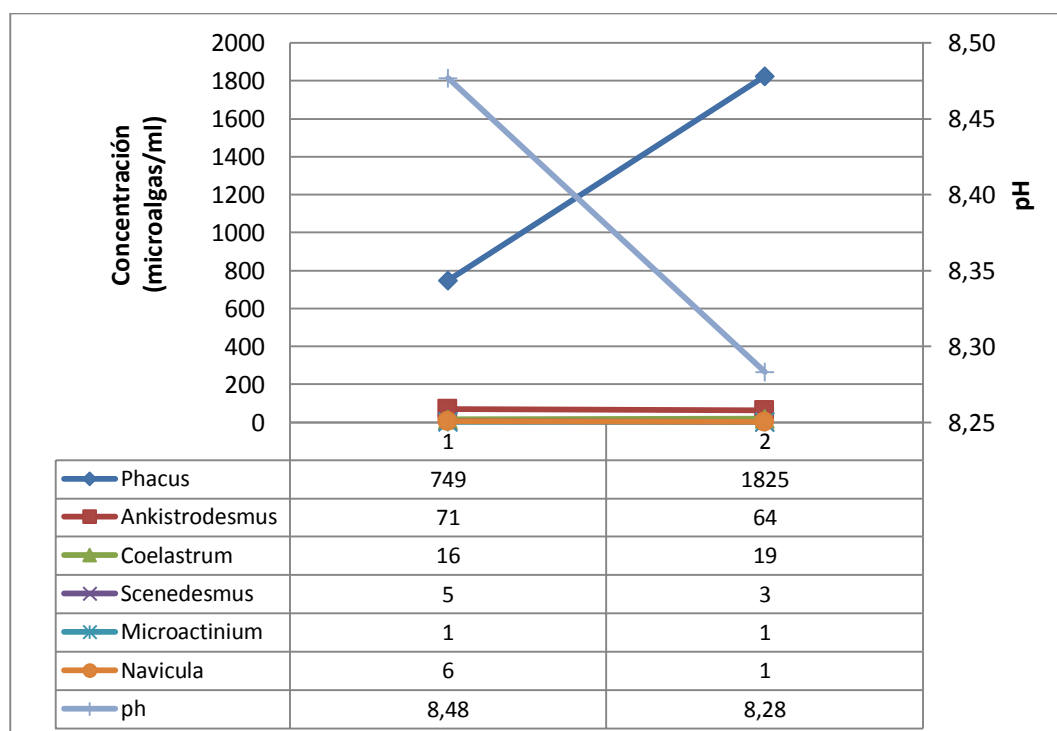
**Figura N° 37. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

De la figura N° 37, se puede extraer que en la mayoría de los géneros microalgales presentes en la laguna secundaria 1 de la Planta de Copare-Cono Sur, se incrementaron, de modo contrario ocurrió con el pH, que descendió.

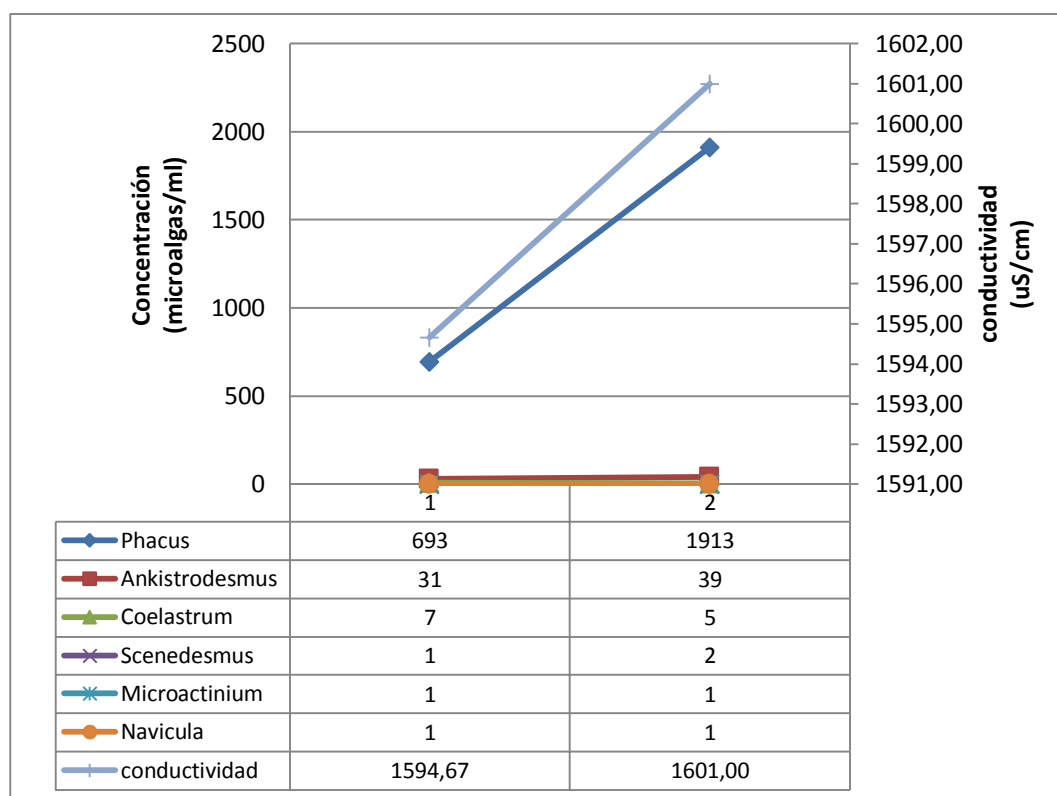
**Figura N° 38. Relación entre el pH y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

Según la figura N° 38, se observa un incremento de la concentración de microalgas de los géneros predominantes; *Phacus*, *Ankistrodesmus* y *Coelastrum*; mientras que los demás géneros se mantuvieron igual; mientras tanto el pH disminuyó hasta la salida de la laguna 2.

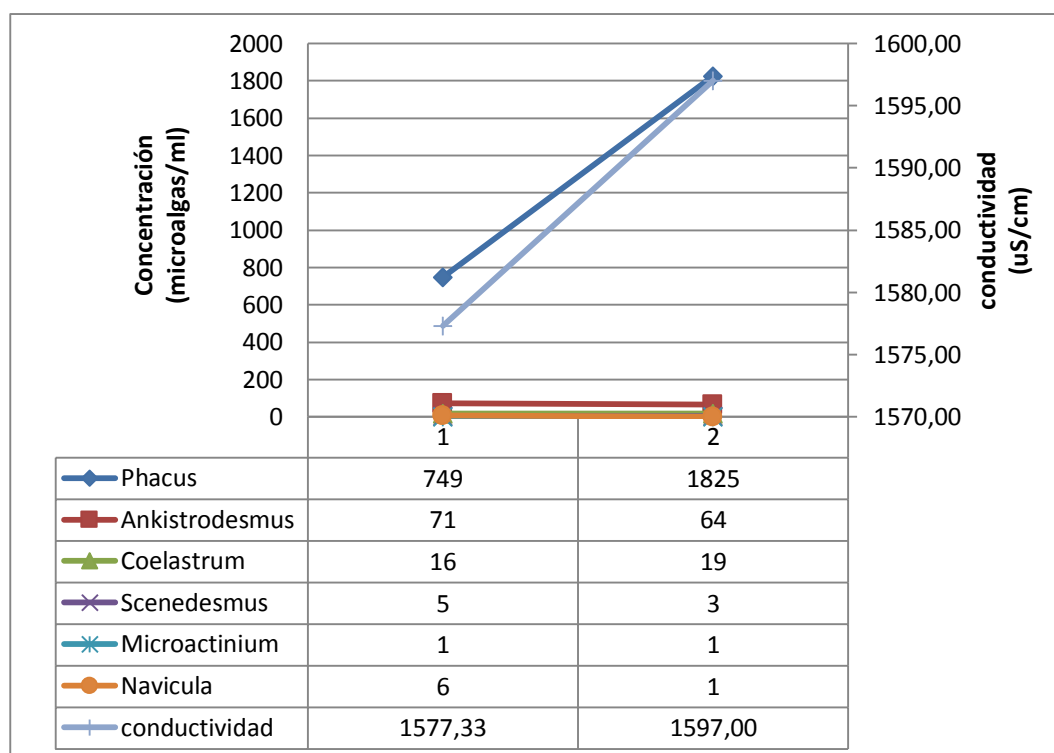
**Figura N° 39. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

De la figura N° 39, se observa un aumento de la concentración de microalgas predominantes en la laguna 1, mientras tanto la conductividad se incrementó ligeramente desde el ingreso hacia la salida del agua residual en la laguna.

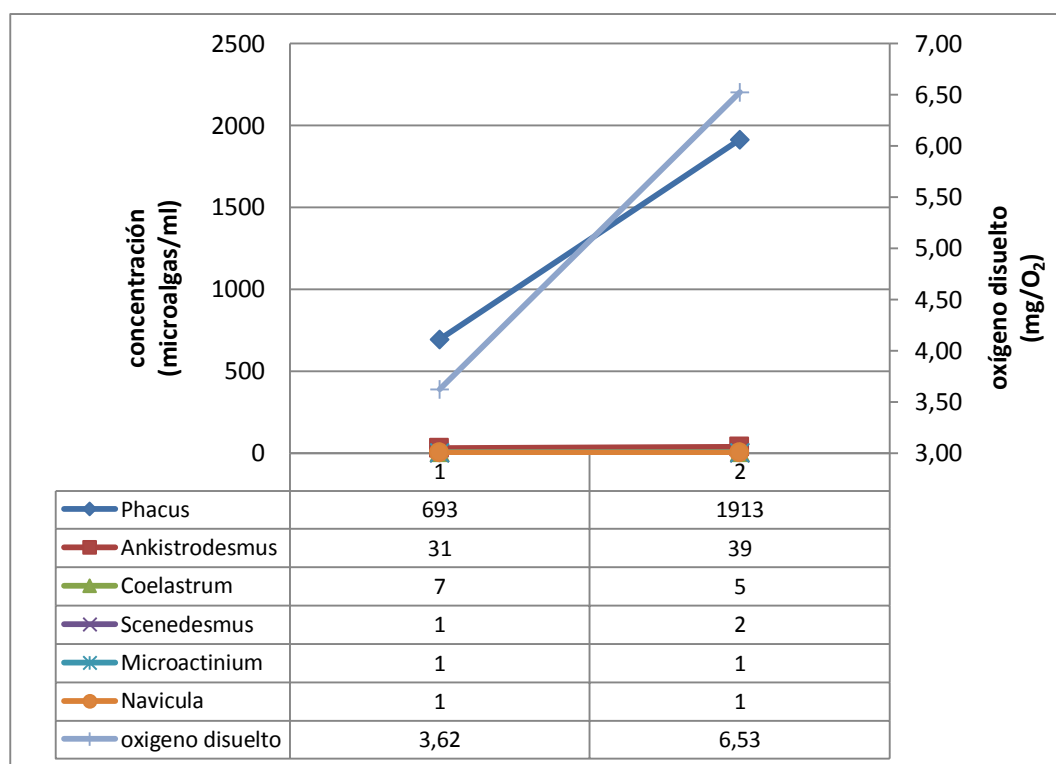
**Figura N° 40. Relación entre la conductividad y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

Según la figura N° 40, se observa un mayor incremento de la concentración microalgal del género *Phacus* y *Coelastrum*; mientras que los demás géneros disminuyeron en menor cantidad; con respecto a la conductividad, esta se incrementó.

