UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

"EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y CAPACIDAD FICORREMEDIADORA DE LA MICROALGA *Scenedesmus sp.* CULTIVADA EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI - 2016"

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

INGRID VIVIANA SANCHEZ AÑORGA

PUCALLPA – PERÚ

2016

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue sometida a consideración para su aprobación ante el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, integrado por los siguientes Catedráticos:

Dr. MARCO ANTONIO CHOTA IZUISA _____
Presidente

Ing. CESAR MORI MONTERO _____
Miembro

Ing. FERMIN CAMPOS SOLORZANO _____
Miembro

Dr. RUBEN MATURANO PEREZ _____
Asesor

Ing. MELCHOR DOLMOS CASTRO _____
Coasesor

Blgo.Pesq. ROGER BAZAN ALBITEZ _____
Coasesor

Bach. INGRID VIVIANA SANCHEZ AÑORGA _____
Tesista

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por haberme permitido alcanzar este logro, a mi madre Dora por su apoyo, sus consejos, valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor incondicional día tras día. A mis abuelitos Leónidas y Roberto, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y por el valor mostrado para salir adelante ante cualquier circunstancia. A mis hermanos Danny, cesar y perlita que los adoro infinitamente.

AGRADECIMIENTO

Al instituto de Investigación de la Amazonia Peruana - IIAP Ucayali, por haberme permitido el ingreso a su laboratorio de Cultivo de Alimento Vivo del Centro de Investigaciones Dale E. Bandy, lugar en el que se realizó la parte experimental del trabajo de investigación.

Al Dr. Rubén Dario Maturano Pérez y al Ing. Melchor Dolmos Castro por la asesoría brindada para el desarrollo de la investigación.

A los Blgos. Pesq. Roger Bazan Albitez, Carmela Rebaza Alfaro, Humberto Arbildo Ortiz y Técnicos del programa ACUAREC, por su motivación y orientación constante que ha posibilitado la realización del presente trabajo.

De manera especial a mi querida madre por su inmensurable apoyo, a mis Hermanos y Abuelitos, ya que sin ellos no se habría podido cristalizar esta etapa tan significativa para mi vida.

RESUMEN

Con el objetivo determinar la capacidad ficorremediadora de la microalga *Scenedesmus sp*., cultivada en las aguas residuales de la Universidad Nacional de Ucayali; se aplicaron cuatro dosis (0 L, 5L, 8L y 10L de la microalga) con tres repeticiones en un diseño completamente al azar (DCA), en bandejas de 30 L de aguas residuales durante 28 días, se midió la eficiencia con el programa ANOVA.

Se evaluaron los parámetros físicos de temperatura, color, pH; en dos horarios, a las 8:00 am y 3:00 pm. Asimismo se evaluaron los parámetros químicos de nitratos, fosforo total, demanda bioquímica de Oxigeno (DBO), demanda química de Oxigeno (DQO) y un parámetro microbiológico que fue coliformes termotolerantes. Los muestreos del parámetro químico y microbiológico se realizaron semanalmente y fueron analizados en el laboratorio NATURA de la ciudad de Pucallpa. Los resultados mostraron que las dosis adecuadas fueron 5L y 8 L de microalga, lo que significa menor cantidad de microalga mejor Ficorremediación, tuvo un 70 % total de eficiencia con la microalga *Scenedesmus* sp., mostrando con mayor eficiencia en el día 17 lo que corresponde a la tercera semana de los 28 días que duro el presente estudio en el tratamiento 2y 3; analizados en los parámetros físicos (pH con un promedio de 8.22, temperatura con un promedio de 26 ºC y el color), químicos (DQO 90%, DBO 90%, fosforo total 60% y nitratos 75%) y microbiológico (coliformes termotolerantes 80%)

Palabras claves: Aguas residuales, *Scenedesmus sp*., dosis, tiempo, eficiencia, Ficorremediación.

ABSTRACT

With the objective to determine the ficorremediadora capacity of the microalga Scenedesmus sp., Cultivated in the sewage of the National University of Ucayali; Four doses (0 L, 5L, 8L and 10L of the microalga) were applied with three replicates in a completely randomized design (DCA), in trays of 30 L of wastewater for 28 days, efficiency was measured with the Anova program.

The physical parameters of temperature, color, pH; In two schedules, at 8:00 am and 3:00 pm. The chemical parameters of nitrates, total phosphorus, biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD) and a microbiological parameter that were thermotolerant coliforms were also evaluated. Samples of the chemical and microbiological parameter were performed weekly and analyzed in the NATURA laboratory of the city of Pucallpa. The results showed that the appropriate doses were 5L and 8L of microalga, which means lesser amount of microalgae better ficorremediatión, have a 70% totally of efficiency with microalga *Scenedesmus* sp., shown to be more efficient on day 17, which corresponds to the third week of the 28 days that the Present study, in the treatments 2 y 3. Analyzes of the physical parameters (pH with an average of 8.22, temperature with an average of 26ºC and color), Chemicals (DQO 90%, DBO 90%, phosphorus 60% and nitrates 75%) and microbiological (thermotolerant coliforms 80%).

Key words: wastewater, *Scenedesmus sp.,* Dose, time, efficiency, Ficorremediation.

INDICE DE CONTENIDOS

ACTA DE APROBACIÓN ii

DEDICATORIA iii

AGRADECIMIENTO iv

RESUMEN v

ABSTRACT vi

INDICE DE CONTENIDOS vii

INDICE DE FIGURAS xii

INDICE DE IMÁGENES xv

INDICE DE TABLA xvi

INTRODUCCION 1

CAPITULO I 4

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA 6

1.2.1. General 6

1.2.2. Específicos 6

CAPITULO II 8

MARCO REFERENCIAL 8

2.1 Marco Histórico 8

2.1.1. Enfoque Situacional en Latinoamérica 8

2.2 Marco Normativo 16

2.2.1. Marco legal de aguas residuales domesticas en el Perú y roles de las 16

Entidades competentes.....16

2.2.2. Valores máximos admisibles 17

2.3.1. Aguas Residuales 18

2.3.3. Microalgas.....26

2.3.4. *Scenedesmus sp*.....35

CAPITULO III.....38

METODOLOGIA 38

3.1. Descripción del área de estudio.....38

3.2. Lugar del trabajo de investigación 39

3.3. Método de investigación.....40

3.4. Población y Muestra 40

3.4.1. Población.....40

3.4.2. Muestra.....41

3.5.1. Independiente (X).....41

3.5.2. Dependiente (Y) 42

3.6. Análisis Estadístico.....42

3.6.1 Esquema del Diseño completamente al azar (DCA).....43

3.7. Instrumentos de Recolección de Datos 44

3.7.1. Material biológico y orgánico (Microalga) 44

3.7.2. Equipos de laboratorio 44

3.7.4. Materiales y equipos de gabinete 45

3.7.3. Materiales de escritorio 45

3.8. Procedimiento de Recolección de Datos 46

3.8. 1. Obtención de la cepa *Scenedesmus* sp. 46

3.8. 2. Preparación y masificación del Inóculo 46

3.8. 3. Producción masiva de microalgas 47

3.8. 4. Ficorremediación del agua residual 49

3.9. Evaluación del tiempo y la eficiencia de *Scenedesmus sp*., en el 54

Agua Residual 54

CAPITULO IV 55

RESULTADOS Y DISCUSION 55

4.1. Características del Agua Residual de la Universidad Nacional De 55

Ucayali 55

4.2. Análisis físico químico y microbiológico del agua residual 56

4.2.1. Evaluación del Análisis físico 56

4.3.2. Evaluación del Análisis químico 60

4.3 Análisis de los resultados de Anova (Analisis de varianza).....65

4.4. Comportamiento del Color 68

4.5 Comportamiento del Temperatura ºC 69

4.6 Temperatura Ambiente ºC 70

4.7 Comportamiento del pH 71

4.8 Comportamiento de la demanda bioquímica de oxigeno (DBO5) mg/l 73

4.9 Comportamiento de la demanda química de oxigeno (DQO5) mg/l 74

4.10 Comportamiento de Coliformes termotolerantes NMP/100ml 76

4.11. Comportamiento de fosforo total mg/l 77

4.12 Comportamiento de Nitratos mg/l 80

4.13 Crecimiento poblacional.....82

4.14. Tiempo y Eficiencia.....83

CAPITULO V 84

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 84

5.1. CONCLUSIONES.....84

CAPITULO VI 86

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 86

ANEXOS.....91

ANEXO 1.....92

Iconografías: Lugar de Extracción del Agua Residual.....92

ANEXO 2.....93

Iconografías: Preparación y masificación del Inóculo 93

ANEXO 3.....94

Iconografías: Medios de Cultivo.....94

ANEXO 4 94
Iconografías: Preparación del medio de cultivo Heusslermerino y (HM) 94
ANEXO 5 95
Iconografías: Sistema de cultivo 95
ANEXO 6 96
Iconografías: Simulación de un ambiente natural y aireación en cada bandeja 96
ANEXO 7 96
Iconografías: Conteo de las muestras en la cámara Neubauer 96
ANEXO 8 97
Iconografías: Evaluación del monitoreo físico del pH 97
ANEXO 9 97
Iconografías: Biomasa de la microalga 97
ANEXO 10 98
Iconografías: Resultados obtenidos del Color 98
ANEXO 11 102
Iconografías: Invasión de otra microalga que fue *Chlorella sp.,* y rotíferos 102
ANEXO 12 103
Conteo de la cámara Neubauer 103
ANEXO 13 104
Registro del pH 104
7.2 Resultados de los Análisis entregados por Natura 106