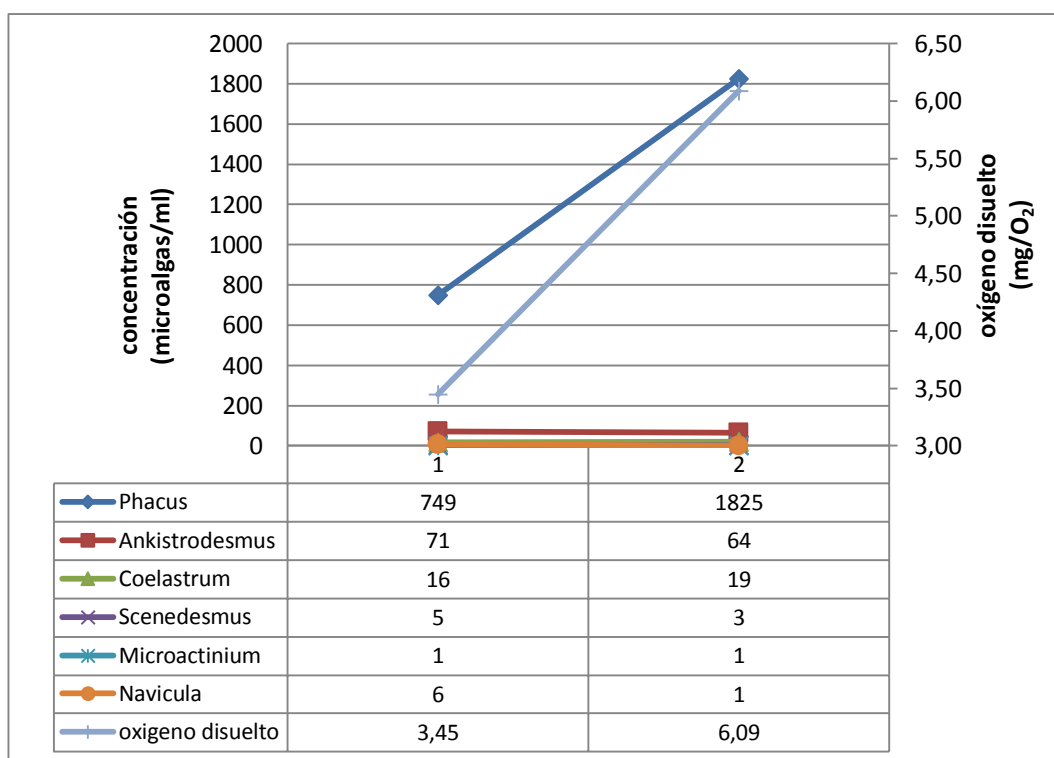
**Figura N° 41. Relación entre oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

De la figura N° 41, se observa un aumento de la concentración de los géneros de microalgas predominantes, como *Phacus*, *Ankistrodesmus*, con respecto a los otros géneros, se mantuvieron igual; mientras tanto el oxígeno disuelto en la laguna 1 se duplicó.

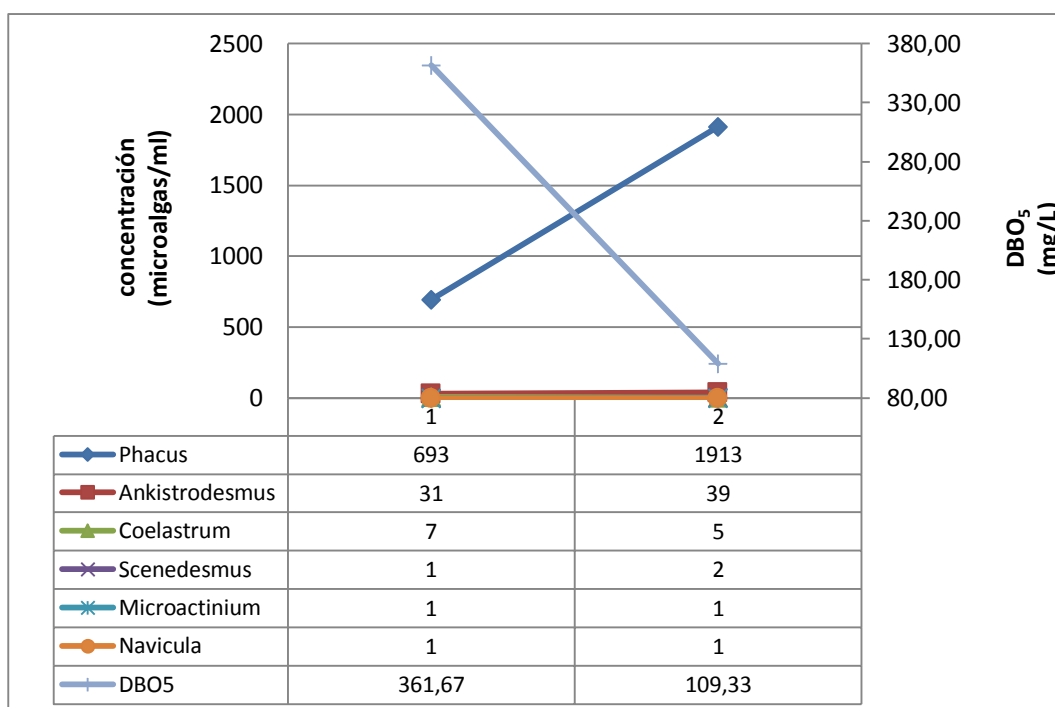
**Figura N° 42. Relación entre oxígeno disuelto y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

En la figura N° 42 se observa un mayor incremento de la concentración microalgal de los géneros *Phacus*, *Ankistrodesmus* y *Coelastrum*; mientras que los demás géneros se mantuvieron en igual concentración; con respecto al oxígeno disuelto, se duplicó hacia la salida de la laguna 2.

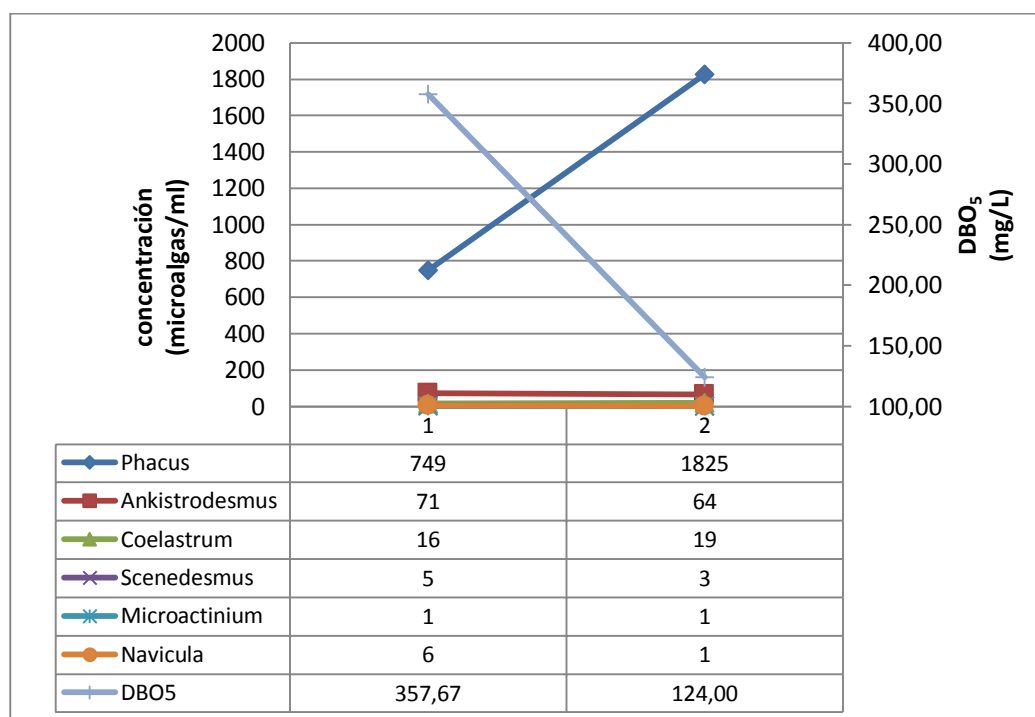
**Figura N° 43. Relación entre la DBO<sub>5</sub> y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

De la figura N° 43, se observa un aumento de la concentración de los géneros de microalgas predominantes, como *Phacus* y *Ankistrodesmus*, con respecto a los otros géneros, se mantuvieron igual; mientras la DBO<sub>5</sub> en la laguna 1 se disminuyó considerablemente.