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de riego con microalgas en el Perú (Carey, R. O., & Migliaccio, K. W 9

Figura 2. Zonas de PTAR con microalgas, (Abhay B. Fulke, S.N.M., & Ajam Shekh, N.2010).....9

Figura 3. Concentración inicial y final en los fotobioreactores, estudio del cosechado de cultivos de microalgas (Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. & Eaton, A. D. 2010). 10

Figura 4. Microalgas y bacterias para la eliminación de nutrientes (Doucha, & Lívanský, 2010). 12

Figura 5. Biorremediacion de efluentes urbanos (Lau, P.S., Tam, N.F.Y., & Wong, Y.S. 2010) 13

Figura 6. Tratamiento terciario de aguas residuales (Liu, J., Huang, Y., & Chen, F. 2012).....14

Figura 7. Microalga para remover Nitrato y DQO, (Montaigne, F., Essick, P., 2012). 15

Figura 8. Crecimiento y productividad de microalgas, (García, J., Mujeriego, R., Hernadez-Martinez, M. 2012). 27

Figura 9. Sistemas abiertos, (Mora R., Ortiz N. & Yngrytd C.,Bermudez J.,Avendaño 2012).....33

Figura 10. Sistema cerrado, (Brennan, L., & Owende, P. 2010).....35

Figura 11. Scenedesmus sp. (Mora R., & Ortiz N 2013).....37

Figura 12. Dosificación de los tratamientos en el agua residual 44

Figura 13. Cuadrantes de la cámara neubauer 52

Figura 14. Análisis químico de la semana 1 60

Figura 15. Análisis químico de la semana 2 62

Figura 16. Análisis químico de la semana 3 63

Figura 17. Análisis químico de la semana 4 64

Figura 18. Resultados de tukey.....67

Figura 19. Resultado de la Temperatura realizados en las muestreos de la microalga Scenedesmus sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU..69

Figura 20. Resultado de la Temperatura ambiente realizados en las muestreos de la microalga *Scenedesmus* sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU. 70

Figura 21. Resultado de la pH realizados en las muestreos de la microalga Scenedesmus sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU. 71

Figura 22. Resultado de la Demanda bioquímica de oxigeno (DBO) realizados en las muestreos de la microalga Scenedesmus sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU. 73

Figura 23. Resultado de la Demanda química de oxigeno (DQO) realizados en las muestreos de la microalga Scenedesmus sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU. 74

Figura 24. Resultado de Coliformes termotolerantes realizados en las muestreos de la microalga Scenedesmus sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU. 76

Figura 25. Resultado de fosforo total realizados en las muestreos de la microalga Scenedesmus sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU..77

Figura 26. Resultado de Nitratos realizados en las muestreos de la microalga Scenedesmus sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU..80

Figura 27. Crecimiento poblacional de Scenedesmus sp. 82

Figura 28. Eficiencia de los tratamientos con el agua residual de la UNU 83

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Marco legal de aguas residuales domesticas en el Perú. (Brennan, L., & Owende, P. 2010).....16

Imagen 2. Anexo 1 de los Valores máximos admisibles. (Mugg J.,& Rice M.2010). 17

Imagen 3. Anexo 2 de los Valores máximos admisibles. VMA 2015.....17

Imagen 4. Constituyentes en el tratamiento de aguas residuales, ...19

Imagen 5. Nutrientes de las microalgas, (Liu, J., Huang, J., & Chen, F. 2012) 29

Imagen 6. Composición química de las microalgas, (Singh, N.K., & Patel, D.B. 2012) 30

Imagen 7. Compuestos de células de las algas, (Singh, N.K., & Patel, D.B. 2012) 30

Imagen 8. Ubicación geográfica del área de estudio 38

Imagen 9. Lugar de desarrollo de la investigación.....39

Imagen 10. Población de Scenedesmus sp.....40

Imagen 11. Tratamientos con sus repeticiones 41

Imagen 12. Resultado del color observadas en las muestras realizados con y sin la microalga Scenedesmus sp**.,** cultivada en las aguas residuales de la UNU.....68

INDICE DE TABLA

Tabla 1. Esquema del diseño completamente al azar (DZA) 43

Tabla 2. Condiciones químicas.....48

Tabla 3. Caudal de la cámara de bombeo 50

Tabla 4. Dosificaciones a 30 L.....51

Tabla 5. Análisis de calidad de agua residual sin microalga *Scenedesmus sp.*

.....55

Tabla 6. Análisis físicos del agua residual colectada 57

Tabla 7. Resultados de ANOVA de un factor en relación al crecimiento poblacional en el día 28 de cultivo de la microalgas. 65

Tabla 8. Resultados de Tukey.....66

INTRODUCCION

Las diversas actividades del hombre producen importantes residuos industriales y domésticos que son vertidos a los cuerpos de agua ocasionando graves problemas de contaminación y procesos de eutrofización que pueden llevar a la destrucción completa del ecosistema, al superar la capacidad normal de autodepuración de los mismos para recuperar el papel fundamental que cumplen las comunidades microbianas en los distintos ciclos tróficos se hace necesario realizar tratamientos de tipo primario (mecánico) y secundario (bacteriano).

Sin embargo este último ocasiona la descarga de efluentes ricos en nitratos y fosfatos que pueden ser posteriormente removidos por microalga con la consecuente producción de biomasa que puede ser utilizada como complemento nutricional para animales y el hombre y tratamientos de aguas residuales. Son los primeros estudios sobre la posibilidad de utilizar microalgas como microrganismos ficorremediadores de aguas residuales debido al aprovechamiento de los nutrientes inorgánicos fueron reportados por cadwell 1946. Posteriormente Oswald en 1957 introduce un nuevo Concepto al hablar de producción masiva de microalgas.

El uso de las microalgas, como biosistema alternativo, en el tratamiento de las aguas residuales, ha sido el objeto de numerosas investigaciones debido a su capacidad de remover cantidades significativas de N y P durante su crecimiento, absorber metales y acelerar la inactivación de bacterias patógenas (An, J. Y., Sim, S. J., Lee, J. S., & Kim, B. W. 2013). Además la biomasa algal producida, durante el procesamiento de estos efluentes, representa una fuente potencial de alimentos, químicos y pigmentos, entre otras importantes aplicaciones. Castillo V. H. (2014)

Scenedesmus sp., así como algunas especies del grupo de las cianobacterias, se han descrito en el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales, destacando las provenientes de plantas de tratamiento convencionales (Hernández, D., Riaño, B., Coca, M., Solana, M., Bertucco, A., Garcia & González, M. 2015), de origen industrial (Mugg J., & Rice M. 2010), urbano (Castillo, V. 2014) y las derivadas de excretas animales (Travieso, L., Benítez, F., Sánchez, E., Borja, R., León, M., Raposo, F., & Rincón, B. 2013).

No obstante, en Perú no existen registros sobre la utilización de las microalgas para la recuperación de aguas residuales destinadas para el riego o para ser liberadas a cuerpos de aguas con valores de nutrientes permisibles. El objetivo general de la presente investigación es determinar el crecimiento y capacidad ficorremediadora de la microalga *Scenedesmus sp*., cultivadas en las aguas residuales de la Universidad Nacional de Ucayali. Y como objetivos específicos tenemos los siguientes: determinar las dosis adecuadas para una eficiente ficorremediacion de las aguas residuales de la UNU

Determinar el tiempo necesario para que *Scenedesmus* sp. Mejore la calidad de las muestras del agua residual de la UNU.

Analizar la eficiencia de *Scenedesmus* sp., para determinar la capacidad Ficorremediadora de las aguas residuales de la UNU. Para la remoción de nitrato, fósforo total, DQO, DBO coliformes termotolerantes cultivadas en las aguas residuales de la Universidad Nacional de Ucayali.

Las aguas residuales, ya sean de origen doméstico, animal o industrial, debido a su alto contenido de nutrientes (N y P) constituyen un medio apropiado para el crecimiento de microalgas, las cuales han demostrado su capacidad de remover

cantidades apreciables de nitrógeno y fósforo para su desarrollo. (Singh, N.K., & Patel, D.B. 2012)

Vijaykumar, S., Thajuddin, N., & Manoharan, C. (2015) afirman el uso de microalgas como depuradoras de aguas residuales, surge a comienzos de los años 50, cuando Oswald y colaboradores, sugirieron la utilización de cultivos masivos de microalgas para el tratamiento de aguas residuales y producción de proteína, simultáneamente .Las microalgas comúnmente utilizadas han sido C*hlorella* y *Scenedesmus* empleadas en el tratamiento de residuales provenientes de plantas de tratamientos convencionales, aguas residuales industriales y residuos animales. Así como en la producción masiva de biomasa para fines comerciales.