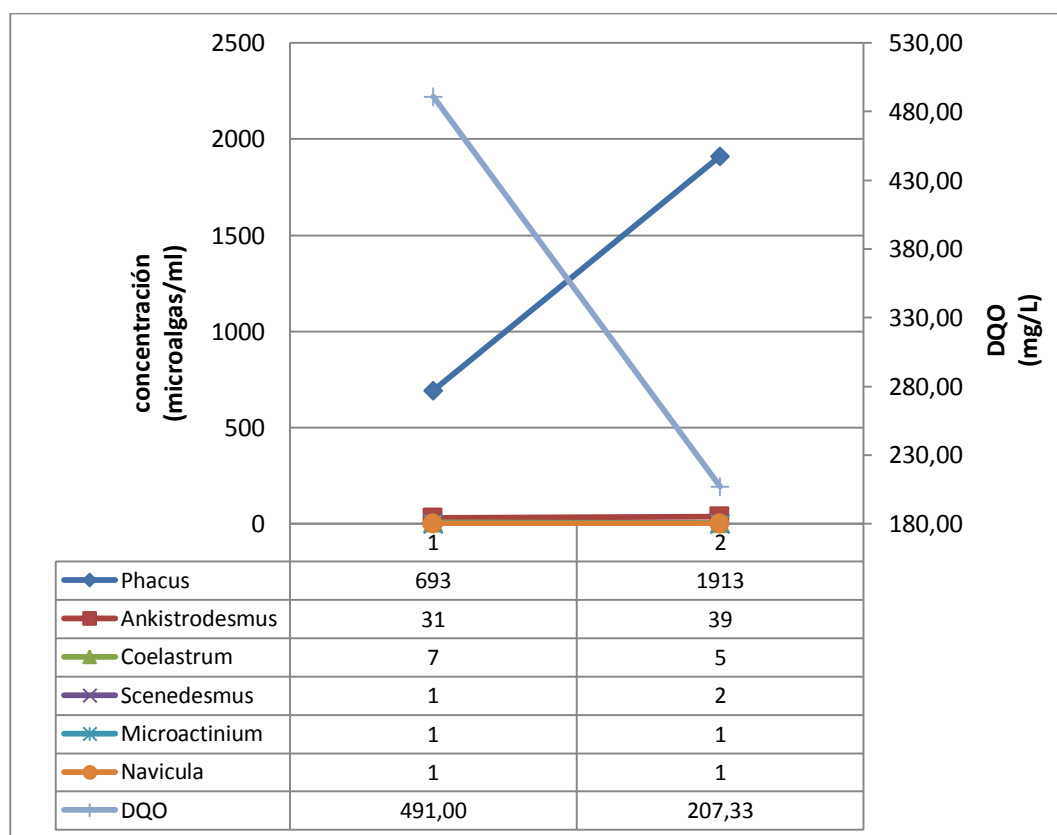
**Figura N° 44. Relación entre la DBO<sub>5</sub> y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

Según la figura N° 44, se observa un mayor incremento de la concentración microalgal de los géneros, *Phacus*, *Ankistrodesmus* y *Coelastrum*; mientras que los demás géneros se mantuvieron en igual concentración; con respecto a la DBO<sub>5</sub>, esta disminuyó de la laguna 2 al final del proceso facultativo.

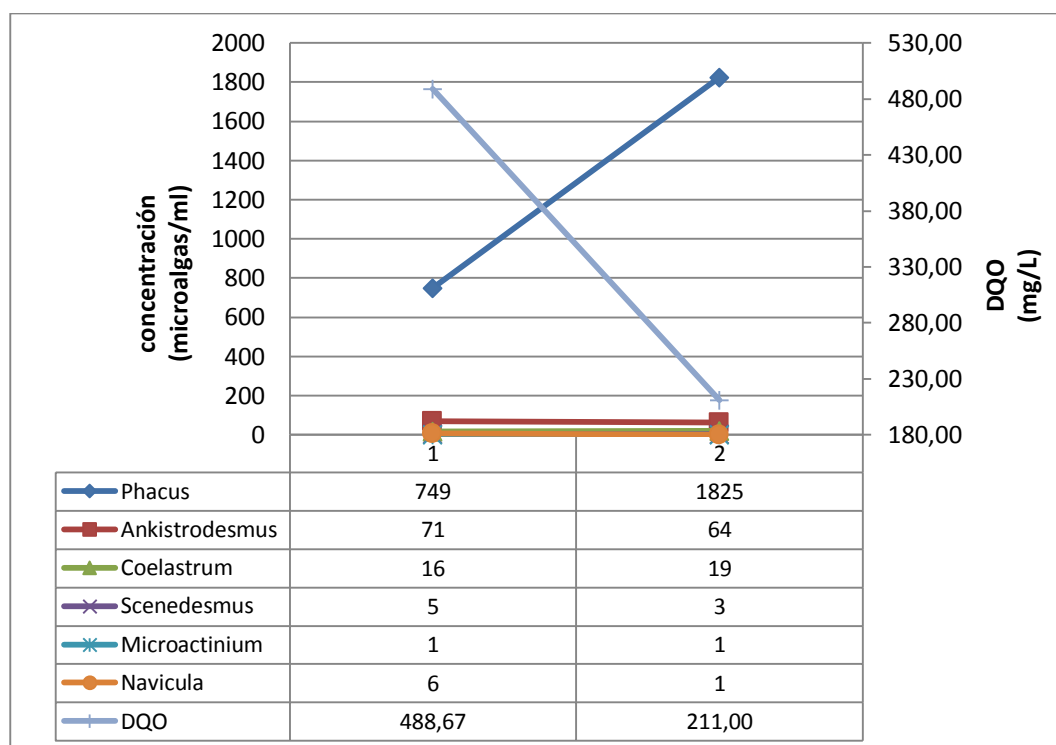
**Figura N° 45. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 1, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

De la figura N° 45, se observa un aumento de la concentración de los géneros de microalgas predominantes, como *Phacus* y *Ankistrodesmus*, con respecto a los otros géneros, se mantuvieron en igual concentración; mientras la DQO en la laguna 1 se disminuyó a la mitad.

**Figura N° 46. Relación entre la DQO y la concentración de microalgas en el ingreso y salida de la Laguna Secundaria 2, durante los meses de junio y agosto 2015.**



**Fuente: Elaboración propia**

Según la figura N° 46, se observa un mayor incremento de la concentración microalgal del género, *Phacus*, y *Coelastrum*; mientras que los demás géneros, por lo general, se mantuvieron en igual concentración; con respecto a la DQO, ésta disminuyó de la laguna 2.

#### 4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó el programa estadístico Statgraphics XVII haciendo un diseño multifactorial categórico.

##### 4.5.1 MICROALGAS

Para comprobar estadísticamente que existe diferencia entre los puntos de muestreo de las lagunas secundarias de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual de Magollo y Copare – Cono Sur con respecto a sus concentraciones de microalgas, durante los meses de junio a agosto, se realizó el Análisis de Varianza respectivamente.

#### 1. Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo

- Análisis de Varianza: Concentración de microalgas

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Punto_muestreo	6,42117E6	9	713464,	3,89	0,0011
B:Genero_microalgas	1,68362E7	2	8,41808E6	45,90	0,0000
C:Mes	535834,	2	267917,	1,46	0,2434
RESIDUOS	7,88683E6	43	183415,		
TOTAL (CORREGIDO)	4,43282E7	56			

**FUENTE: Elaboración propia**

Se concluye con un 99,0 % de confianza que existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo y también

entre los géneros de microalgas con respecto a las concentraciones microalgales, en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo.

## 2. Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare - Cono Sur

- **Análisis de Varianza: Concentración de microalgas**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Punto_muestreo	660903,	3	220301,	3,85	0,0137
B:Género	1,64401E7	5	3,28801E6	57,45	0,0000
C:Mes	14805,2	2	7402,6	0,13	0,8789
RESIDUOS	3,49146E6	61	57237,0		
TOTAL (CORREGIDO)	2,06072E7	71			

**FUENTE: Elaboración propia**

Se puede concluir con un 99,0 % de confianza que entre los puntos de muestreo de las dos lagunas secundarias en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur, y entre los géneros de microalgas; existen diferencias estadísticamente significativas respecto a las concentraciones de géneros de microalgas.

#### 4.5.2. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Para comprobar que existen diferencias estadísticamente significativas entre las lagunas secundarias de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual de Magollo y Copare – Cono Sur con respecto a los parámetros físicoquímicos evaluados, durante los meses de junio a agosto, se realizó el Análisis de Varianza respectivamente.

##### 1. Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo

- Análisis de Varianza para el pH

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Punto_muestreo	0,853547	9	0,0948385	17,46	0,0000
B:Mes	0,54458	2	0,27229	50,14	0,0000
RESIDUOS	0,0977533	18	0,00543074		
TOTAL (CORREGIDO)	1,49588	29			

**FUENTE: Elaboración propia**

Se puede afirmar con un 99,0 % de confianza que existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo de las 5 lagunas secundarias en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Magollo, de igual modo entre los meses de muestreo; con los valores de pH respectivamente.

### Análisis de Varianza para la Conductividad eléctrica

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón -F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Punto_muestreo	69932,3	9	7770,26	15,69	0,0000
B:Meses	27250,2	2	13625,1	27,52	0,0000
RESIDUOS	8911,8	18	495,1		
TOTAL (CORREGIDO)	106094,	29			

**FUENTE: Elaboración propia**

Se concluye con un 99,0 % de confianza que existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo de las 5 lagunas secundarias en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Magollo, de igual modo entre los meses de muestreo; con respecto a los valores de conductividad eléctrica.

- **Análisis de Varianza para el Oxígeno Disuelto**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Punto_muestreo	1,20408	9	0,133787	6,05	0,0006
B:Mes	0,176727	2	0,0883633	4,00	0,0366
RESIDUOS	0,39774	18	0,0220967		
TOTAL (CORREGIDO)	1,77855	29			

**FUENTE: Elaboración propia**

Se puede afirmar con un 99,0 % de confianza que existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo de las 5 lagunas secundarias en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Magollo, y con un 95,0 % de confianza se dice que existe diferencia entre los meses de muestreo; con respecto a los valores de oxígeno disuelto, para cada factor.

- **Análisis de Varianza para la DBO<sub>5</sub>**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Punto_muestreo	76811,5	9	8534,61	12,30	0,0000
B:Mes	2741,07	2	1370,53	1,98	0,1677
RESIDUOS	12488,9	18	693,83		
TOTAL (CORREGIDO)	92041,5	29			

**FUENTE: Elaboración propia**

Se concluye con un 99,0 % de confianza que existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo de las lagunas secundarias en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Magollo, con respecto a los valores de DBO<sub>5</sub> obtenidos. Los meses de muestreo desde junio y agosto no son estadísticamente significativos.

- **Análisis de Varianza para la DQO**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Punto_muestreo	153382,	9	17042,5	27,60	0,0000
B:Mes	2382,2	2	1191,1	1,93	0,1742
RESIDUOS	11115,8	18	617,544		
TOTAL (CORREGIDO)	166880,	29			

**FUENTE: Elaboración propia**

Con un 99,0 % de confianza se puede decir que existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo de las lagunas secundarias en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Magollo, con respecto a los valores de DQO. Los meses de muestreo desde junio a agosto no son estadísticamente significativos.