El proceso integral de tratamiento de aguas residuales usando cultivos de microalgas, presenta ventajas tan importantes como son: el mejoramiento de la calidad del efluente, mediante un mecanismo de bajo costo energético con el aprovechamiento de nutrientes que estaban siendo desechados y que son incorporados a la biomasa; la cual presenta un alto valor comercial. La presente investigación tiene como propósito utilizar aguas residuales de la Universidad Nacional de Ucayali para la ficorremediación con la microalga *Scenedesmus sp.,* con lo que se pretende evaluar la capacidad de remoción de nutrientes de la misma y la eficiencia aplicando a sus tratamientos.

CAPITULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La evidente problemática ambiental a nivel mundial es un tema de discusión y preocupación, siendo la contaminación del recurso hídrico uno de los más relevantes. En el Perú la generación de las aguas residuales procedentes de centros urbanos, industria o incluso de recepciones menos visibles como lixiviados de líquidos procedentes de tierras agrícolas, ha sido un problema que desde la antigüedad que preocupa a las comunidades, más aun con el desarrollo industrial y tecnológico que adiciona sustancias de origen sintético, de carácter toxico o de lenta degradación lo que complica su tratamiento Trepanier, C., Parent, S., Comeau, Y., Bouvrette, J. (2012).

Brennan, L., & Owende, P. (2010) afirman que la reutilización de aguas residuales y la generación de energías limpias de bajo costo se ha tornado indispensable. Entre estas tecnologías, los cultivos de microalgas adquieren un gran protagonismo, ya que reciclan eficientemente contaminantes desde aguas residuales.

Actualmente la Universidad Nacional de Ucayali (UNU) no cuenta con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales eficientes para depurar las aguas servidas, siendo uno de los factores para plantear alternativas de soluciones ambientales viables para afrontar dicha problemática, aportando con referencias técnicas para presentes perfiles de inversión pública para su evaluación por el MEF y posterior ejecución.

El agua residual que se genera en la Universidad Nacional de Ucayali requiere de atención enfocada hacia los procesos de tratamiento, para que esta pueda ser reusada en distintos usos o simplemente ser descargada a cuerpos receptores, ya sin contaminantes que afecten a la flora y a la fauna de dichos sistemas, con responsabilidad social y ambiental.

El tratamiento del agua residual generados requiere especial atención debido a las descargas que se realizan en la actualidad en el rio Ucayali ocasionando serios problemas de contaminación, la recuperación de estos contaminantes mitigaría diversos problemas ambientales que repercuten y también contribuiría a la mitigación de la falta de agua recurso hídrico en la Región. La falta de educación y consciencia ambiental de los pobladores junto al alto índice de crecimiento poblacional que vienen generando invasiones de áreas trayendo como consecuencia en dichas poblaciones una carente disponibilidad de servicios básicos entre ellos saneamiento básico de agua y desagüe cuyos efluentes llegan a las quebradas Yumantay y Manantay; la laguna de Yarinacocha y el río Ucayali.

En este estudio se utilizará la especie *Scenedesmus sp*., para tratar el agua residual de la Universidad Nacional de Ucayali para la eliminación de nutrientes, y fue seleccionado por su fácil adquisición y su sencillo mantenimiento en el ambiente como lo muestra los objetivos del presente estudio.

Abhay B. (2010) afirma que las microalgas son el primer eslabón de la cadena trófica y se han empleado para la eliminación de nutrientes de aguas residuales de tipo municipal o industrial. *Scenedesmus sp.,* es una clorofícea clorococal especialmente conocida por su capacidad de eliminar nutrientes del agua, es conocida por ser una de las microalgas de más rápido crecimiento, ha reportado para el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales, destacando las provenientes de plantas de tratamiento convencionales. En consecuencia hay la necesidad de conocer su capacidad ficorremediadora de la microalga en las aguas residuales de la UNU.

Asimismo, la biomasa derivada del proceso de purificación de aguas residuales puede ser utilizada como fertilizante para cultivos de mejora de la calidad del suelo. Lee, J. S., & Kim, B. W. (2013)

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. General

¿Cuál es el crecimiento y capacidad de ficorremediadora de la microalga *Scenedesmus sp.*, cultivada en aguas residuales de la Universidad Nacional de Ucayali.2016?

1.2.2. Específicos

¿Cuáles son las proporciones de las dosis de la microalga *Scenedesmus sp*., adecuadas para la capacidad ficorremediadora de las aguas residuales de la Universidad Nacional de Ucayali.2016?

¿Cuál es el tiempo necesario para que la microalga *Scenedesmus sp*., mejore la calidad de las muestras del agua residual de la Universidad Nacional de Ucayali.2016?

¿Cuál es la eficiencia del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.,* para determinar la capacidad de ficorremediación de las aguas servidas de la Universidad Nacional de Ucayali.2016?

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Histórico

2.1.1. Enfoque Situacional en Latinoamérica

En Latinoamérica muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos, la mayor parte de las aguas negras no han recibido tratamiento aun las grandes ciudades se encuentran a menudo altamente contaminadas y carecen de infraestructura de saneamiento para tratar los residuos peligrosos como promedio, solamente 10% de las aguas de alcantarillado recolectadas en Latinoamérica son sujetas a cualquier tipo de tratamiento. Al menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades en Latinoamérica reciben tratamiento. Con la ausencia de tratamiento, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales (Castillo, V. H. 2014).

Castillo, V. H. (2014) determina que en el Perú se recolectaron aproximadamente 786,4 millones de m^3 de aguas residuales provenientes de conexiones domiciliarias, de los cuales 401,9 millones de m^3 fueron generados en las ciudades de Lima y Callao. Y se están implementando proyectos que utilizan microalgas porque son ambientalmente económicas, como se muestra en la figura 1.



ZONA	Nº	PTAR	DISTRITO
NORTE	1	Ancón	Ancón
	2	Santa Rosa	Santa Rosa
	3	Ventanilla	Ventanilla
	4	Taboada	Callao
	5	Puente Piedra	San Martín de Porres
ESTE	6	Nueva Sede	Agustino
	7	Carapongo	Ate Vitarte
	8	San Antonio de Carapongo	Lurigancho-Chosica
	9	Cieneguilla	Cieneguilla
	10	Manchay	Pachacamac
SUR	11	Punto A	Surco
	12	La Chira	Chorrillos
	13	San Juan	S.J.Miraflores
	14	José Gálvez	Villa María
	15	Huáscar	Villa Salvador
		Parque 26	Villa Salvador
	16	Nuevo Lurín	Lurín
		San Pedro de Lurín	Lurín
		Julio C. Tello	Lurín
		San Bartolo	Lurín
	17	Punta Hermosa	Punta Hermosa
	18	Balneario San Bartolo Sur	San Bartolo
		Balneario San Bartolo Norte	San Bartolo
	19	Pucusana	Pucusana

Figura 1. Sistema de riego con microalgas en el Perú (Carey, R. O., & Migliaccio, K. W

Sistema de riego con microalgas en el Perú (Carey, R. O., & Migliaccio, K. W.Actualmente, se viene promoviendo el mejoramiento y ampliación del sistema de tratamiento de las aguas residuales. Para ello, el gobierno nacional está invirtiendo en proyectos grandes que esperan cubran hasta el 100% de las aguas residuales del Perú como por ejemplo de Lima y Callao como se muestra en la figura 2.