## 2. Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare - Cono Sur

- **Análisis de Varianza para el pH**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Punto_muestreo	0,0718917	3	0,0239639	0,44	0,7298
<b>B:Meses</b>	1,95972	2	0,979858	18,19	<b>0,0028</b>
RESIDUOS	0,323283	6	0,0538806		
TOTAL (CORREGIDO)	2,35489	11			

**FUENTE: Elaboración propia**

Con un 99,0 % de confianza se puede decir que existen diferencias estadísticamente significativas entre los meses de muestreo desde junio a agosto. Mientras que no son estadísticamente significativos los puntos de muestreo de las lagunas secundarias en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur, con respecto a los valores de pH.

- **Análisis de Varianza para la Conductividad eléctrica**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Punto_muestreo	981,667	3	327,222	1,03	0,4450
B:Mes	870,5	2	435,25	1,37	0,3246
RESIDUOS	1912,83	6	318,806		
TOTAL (CORREGIDO)	3765,0	11			

**FUENTE: Elaboración propia**

Con un 99,0 % de confianza se puede decir no que existen diferencias estadísticamente significativas entre los meses y los puntos de muestreo desde junio a agosto de las lagunas secundarias en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur, con respecto a la conductividad eléctrica.

- **Análisis de Varianza para el Oxígeno Disuelto**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Punto_muestreo	23,3836	3	7,79454	75,91	0,0000
B:Mes	0,870617	2	0,435308	4,24	0,0712
RESIDUOS	0,61605	6	0,102675		
TOTAL (CORREGIDO)	24,8703	11			

**FUENTE: Elaboración propia**

Con un 99,0 % de confianza se puede decir que existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo con respecto a los valores de oxígeno disuelto, mientras que la relación entre los meses de muestreo desde junio a agosto y los valores de oxígeno disuelto, no son estadísticamente significativos.

- **Análisis de Varianza para el DBO<sub>5</sub>**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Punto_muestreo	177494,	3	59164,6	239,72	0,0000
B:Mes	635,167	2	317,583	1,29	0,3427
RESIDUOS	1480,83	6	246,806		
TOTAL (CORREGIDO)	179610,	11			

**FUENTE: Elaboración propia**

Se concluye con un 99,0 % de confianza que existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo con respecto a los valores de DBO<sub>5</sub>, mientras que la relación entre los meses de muestreo desde junio a agosto y los valores de DBO<sub>5</sub>, no son estadísticamente significativos.

- **Análisis de Varianza para el DQO**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Punto_muestreo	236350,	3	78783,2	192,79	0,0000
B:Mes	1683,5	2	841,75	2,06	0,2084
RESIDUOS	2451,83	6	408,639		
TOTAL (CORREGIDO)	240485,	11			

**FUENTE: Elaboración propia**

Se concluye con un 99,0 % de confianza que existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo con respecto a los valores de DQO, mientras que la relación entre los meses de muestreo desde junio a agosto y los valores de DQO, no son estadísticamente significativos.

### 4.5.3. REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Para comprobar que existen diferencias estadísticamente significativas entre las lagunas secundarias de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual de Magollo y Copare – Cono Sur con respecto a la remoción de materia orgánica expresada como  $DBO_5$  (%), durante los meses de junio a agosto, se realizó el Análisis de Varianza respectivamente.

#### 1. Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo

- **Análisis de Varianza para la Remoción de la materia orgánica (%)**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Laguna	799,6	4	199,9	6,09	0,0150
B:Mes	181,2	2	90,6	2,76	0,1227
RESIDUOS	262,8	8	32,85		
TOTAL (CORREGIDO)	1243,6	14			

**FUENTE: Elaboración propia**

Se concluye con un 95,0 % de confianza que existen diferencias estadísticamente significativas entre las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo, con respecto a remoción de materia orgánica expresada en  $DBO_5$  (%).

## 2. Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare - Cono Sur

- Análisis de Varianza para la Remoción de la materia orgánica (%)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Laguna	32,6667	1	32,6667	1,20	0,3872
B:Mes	114,3333	2	57,1667	2,10	0,3221
RESIDUOS	54,3333	2	27,1667		
TOTAL (CORREGIDO)	201,3333	5			

**Fuente: Elaboracion propia**

Según el análisis de varianza, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las lagunas secundarias en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Copare – Cono Sur y los meses de muestreo desde junio a agosto; con respecto a la remoción de materia orgánica expresada como DBO<sub>5</sub> (%).

## V. DISCUSIÓN

El presente estudio se realizó en las Plantas de Tratamiento de Agua Residual de Magollo y Cono Sur-Copare de la Ciudad de Tacna. Durante mucho tiempo estas Plantas de Tratamiento de Agua Residual forman parte de uno de los principales focos de contaminación de la ciudad de Tacna, además que no cuentan con un estudio específico sobre las características químicas, físicas y biológicas de las aguas residuales a tratar; para que de alguna manera se pueda remediar de forma inmediata los problemas de depuración que presentan.

Mara, 1976; Dinges, 1982; Brock, 1978; mencionan que uno de los signos de buen funcionamiento en las lagunas facultativas es el desarrollo de un color verde brillante debido a la presencia de microalgas; en niveles adecuados; aseguran el funcionamiento de la fase aerobia; sin estos organismos se pierde el equilibrio ecológico y se corre el riesgo del predominio de la fase anaerobia, que trae como consecuencia una reducción de la eficiencia del sistema, por esto se realizó la identificación y el conteo de las microalgas en las lagunas secundarias de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual de Magollo y Copare-Cono Sur; que de acuerdo con los resultados en todos los casos se presentó una mayor concentración microalgal en las salidas de las lagunas, siendo más

específico; en la salida de la laguna 4 (SL4) de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo, y en ambas lagunas secundarias, de la salida de la laguna 1 (SL1) y 2 (SL2) de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Copare – Cono Sur.

Se pudo observar que los géneros predominantes fueron *Chlamydomonas* y *Phacus*, seguidas de *Ankistrodesmus*, *Coelastrum*, *Microactinium*, *Navicula* y *Scenedesmus*, aunque estas últimas resultaron en muy poca cantidad en comparación con los otros géneros. Los diferentes géneros de microalgas encontradas en los sistemas lagunares facultativos, obedecen a que son organismos cosmopolitas y que son comunes en aguas eutrofizadas (Beklioglu. 1999; Arauzo et al. 2000; Mara 2004; Salazar 2009). De igual forma indica Palmer (1969) que realizó una lista de géneros y especies de microalgas tolerantes a la contaminación orgánica y ambientes eutrofizados, que los géneros como *Oscillatoria*, *Euglena*, *Demodesmus*, *Chlamydomonas*, *Stigeoclonium*, y *Ankistrodesmus* son los géneros que se encuentran en aguas contaminadas orgánicamente (Jafari & Gunale, 2006).

Cabe resaltar que Mara (2004) expresa que las algas que tienden a predominar en las aguas turbias de lagunas facultativas, pertenecen a los

géneros móviles (tales como *Chlamydomonas* y *Phacus*); los encontrados en mayor concentración en la Planta de Magollo y Copare-Cono Sur; ya que estos pueden optimizar su posición vertical en la columna de agua del estanque en relación con la intensidad de la luz incidente con más facilidad que las formas no-móviles. Por su parte, Masseret et al. 1998 reportó varios de los géneros de diatomeas encontradas en las lagunas de estabilización en tratamiento de aguas residuales, entre los cuales se encuentra el género *Navicula* este ha sido identificado en las lagunas secundarias de ambas Plantas de Tratamiento en estudio.

Los 6 parámetros fisicoquímicos analizados en las aguas residuales de las lagunas, determinaron su calidad fisicoquímica. En el caso de la temperatura durante los tres meses de muestreo se encontró que los valores oscilaban entre 18,7 °C y 21,6 °C al ingreso y a la salida entre 18,6 °C y 21,1 °C para el caso de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Magollo; con respecto a la Planta de Copare – Cono Sur las temperaturas oscilaban entre 20,3 °C y 21,7 °C al ingreso y en la salida entre 20,1 °C y 21,56 °C. Como se observa la temperatura con la que el agua ingresa a la laguna es inferior que la temperatura con la que sale, esto se debe a los procesos metabólicos que se dan en el interior del sistema, los cuales liberan cierta cantidad de energía que provocan dicho

aumento (Valerín, 2011). Según el Decreto Supremo N° 003-2010 – MINAM, los Límites Máximos permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residual respecto a la temperatura deben de ser menores de 35 °C.

Dentro de los parámetros medidos también se consideró el pH, obteniéndose valores entre 7,66 y 8,53 en el ingreso, y para la salida entre 7,99 a 8,56 en las lagunas de la Planta de Tratamiento de Magollo. En la Planta de Copare - Cono Sur los valores del ingreso fueron entre 7,71 y 9,25, en la salida entre 7,90 y 8,68. Siendo más específico en la Planta de Tratamiento de Magollo, en las lagunas secundarias 4 y 5 que mostraron un aumento del pH durante los 3 meses de muestreo (junio, julio y agosto); en el caso de la Planta de Tratamiento de Copare – Cono Sur las dos lagunas secundarias incrementaron su pH solo en el mes de julio; lo anterior es común de encontrar en los sistemas lagunares facultativos en zonas de alta radiación solar (Jáñez, 1993).

Según el Decreto Supremo N° 003-2010 – MINAM, los Límites Máximos permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residual respecto al pH va entre 6,5 a 8,5, según esto los valores del

efluente de ambas Plantas de Tratamiento están superando los límites máximos permisibles, aunque de manera ligera.

En el caso de la conductividad eléctrica, los valores en la Planta de Tratamiento de Magollo van entre 1683  $\mu\text{S/cm}$  y 1890  $\mu\text{S/cm}$  en la entrada del agua, y en la salida los valores obtenidos están entre 1697  $\mu\text{S/cm}$  y 1901  $\mu\text{S/cm}$ , siendo el mes de julio el mes en que se presentaron los valores más bajos. Para la Planta de Tratamiento de Copare – Cono Sur se obtuvieron valores entre 1537  $\mu\text{S/cm}$  y 1602  $\mu\text{S/cm}$  en el ingreso, en la salida entre 1592  $\mu\text{S/cm}$  y 1606  $\mu\text{S/cm}$ . Este parámetro indica la facilidad con la que la corriente eléctrica pasa a través del agua residual. Como resultado del uso del agua, la conductividad aumenta, y se sitúa normalmente en el intervalo 1000 – 2000  $\mu\text{S/cm}$  (Koning 2000).