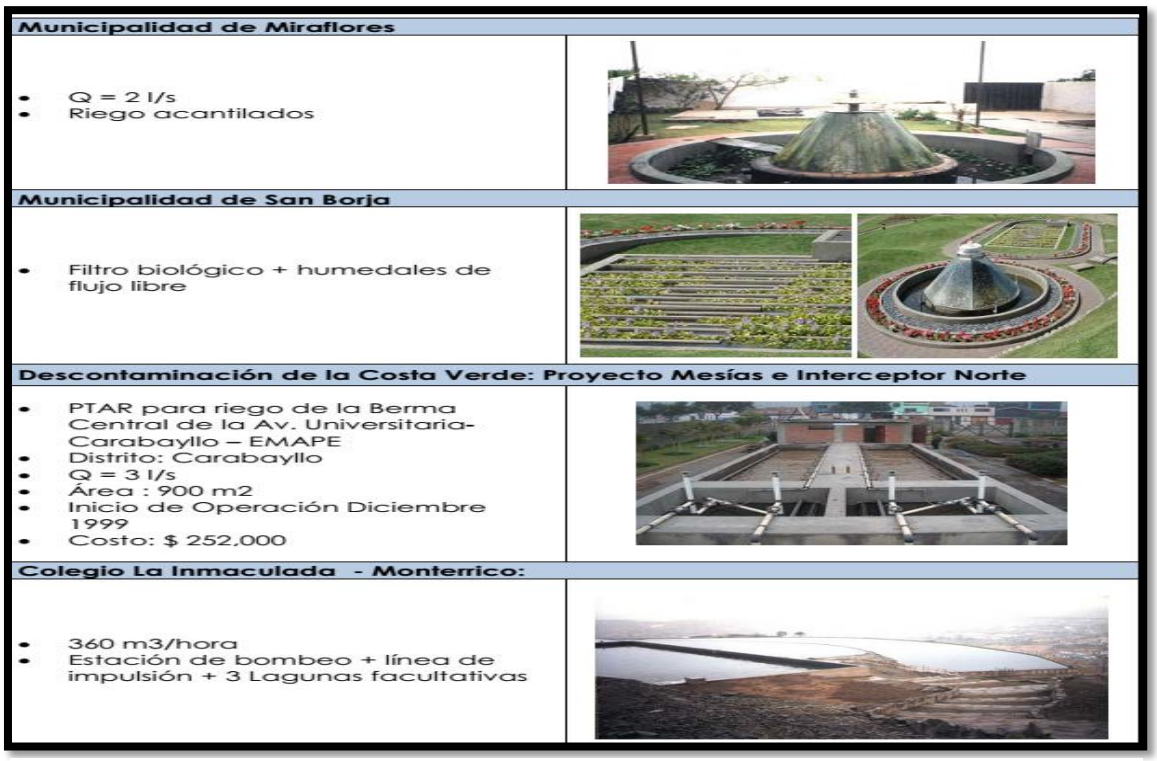


Figura 2. Zonas de PTAR con microalgas, (Abhay B. Fulke, S.N.M., & Ajam Shekh, N.2010)

2.1.2. Enfoque Situacional de otros países

Chiclana de la Frontera, la Universidad de Cádiz; realizo una investigación titulada **"estudio del cosechado de cultivos de microalgas en agua residual mediante técnicas de centrifugado**". Como objetivos tiene: Determinar el porcentaje de eliminación de nutrientes (N, nitratos, nitritos, P) en el agua residual diferentes especies de microalgas.

Concentración inicial de nutrientes en los fotobiorreactores

CULTIVO	CONCENTRACIÓN (mg/L)				
	PPO_4	NNO_2	NNH_4	NNO_3	$\sum N_i$
Neochloris oleoabundans	7.175	0.147	60.520	0.799	61.466
Scenedesmus oblicuus	6.624	0.240	52.924	0.659	53.823
Botryococcus braunii	7.133	0.239	55.393	0.454	56.086
Chlorella sorokiniana	7.175	0.199	55.678	0.465	56.342
Bloom	7.387	0.154	65.837	0.767	66.758
Chlorella vulgaris	5.804	0.080	56.532	0.605	57.217

Los valores en rojo sobrepasan la normativa para descarga a medios acuáticos en zonas sensibles para N y P que son 15 mg/L y 2 mg/L respectivamente.

Concentración final de nutrientes en los fotobiorreactores

CULTIVO	CONCENTRACIÓN (mg/L)				
	PPO_4	NNO_2	NNH_4	NNO_3	$\sum N_i$
Neochloris oleoabundans	0.206	22.078	0.046	5.923	28.047
Scenedesmus oblicuus	0.011	0.752	0.050	0.271	1.073
Botryococcus braunii	0.093	19.675	5.450	6.150	31.275
Chlorella sorokiniana	0.326	3.280	0.063	1.522	4.865
Bloom	1.729	31.879	0.060	7.444	39.383
Chlorella vulgaris	0.271	6.912	2.204	2.795	11.911

Figura 3. Concentración inicial y final en los fotobioreactores, estudio del cosechado de cultivos de microalgas (Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. & Eaton, A. D. 2010).

La concentración de fosfatos se ha eliminado en casi todos los cultivos con más del 95% de eficiencia, indicándonos que las especies de microalgas han absorbido el fósforo del agua residual para su crecimiento.

En **Universidad de Antofagasta**, Facultad de Recursos del Mar Departamento de Acuicultura existe una investigación titulada **"**Crecimiento y

capacidad de biorremediacion de la *chlorella vulgaris* cultivadas en aguas residuales generadas en la producción de Seriola lalandi". Que tiene como objetivo:Evaluar la eficiencia de remoción de nutrientes de Chlorella vulgaris en condiciones indoor y outdoor.