Para el oxígeno disuelto (OD) la información se da en términos de concentración. El nivel mínimo de OD para sustentar la vida acuática es de 4,0 mg/L (Ramírez y Salazar, 1999), considerando esto, los valores obtenidos en la Planta de Tratamiento de Magollo durante el ingreso del agua residual a las lagunas secundarias fueron entre 1,06 mg/L y 1,68 mg/L mientras que en la salida fue entre 0,58 mg/L y 1,84 mg/L. En la Planta de Copare – Cono Sur se obtuvieron valores entre 3,18 mg/L y

3,69 mg/L en el ingreso y de 5,35 mg/L a 6,84 mg/L en la salida; con ello se puede decir que la Planta de Tratamiento de Copare – Cono Sur se acerca a valores capaces de poder sustentar vida acuática, caso algo contrario sucede con en la Planta de Magollo.

El parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) evaluado en la Planta de Magollo dio como resultado valores entre 285 mg/L y 386 mg/L en el ingreso a las lagunas secundarias, y en las salidas entre 186mg/L y 337 mg/L. En la Planta de Copare – Cono Sur se obtuvieron valores en el ingreso a las lagunas secundarias entre 346 mg/L y 370 mg/L, en la salidas hubo valores entre 100 mg/L y 156 mg/L.

Según el Decreto Supremo N° 003-2010 – MINAM, los Límites Máximos permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residual, indica que los valores para  $DBO_5$  no deben superar 100 mg/L; en todas las lagunas secundarias que se realizó el estudio superaron dicho valor, aunque los valores obtenidos en la Planta de Copare - Cono Sur no fueron tan elevados como en la Planta de Magollo.

Con respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), este parámetro es de utilidad para la caracterización de aguas residuales con presencia de descargas industriales debido a que en su determinación no solamente se oxida la materia orgánica, sino también la inorgánica (Crites, 1998).

En la entrada a las lagunas secundarias de la Planta de Magollo se obtuvieron valores entre 409 mg/L y 497 mg/L, y para la salida entre 221 mg/L y 376 mg/L. En la Planta de Copare – Cono Sur en la entrada a las lagunas secundarias los valores fueron entre 480 mg/L y 498 mg/L; en la salidas los valores fueron entre 175 mg/L y 260 mg/L. De acuerdo con el Decreto Supremo N° 003-2010 – MINAM, los Límites Máximos permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residual, muestra un valor no mayor a 200 mg/L, esto fue sobrepasado en todas las lagunas secundarias.

También se estableció la relación que existe entre los parámetros fisicoquímicos y la concentración de microalgas de las aguas residuales de ambas Plantas de Tratamiento. Con respecto a la temperatura, diversos autores, entre ellos Correa (2008), indica que la temperatura óptima para el desarrollo de las microalgas se encuentra entre los 20 °C a 25 °C, aunque según Park *et al.* (2011) la temperatura óptima medida en condiciones de tasa máxima de crecimiento de microalgas (suficiente nutrientes y las condiciones de luz) a menudo se encuentra entre 28 °C y 35 °C. Ambas Plantas de Tratamiento llegan al valor mínimo de temperatura adecuado que es 20 °C, lo que sería un factor que estaría ayudando al desarrollo de las microalgas, pero no de una manera óptima,

además que las lagunas secundarias tienen una gran superficie expuesta al aire, por lo que la pérdida de calor es considerable. También hay que tener en cuenta el mes de muestreo y la hora en que se realizó.

El pH desempeña un papel importante en las lagunas pues afecta muchos de los procesos bioquímicos asociados con el crecimiento de microalgas y el metabolismo (Park *et al.*, 2011). Cada especie necesita un rango determinado que permita un crecimiento óptimo, la mayoría de las microalgas está entre 7-9, siendo 8,2-8,7 el valor óptimo (Ruiz, 2011), como los valores obtenidos en ambas Plantas de Tratamiento. El pH es regulado por el metabolismo de las diferentes comunidades que habitan la laguna, y en el caso de las microalgas la absorción de CO<sub>2</sub> puede hacer que el pH suba (Muñoz *et al.* 2003; Muñoz & Guieyssea, 2006), como ocurrió en la Planta de Tratamiento de Magollo, en las lagunas 1; 4 y 5; mientras que sí ocurre un descenso del pH, se produce el aumento en los malos olores, como ocurrió con la laguna 2 y 6; y en la Planta de Copare – Cono Sur, pero con diferencias mínimas; esto se debe a que a pH bajo el sulfuro de hidrógeno, no permanece disuelto como ácido sulfúrico y se libera en forma de gas, el cual posee un olor bastante desagradable (Muñoz *et al.*, 2003; Muñoz & Guieyssea, 2006).

En la salida de las lagunas secundarias de la Planta de Tratamiento de Copare – Cono Sur, la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en sus efluentes fue elevada; el doble al de su ingreso; lo necesaria para mantener la vida acuática de organismos. En el caso de la Planta de Magollo se observó ligeros incrementos del OD, pero no de manera significativa.

El OD presente en el agua de las lagunas se debe principalmente a la actividad fotosintética de las microalgas y un porcentaje menor a la influencia del viento. (Peinador, 1995). Esto demuestra que existe una relación entre la concentración de microalgas y los niveles de OD en el agua, ya que al haber encontrado una mayor concentración de microalgas, los valores de OD también fueron elevados, como en la Planta de Copare – Cono Sur, además que la producción de oxígeno por fotosíntesis ocurre a valores de pH entre 6,5 y 10,5 y disminuye si el pH asciende hasta valores de 10. Las temperaturas extremas para la producción de oxígeno es de 4 °C a 35 °C y la temperatura óptima es de 20 °C (Cubillos, 1994).

La  $DBO_5$  afecta directamente la calidad de oxígeno disuelto en los efluentes, a mayor  $DBO_5$ , el oxígeno se agota más rápido, esto significa que menos oxígeno está disponible para formas de vida acuática. Las

consecuencias de una alta DBO<sub>5</sub> pueden causar anaerobiosis y muerte de organismos. De ahí que su eliminación constituya un objetivo principal del tratamiento de aguas (Abdel-Raouf *et al.*, 2012).

La utilización de microalgas ha demostrado ser eficiente en la reducción de DBO<sub>5</sub> y DQO (Li *et al.* 2011, Abdel-Raouf *et al.*, 2012) proveyendo además de oxígeno a las bacterias aeróbicas que ayudan a la biotransformación (Abdel-Raouf *et al.*, 2012), así como ocurrió en la Planta de Tratamiento Copare – Cono Sur, donde se obtuvo reducciones de DBO<sub>5</sub> considerables en los efluentes y además las concentraciones de microalgas fueron duplicadas y triplicadas con respecto a las concentraciones microalgales del ingreso a las lagunas. En la Planta de Magollo también hubo reducciones de DBO<sub>5</sub>, pero en pequeñas cantidades y la relación con la concentración de las microalgas es mínima, ya que la concentración encontrada en los efluentes no era tan considerable como en el caso de la Planta de Tratamiento de Copare – Cono Sur.

Sobre la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO), se sabe que las microalgas pueden hacer la reducción de este parámetro (Seoanez-Calvo, 2003). Caso similar ocurrió con la relación entre la demanda química de oxígeno (DQO) y la concentración de microalgas, en

la Planta de Copare – Cono Sur, la reducción de este parámetro fue mayor y con elevada concentración de microalgas en los efluentes de las dos lagunas secundarias y en la Planta de Magollo hubo reducciones mínima de DQO, con concentraciones microalgales bajas.

Con respecto a la eficiencia de depuración en las lagunas facultativas secundarias, se evaluó la remoción de materia orgánica expresada como  $DBO_5$ . En la Planta de Tratamiento de Magollo durante los tres meses de estudio la laguna secundaria 4 (L4) fue la que presentó altas remociones con un promedio de 36 % en  $DBO_5$ , la remoción de este parámetro es fundamental en el funcionamiento de las lagunas. En el caso de la Planta de Tratamiento de Copare – Cono Sur la laguna secundaria 1 (L1) fue la que obtuvo un mayor grado de remoción, con un 70 % en  $DBO_5$ . Algunos autores mencionan una remoción en  $DBO_5$  de 71 %, comparado con otros sistemas similares en cuanto al tratamiento de las Plantas consideradas en este estudio; donde se obtiene remociones de 70 %, bajo una temperatura ambiente entre 13 y 17 °C (Mejía, 2006), lo que representa una remoción regular de dicho parámetro y que de alguna manera, indica que la unidad, trabaja eficientemente en la remoción de materia orgánica y que puede alcanzar valores más altos y significativos en la remoción de  $DBO_5$  en la laguna (Martínez, 2003). Según esto se puede decir que la

Planta de Magollo no trabaja eficientemente en la remoción de materia orgánica, una explicación a esto podría ser un exceso de la carga orgánica que reciben las lagunas, así como una población microalgal poco numerosa, incapaz de degradar eficientemente la materia orgánica (Lahora, 2000). Mientras que la Planta de Copare – Cono Sur presenta una remoción regular de la materia orgánica y que trabaja de cierto modo eficiente, pero pudiendo mejorar.

Sobre la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO), al igual que en el parámetro anterior, la laguna 4 (L4) de la Planta de Tratamiento de Magollo obtuvo un mayor porcentaje, con 49 % de eficiencia. En la Planta de Tratamiento de Copare – Cono Sur, de igual modo la laguna 1 (L1) obtuvo un mejor porcentaje de remoción de DQO porcentual con un 58 % de eficiencia de remoción, en ambos casos se obtuvo una depuración de DQO mayor que la reportada por Peng, donde la remoción en el sistema de lagunas osciló entre 14 y 26 %, indicándose que fue en las lagunas donde se obtuvo la mayor depuración, en comparación con las otras unidades de tratamiento (Peng, 2005). La reducción de este parámetro sucede mientras que las microalgas consuman los nutrientes (hierro, ferroso, nitritos, amoníaco, sulfuros y cloruros) del agua residual y

cuando se encuentren en cantidades favorables (Seoanez-Calvo, 2003)  
como en el caso de la Planta de Copare – Cono Sur.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se obtuvo una depuración en la Planta de Tratamiento de Copare – Cono Sur de un 68 % en DBO<sub>5</sub> y un 58 % con respecto a la DQO; calificándola como una eficiencia aceptable, mientras que en la Planta de Tratamiento de Magollo se obtuvo una depuración del 25 % en la DBO<sub>5</sub> y un 28 % para la DQO, lo que la califica como deficiente.
2. La microalga que predominó en la Planta de Tratamiento de Magollo fue el género *Chlamydomonas*, mientras que en la Planta de Copare – Cono Sur fue el género *Phacus*.
3. Durante los meses de muestreo los promedios de los parámetros fisicoquímicos en la Planta de Magollo para la temperatura fue de 19,79 °C; un pH de 6,84 y una conductividad de 1486,41 us/cm; para la Planta de Cono Sur se obtuvo una temperatura de 21,10 °C, un pH de 8,35; la conductividad de 1592,5 us/cm; OD con 4,92 mg/L; la DBO<sub>5</sub> con 238,16 mg/L y una DQO con 349,5 mg/L; los cuales se ajustan a los Límites Máximos Permisibles para efluentes.

4. Existe una relación entre los parámetros fisicoquímico, concentración de microalgas y la depuración del agua residual, los resultados demostraron que con un pH entre 7,70 y 9,34; una conductividad de 1597  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 1834  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; oxígeno disuelto entre 3,45 mg/L y 6,53 mg/L permiten un incremento en la concentración microalgal al doble y por ende una eficiencia aceptable en el tratamiento del agua residual.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio sobre la composición y dinámica del fitoplancton y zooplancton en las lagunas de las Plantas de Tratamiento de Magollo y Copare – Cono Sur, para tener una mayor precisión sobre su estado actual.
- Se debería realizar un estudio de los suelos en las áreas de uso agrícola, que hacen uso de las aguas residuales después del tratamiento, y ver cómo se ve afectada la calidad del suelo y por ende los productos.
- Realizar un estudio sobre la presencia de metales pesados en el lodo y en el agua residual de las lagunas, tanto antes y después del tratamiento que reciben.
- Se debe de implementar la ISO 17025 en el laboratorio de la entidad encargada (E.P.S) de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual para poder demostrar que los resultados que se obtienen son técnicamente válidos.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Abdel - Raouf** (2012). Braide, S., Amakir,i J., & Izundu, E. Succession of phytoplankton in a municipal waste water treatment system under sunlight., [en línea] de Revista UDO Agrícola. [fecha de consulta: noviembre 23, 2015].

Sitio web: <http://www.bioline.org.br/pdf?cg07028>

**Alvarado, M.** (2013). Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. diciembre 28, 2015, de Journal of Biotechnology 70 : 313–321 Sitio web:

[http://www.researchgate.net/publication/230652280\\_Commercial\\_production\\_of\\_microalgae\\_ponds\\_tanks\\_tubes\\_and\\_fermenters.\\_J\\_Biotechnol](http://www.researchgate.net/publication/230652280_Commercial_production_of_microalgae_ponds_tanks_tubes_and_fermenters._J_Biotechnol)

**Andrade C., Chacón, C., Cárdenas & Morales, E.** (2006). Remoción de nitrógeno y fósforo de aguas residuales urbanas por la microalga *Chlorella sp.* En condiciones de laboratorio. Revista de Ciencia, 14, pp.56-63.

**APHA.** (1989). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, 21a Ed. Washington D.C.

**Brenan, P.** (2010). Incidencia de biomasa algal en la DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en el efluente de la laguna de estabilización de la comuna de Florida-Concepción. [en línea].de XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. [fecha de consulta: Setiembre 18, 2015],

Sitio web: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/vi-075.pdf>

**Cabrera, A.** (2014). Sistemas de lagunas de estabilización, cómo utilizar las aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. [en línea], de McGraw- Hill Interamericana. Santa Fe Bogotá, D.C [fecha de consulta: Noviembre 22, 2015], Sitio web:

<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=DESASTRES&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=13225&indexSearch=ID>

**Ceron, E.** (2013). Efecto de las aguas residuales domésticas industriales sobre la comunidad planctónica del lago Cocibolca. [en línea]. de Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. [fecha de consulta: Julio 26, 2015], Sitio web:

[http://www.bvsde.org.ni/Web\\_textos/CIRA/Cira0005/14.pdf](http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/CIRA/Cira0005/14.pdf)

**Codina, M.** (2010). Caracterización biológica de lagunas de estabilización de (Jujuy) con diferentes tiempos de retención. [en

línea]. de Agua de los Andes S.A. [fecha de consulta: Noviembre 22, 2015].

Sitio web: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/aidis12/lagunas.pdf>

**Escorihuela, A., Núñez, A., Rosales, E., Mora, R., & Morales, E.**

(2011). Microalgas presentes en una laguna para pulimento de efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas. . Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, 24, pp.225-230.

**Febles, J., & Hoogesteijn, A.** (2010). Evaluación preliminar de la

eficiencia en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán. [en línea], de Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. [fecha de consulta: Agosto 29, 2015] Sitio web: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46715068006>

**Fructuoso, A.** (2015). Estudio y evaluación de las lagunas de

estabilización como tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Base militar No. 10 de Jutiapa, Colonia militar de Jutiapa, Base aérea del sur en Retalhuleu y Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez. [en línea]. de Universidad de San Carlos de Guatemala. [fecha de consulta: Enero 27, 2016], Sitio web: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0097\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0097_MT.pdf)

**García, J.,** Hernández, C., Jove, J., & Mujeriego, R. (1994). Estudio de las poblaciones algales en lagunas de alta carga. [en línea], de Revista Studia Botánica 13: 65-68. [fecha de consulta: Agosto 28, 2015]. Sitio web:

[http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/73898/1/Estudio de las poblaciones algales en la.pdf](http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/73898/1/Estudio_de_las_poblaciones_algales_en_la.pdf)

**Gloyna, R.** (2007). Evaluación del proceso y la eficiencia de remoción de la materia orgánica en las lagunas de estabilización del municipio de La Ceja, Antioquia, Colombia. [en línea]. de Redalyc [Fecha de consulta: Setiembre 8, 2015], Sitio web:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/18213/1/13976-41402-1-PB.pdf>

**González, J.,** & Bécares, E. (2001). Limnología de sistemas experimentales de lagunaje para el tratamiento de aguas residuales. [en línea], de Asociación Española de Limnología. [fecha de consulta: Agosto 26, 2015], Sitio web:

[http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne20/L20b267\\_Limnologia lagunaje tratamiento aguas residuales.pdf](http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne20/L20b267_Limnologia_lagunaje_tratamiento_aguas_residuales.pdf)

**Hernández, C.,** & Alfonso, V. (2013). Estructura y dinámica de comunidades microalgales asociadas a lagunas facultativas secundarias en la estación de investigación y transferencia de

tecnología en aguas residuales y reuso, municipio de Ginebra, Valle del Cauca. [en línea]. de Universidad del Valle. [Fecha de consulta: Agosto 27, 2015],

Sitio web: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/4806>

**Hoffman, G., & Marshall, Ph.** (1998). Identification manual for phytoplankton of the United States Atlantic Coast. [en línea], de Old Dominion University. [fecha de consulta: Octubre 20, 2015], Sitio web: <http://www.nepis.epa.gov/Adobe/PDF/30000SE4.PDF>

**Kiely, W.,** (1999). Sixty years in applied algology. [en línea]. de Journal of Applied Phycology 15:99–106 [fecha de consulta: Diciembre 28, 2015], Sitio web: [https://ceenve.calpoly.edu/media/files/oswald/03\\_my\\_sixty\\_years\\_in\\_algology.pdf](https://ceenve.calpoly.edu/media/files/oswald/03_my_sixty_years_in_algology.pdf)

**Liquidano, J.** 2008). Aspectos ecológicos y metodológicos del muestreo, identificación y cuantificación de cianobacterias y microalgas eucariotas. [en línea]. de EDUCA (Biología), Vol. 5, No 5. [Fecha de consulta: Setiembre 25, 2015], Sitio web: <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/964>

**Mancl, K.** (2006). Wastewater Treatment Principles and Regulations. Ohio State University Extension Fact Sheet; Food, Agricultural and

Biological Engineering. [en línea], [fecha de consulta: Noviembre 22, 2015] Sitio web: <http://ohioline.osu.edu/lines/facts.html>

**Mara, M.** (2004). Aplicación e importancia de las microalgas en el tratamiento de Aguas Residuales. [en línea] de Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. [Fecha de consulta: Setiembre 25, 2015], Sitio web: [www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n59ne/algas.pdf](http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n59ne/algas.pdf)

**Metcalf, A.** (1995). Aguas Residuales: Reuso y Tratamiento. Lagunas de estabilización: una opción para Latinoamérica. [en línea], de Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas. [Fecha de consulta: Agosto 17, 2015], Sitio web: [http://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/2784/mod\\_resource/content/0/2\\_Aguas\\_residuales\\_protegido\\_.pdf](http://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/2784/mod_resource/content/0/2_Aguas_residuales_protegido_.pdf)

**Mujerriego, Metcalf & Eddy.** (Citados por Kestle, P.2004). Uso, reuso y reciclaje del agua residual en una vivienda. [en línea]. de Paho [fecha de consulta: enero 25, 2016] Sitio web: [http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/uso\\_reus](http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/uso_reus)

**Park, J., Craggs, R. & Shilton, A.** (2011). Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. [en línea] de Bioresource Technology 102. 35–42. [fecha de consulta: Diciembre 28, 2015] Sitio web: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20674341>

**Peralta, k.** (2013). Evaluación físico-química y microbiológica del sistema de tratamiento de aguas residuales en la planta Santa María del Beneficio F.J. Orlich. [en línea], de Instituto Tecnológico de Costa Rica. [fecha de consulta: Agosto 28, 2015], Sitio web: <http://www.bibliodigital.itcr.ac.cr/xmlui/handle/2238/185>

**Richmond, E.,** Sánchez, P.; Cambra, J., & et. al. (2004). Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro. [en línea], de Ministerio del Medio Ambiente. [Fecha de consulta: Octubre 10, 2015], Sitio web: [http://www.magrama.gob.es/es/agua/publicaciones/protocolos\\_muestreo\\_biologico\\_con\\_portada\\_tcm7-16059.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/publicaciones/protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tcm7-16059.pdf)

**Rivas, J.,** & Vera, B. (2011). Algas nativas utilitarias en biorremediación provenientes de las lagunas de oxidación en la ciudad de Calceta. [en línea]. de Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. [Fecha de consulta: Octubre 17, 2015], Sitio web: <http://www.repositorio.espam.edu.ec/handle/123456789/267>

- Rodríguez, M.** (2009). Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias. Barcelona, España: Mundi-Prensa Libros.
- Romero, J. A.** (2005). Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales. Santa Fe de Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ruiz, J., Álvarez, M., Colmenarejo, M., & Bustos, A.** (2011) Estudio de Laboratorio sobre algas aisladas a partir de aguas residuales urbanas. [en línea], de Revista de la Universidad de Murcia. [Fecha de consulta: Julio 28; 2015], Sitio web: <http://revistas.um.es/analesbio/article/viewFile/33981/32591>
- Seoánez, M.** (2005). Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo. [en línea], de Ingeniería del medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. [Fecha de consulta: Enero 15, 2016,], Sitio web: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=249051>
- Valencia, D.** (2012). Capacidad de remoción de amonio y ortofosfato a gran escala de dos especies de microalgas en aguas residuales municipales. [en línea], de Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. [Fecha de consulta: Setiembre 15, 2015], Sitio web: <http://148.206.53.84/tesiuami/2112800023.pdf>

**Vargas, L.,** Cárdenas de Flores, C., Hernández, M., Araujo, I., & Yabroudi, S. (2012) Efecto de las microalgas en la remoción de los compuestos nitrogenados presentes en la laguna facultativa de una planta de tratamiento de Aguas residuales. [en línea], de Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. [Fecha de consulta: Agosto 28, 2015], Sitio web: <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/cardevene.pdf>

**Yang J, Wang B & Wang L.** (2003). Multi-stage ponds-wetlands ecosystem for effective wastewater treatment. Zhejiang Univ SCI, 5, pp 346-352.

## IX. ANEXOS

**Anexo N° 1. Tabla de datos sobre la concentración de microalgas en la Planta de Magollo, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA.**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Género	Mes	Concentración microalgas/ml
1	IL1	Chlamydomonas	Junio	660
1	IL1	Chlamydomonas	Julio	1183
1	IL1	Chlamydomonas	Agosto	1212
1	IL1	Navicula	Junio	2
1	IL1	Navicula	Julio	0
1	IL1	Navicula	Agosto	0
1	SL1	Chlamydomonas	Junio	1194
1	SL1	Chlamydomonas	Julio	1052
1	SL1	Chlamydomonas	Agosto	1352
1	SL1	Navicula	Junio	13
1	SL1	Navicula	Julio	0
1	SL1	Navicula	Agosto	0
1	SL1	Phacus	Junio	13
1	SL1	Phacus	Julio	0
1	SL1	Phacus	Agosto	0
1	IL2	Chlamydomonas	Junio	1408
1	IL2	Chlamydomonas	Julio	1537
1	IL2	Chlamydomonas	Agosto	1476
1	SL2	Chlamydomonas	Junio	1852
1	SL2	Chlamydomonas	Julio	1911
1	SL2	Chlamydomonas	Agosto	1792
1	SL2	Phacus	Junio	6
1	SL2	Phacus	Julio	5
1	SL2	Phacus	Agosto	1
1	IL4	Chlamydomonas	Junio	2832
1	IL4	Chlamydomonas	Julio	1619
1	IL4	Chlamydomonas	Agosto	1181

1	IL4	Navicula	Junio	2
1	IL4	Navicula	Julio	2
1	IL4	Navicula	Agosto	0
1	IL4	Phacus	Junio	0
1	IL4	Phacus	Julio	0
1	IL4	Phacus	Agosto	2
1	SL4	Chlamydomonas	Junio	3273
1	SL4	Chlamydomonas	Julio	2173
1	SL4	Chlamydomonas	Agosto	2175
1	IL5	Chlamydomonas	Junio	1986
1	IL5	Chlamydomonas	Julio	558
1	IL5	Chlamydomonas	Agosto	1084
1	SL5	Chlamydomonas	Junio	1521
1	SL5	Chlamydomonas	Julio	876
1	SL5	Chlamydomonas	Agosto	2670
1	IL6	Chlamydomonas	Junio	1757
1	IL6	Chlamydomonas	Julio	736
1	IL6	Chlamydomonas	Agosto	555
1	IL6	Navicula	Junio	0
1	IL6	Navicula	Julio	4
1	IL6	Navicula	Agosto	1
1	IL6	Phacus	Junio	6
1	IL6	Phacus	Julio	2
1	IL6	Phacus	Agosto	0
1	SL6	Chlamydomonas	Junio	276
1	SL6	Chlamydomonas	Julio	650
1	SL6	Chlamydomonas	Agosto	734
1	SL6	Phacus	Junio	5
1	SL6	Phacus	Julio	1
1	SL6	Phacus	Agosto	0

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 2. Tabla de datos de la concentración de microalgas en la Planta de Copare – Cono Sur, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA.**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Género	Mes	Concentración microalgas/ml
1	IL1	Pha	Junio	730
1	IL1	Pha	Julio	661
1	IL1	Pha	Agosto	687
1	IL1	A	Junio	29
1	IL1	A	Julio	51
1	IL1	A	Agosto	13
1	IL1	C	Junio	21
1	IL1	C	Julio	0
1	IL1	C	Agosto	0
1	IL1	Sc	Junio	1
1	IL1	Sc	Julio	2
1	IL1	Sc	Agosto	0
1	IL1	M	Junio	0
1	IL1	M	Julio	0
1	IL1	M	Agosto	3
1	IL1	N	Junio	0
1	IL1	N	Julio	0
1	IL1	N	Agosto	2
1	SL1	Pha	Junio	1969
1	SL1	Pha	Julio	1869
1	SL1	Pha	Agosto	1902
1	SL1	A	Junio	41
1	SL1	A	Julio	60
1	SL1	A	Agosto	15
1	SL1	C	Junio	14
1	SL1	C	Julio	2
1	SL1	C	Agosto	0
1	SL1	Sc	Junio	0
1	SL1	Sc	Julio	6
1	SL1	Sc	Agosto	0
1	SL1	M	Junio	1
1	SL1	M	Julio	0
1	SL1	M	Agosto	2
1	SL1	N	Junio	1
1	SL1	N	Julio	0
1	SL1	N	Agosto	1
1	IL2	Pha	Junio	768
1	IL2	Pha	Julio	724
1	IL2	Pha	Agosto	756
1	IL2	A	Junio	110
1	IL2	A	Julio	66

1	IL2	A	Agosto	36
1	IL2	C	Junio	27
1	IL2	C	Julio	15
1	IL2	C	Agosto	6
1	IL2	Sc	Junio	7
1	IL2	Sc	Julio	5
1	IL2	Sc	Agosto	2
1	IL2	M	Junio	0
1	IL2	M	Julio	0
1	IL2	M	Agosto	4
1	IL2	N	Junio	11
1	IL2	N	Julio	5
1	IL2	N	Agosto	2
1	SL2	Pha	Junio	2013
1	SL2	Pha	Julio	1483
1	SL2	Pha	Agosto	1979
1	SL2	A	Junio	90
1	SL2	A	Julio	66
1	SL2	A	Agosto	37
1	SL2	C	Junio	38
1	SL2	C	Julio	14
1	SL2	C	Agosto	5
1	SL2	Sc	Junio	5
1	SL2	Sc	Julio	4
1	SL2	Sc	Agosto	0
1	SL2	M	Junio	0
1	SL2	M	Julio	0
1	SL2	M	Agosto	3
1	SL2	N	Junio	1
1	SL2	N	Julio	1
1	SL2	N	Agosto	0

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 3. Tabla de datos de pH en la Planta de Magollo, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA.**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Meses	pH
1	IL1	Junio	8,13
1	IL1	Julio	8,13
1	IL1	Agosto	8,54
1	SL1	Junio	8,34
1	SL1	Julio	8,04
1	SL1	Agosto	8,56
1	IL2	Junio	8,27
1	IL2	Julio	8,06

1	IL2	Agosto	8,47
1	SL2	Junio	8,28
1	SL2	Julio	8,12
1	SL2	Agosto	8,37
1	IL4	Junio	7,79
1	IL4	Julio	7,66
1	IL4	Agosto	7,86
1	SL4	Junio	8
1	SL4	Julio	7,99
1	SL4	Agosto	8,09
1	IL5	Junio	8,21
1	IL5	Julio	8,07
1	IL5	Agosto	8,37
1	SL5	Junio	8,35
1	SL5	Julio	8,17
1	SL5	Agosto	8,5
1	IL6	Junio	8,29
1	IL6	Julio	8,16
1	IL6	Agosto	8,53
1	SL6	Junio	8,27
1	SL6	Julio	8,11
1	SL6	Agosto	8,51

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 4. Tabla de datos de pH en la Planta de Copare – Cono Sur, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA.**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Meses	pH
1	IL1	Junio	8,34
1	IL1	Julio	7,71
1	IL1	Agosto	9,06
1	SL1	Junio	8,3
1	SL1	Julio	7,9
1	SL1	Agosto	8,68
1	IL2	Junio	8,15
1	IL2	Julio	8,03
1	IL2	Agosto	9,25
1	SL2	Junio	8,15
1	SL2	Julio	8,09
1	SL2	Agosto	8,61

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 5. Tabla de datos de conductividad eléctrica en la Planta de Magollo, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Meses	Conductividad_eléctrica uS/cm
1	IL1	Junio	1772
1	IL1	Julio	1698
1	IL1	Agosto	1728
1	SL1	Junio	1743
1	SL1	Julio	1707
1	SL1	Agosto	1745
1	IL2	Junio	1745
1	IL2	Julio	1683
1	IL2	Agosto	1750
1	SL2	Junio	1746
1	SL2	Julio	1697
1	SL2	Agosto	1786
1	IL4	Junio	1890
1	IL4	Julio	1765
1	IL4	Agosto	1847
1	SL4	Junio	1880
1	SL4	Julio	1762
1	SL4	Agosto	1825
1	IL5	Junio	1809
1	IL5	Julio	1742
1	IL5	Agosto	1799
1	SL5	Junio	1790
1	SL5	Julio	1721
1	SL5	Agosto	1785
1	IL6	Junio	1844
1	IL6	Julio	1819
1	IL6	Agosto	1872
1	SL6	Junio	1843
1	SL6	Julio	1817
1	SL6	Agosto	1901

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 6. Tabla de datos de conductividad eléctrica en la Planta de Copare – Cono Sur, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Meses	Conductividad_eléctrica
			uS/cm
1	IL1	Junio	1597
1	IL1	Julio	1602
1	IL1	Agosto	1585
1	SL1	Junio	1592
1	SL1	Julio	1606
1	SL1	Agosto	1605
1	IL2	Junio	1595
1	IL2	Julio	1600
1	IL2	Agosto	1537
1	SL2	Junio	1591
1	SL2	Julio	1601
1	SL2	Agosto	1599

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 7. Tabla de datos de oxígeno disuelto en la Planta de Magollo, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Meses	Oxígeno_disuelto
			mg/L
1	IL1	Junio	1,27
1	IL1	Julio	1,22
1	IL1	Agosto	1,3
1	SL1	Junio	1,41
1	SL1	Julio	1,12
1	SL1	Agosto	1,51
1	IL2	Junio	1,3
1	IL2	Julio	1,39
1	IL2	Agosto	1,34
1	SL2	Junio	1,41
1	SL2	Julio	1,56

1	SL2	Agosto	1,49
1	IL4	Junio	1,49
1	IL4	Julio	1,46
1	IL4	Agosto	1,58
1	SL4	Junio	1,57
1	SL4	Julio	1,55
1	SL4	Agosto	1,84
1	IL5	Junio	1,68
1	IL5	Julio	1,12
1	IL5	Agosto	1,21
1	SL5	Junio	1,27
1	SL5	Julio	1,17
1	SL5	Agosto	1,55
1	IL6	Junio	1,19
1	IL6	Julio	1,06
1	IL6	Agosto	1,13
1	SL6	Junio	1,01
1	SL6	Julio	0,58
1	SL6	Agosto	1,08

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 8. Tabla de datos para oxígeno disuelto en la Planta de Copare – Cono Sur, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Meses	Oxígeno_disuelto
			mg/L
1	IL1	Junio	3,56
1	IL1	Julio	3,62
1	IL1	Agosto	3,69
1	SL1	Junio	6,71
1	SL1	Julio	6,03
1	SL1	Agosto	6,84
1	IL2	Junio	3,63
1	IL2	Julio	3,18
1	IL2	Agosto	3,53
1	SL2	Junio	6,75
1	SL2	Julio	5,35
1	SL2	Agosto	6,16

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 9. Tabla de datos para DBO<sub>5</sub> en la Planta de Magollo, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Meses	DBO <sub>5</sub> mg/L
1	IL1	Junio	368
1	IL1	Julio	362
1	IL1	Agosto	343
1	SL1	Junio	271
1	SL1	Julio	319
1	SL1	Agosto	249
1	IL2	Junio	348
1	IL2	Julio	337
1	IL2	Agosto	355
1	SL2	Junio	261
1	SL2	Julio	246
1	SL2	Agosto	274
1	IL4	Junio	285
1	IL4	Julio	355
1	IL4	Agosto	379
1	SL4	Junio	186
1	SL4	Julio	230
1	SL4	Agosto	228
1	IL5	Junio	361
1	IL5	Julio	396
1	IL5	Agosto	378
1	SL5	Junio	270
1	SL5	Julio	337
1	SL5	Agosto	248
1	IL6	Junio	354
1	IL6	Julio	368
1	IL6	Agosto	386
1	SL6	Junio	330
1	SL6	Julio	318
1	SL6	Agosto	304

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 10. Tabla de datos para DBO<sub>5</sub> en la Planta de Copare – Cono Sur, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Meses	DBO <sub>5</sub>
			mg/L
1	IL1	Junio	354
1	IL1	Julio	370
1	IL1	Agosto	361
1	SL1	Junio	100
1	SL1	Julio	118
1	SL1	Agosto	110
1	IL2	Junio	357
1	IL2	Julio	346
1	IL2	Agosto	370
1	SL2	Junio	108
1	SL2	Julio	156
1	SL2	Agosto	108

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 11. Tabla de datos para DQO en la Planta de Magollo, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Meses	DQO
			mg/L
1	IL1	Junio	497
1	IL1	Julio	409
1	IL1	Agosto	414
1	SL1	Junio	354
1	SL1	Julio	327
1	SL1	Agosto	311
1	IL2	Junio	475
1	IL2	Julio	448
1	IL2	Agosto	462
1	SL2	Junio	351
1	SL2	Julio	331
1	SL2	Agosto	358
1	IL4	Junio	495

1	IL4	Julio	426
1	IL4	Agosto	468
1	SL4	Junio	263
1	SL4	Julio	221
1	SL4	Agosto	224
1	IL5	Junio	422
1	IL5	Julio	464
1	IL5	Agosto	447
1	SL5	Junio	318
1	SL5	Julio	360
1	SL5	Agosto	324
1	IL6	Junio	428
1	IL6	Julio	432
1	IL6	Agosto	452
1	SL6	Junio	376
1	SL6	Julio	370
1	SL6	Agosto	332

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 12. Tabla de datos para DQO en la Planta de Copare – Cono Sur, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Meses	DQO mg/L
1	IL1	Junio	486
1	IL1	Julio	495
1	IL1	Agosto	492
1	SL1	Junio	201
1	SL1	Julio	212
1	SL1	Agosto	209
1	IL2	Junio	480
1	IL2	Julio	498
1	IL2	Agosto	488
1	SL2	Junio	198
1	SL2	Julio	260
1	SL2	Agosto	175

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 13. Tabla de datos para la eficiencia de remoción en la Planta de Magollo, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Meses	Eficiencia_remoción
			%
1	L1	Junio	26
1	L1	Julio	12
1	L1	Agosto	27
1	L2	Junio	25
1	L2	Julio	27
1	L2	Agosto	23
1	L4	Junio	35
1	L4	Julio	35
1	L4	Agosto	40
1	L5	Junio	25
1	L5	Julio	15
1	L5	Agosto	34
1	L6	Junio	7
1	L6	Julio	14
1	L6	Agosto	21

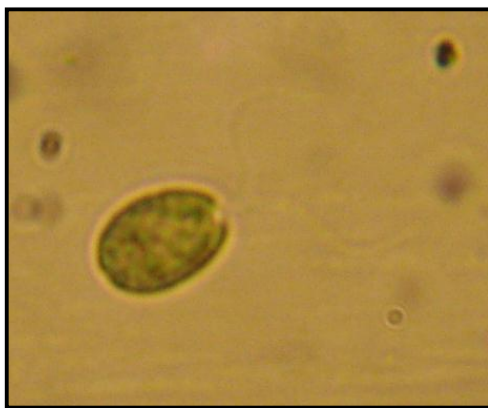
**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 14. Tabla de datos para la eficiencia de remoción en la Planta de Copare – Cono Sur, usado con el software Statgrafics XVII para aplicar el ANOVA**

BLOQUE	Punto_Muestreo	Meses	Eficiencia_remoción
			%
1	L1	Junio	72
1	L1	Julio	68
1	L1	Agosto	70
1	L2	Junio	70
1	L2	Julio	55
1	L2	Agosto	71

**Fuente: Elaboración propia**

Anexo N° 15. Figura de *Chlamydomonas* sp. con aumento de 400x



Anexo N° 16. Figura de *Navicula* sp. con aumento de 400x



Anexo N° 17. Figura de *Phacus* sp. con aumento de 400x



Anexo N° 18. Figura de *Microactinium* sp. con aumento de 400x



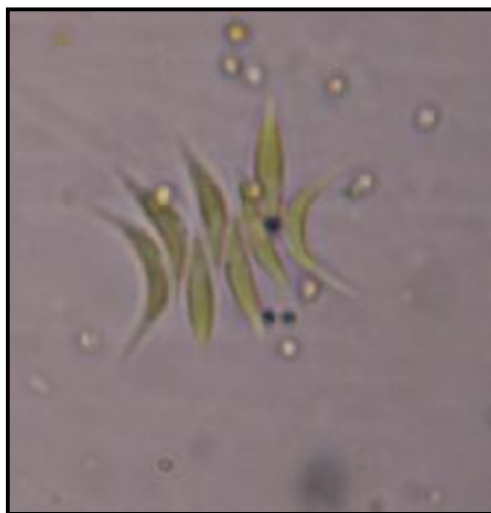
Anexo N° 19. Figura de *Ankistrodesmus* sp. con aumento de 400x



Anexo N° 20. Figura de *Coelastrum* sp. con aumento de 400x



**Anexo N° 21. Figura de *Scenedesmus* sp. con aumento de 400x**



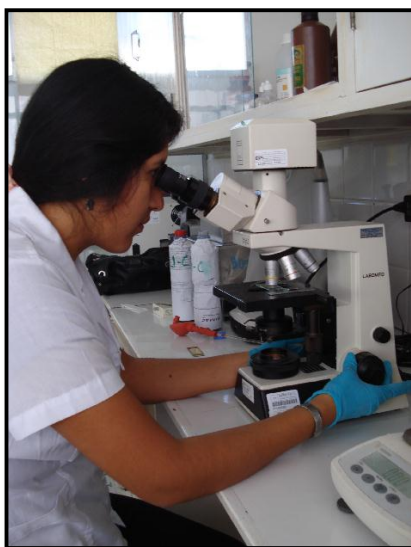
**Anexo N° 22. Laguna N° 3 de la Planta de Magollo en proceso de secado, para su posterior limpieza.**



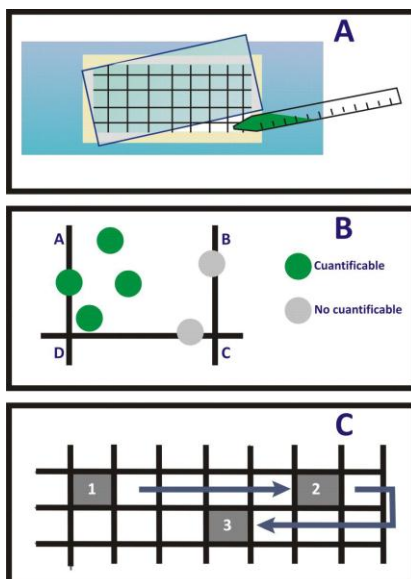
**Anexo N° 23. Recolección de muestra de agua residual en la Planta de Tratamiento Copare – Cono Sur**



**Anexo N° 24. Observación de muestras de agua residual en el microscopio.**



**Anexo N° 25. Procedimiento de cuantificación de fitoplancton con cámara de Sedwick-Rafter.**



Fuente: Revista Reduca, Serie Microbiología. 5 (5): 110-125, 2012.

**Anexo N° 26. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR - DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM**

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: El Peruano, Normas Legales, 2010



---

Bach. Yendi M. Chambe Mansilla  
**TESISTA**



---

M. Sc. Isabel Ancco Oliva  
**ASESORA**