A escala de laboratorio se evaluó el crecimiento y la eficiencia de remoción de nutrientes disueltos en el efluente producido por la psicultura de Seriola lalandi en la Facultad de Recursos del Mar por la microalga Chlorella vulgaris. Para el proceso de investigación se evaluaron condiciones experimentales indoor y outdoor en un tiempo de 8 días, con un efluente filtrado, desinfectado e inoculado con una concentración inicial de 2.06·106±4.16·103 cel/mL de Chlorella vulgaris cultivada en estanques de 50 litros de capacidad. El diseño experimental para evaluar el crecimiento y la remoción de nutrientes se realizó con 6 estanques para cada condición experimental (indoor y outdoor), de estos 6 estanques 3 fueron para un control de crecimiento, cultivando en estos, Chlorella vulgaris en agua de mar filtrada, desinfectada y enriquecida con F2, mientras que los 3 estanques restantes se cultivó *Chlorella vulgaris* en efluente filtrado y desinfectado en donde se evaluó el crecimiento y la remoción de nutrientes por parte de *Chlorella vulgaris*. Como resultado dio que los máximos crecimientos alcanzados por *chlorella vulgaris* son directamente proporcionales a la máxima remoción de nutrientes.

México, el centro interdisciplinario de ciencias marinas **Cicimar** realizo una investigación titulada "**evaluación de un sistema de microalgas y bacterias para la eliminación de nutrientes de las aguas residuales domesticas".** Tiene como objetivo: Comparar la eficiencia en la eliminación de N y P entre *Chlorella vulgaris* y *Chlorella sorokiniana*, inmovilizadas y co-inmovilizadas en esferas de alginato en ARD. Determinar el tiempo de degradación y el efecto de las ARD en las esferas de alginato.

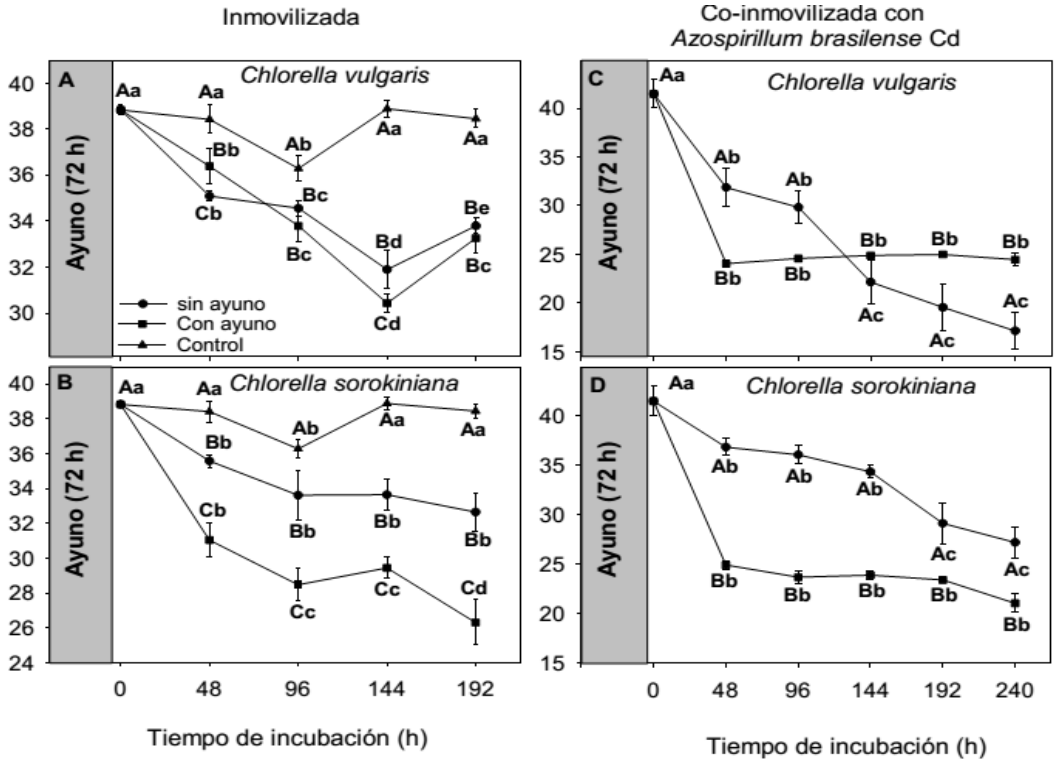


Figura 4. Microalgas y bacterias para la eliminación de nutrientes (Doucha, & Lívanský, 2010).

Tomando como resultado: La eliminación de N y P de las ARD es más eficiente en el co-inmovilizacion de c. sorokiniana y A. brasilense, comparado con el co-inmovilizado de C. vulgaris y A. brasilense. Los sistemas co-inmovilizados, con ayuno, eliminan en menor tiempo el fósforo del agua residual sintética y son más eficientes.

Argentina, la Universidad Nacional de Cuyo (UNCUYO) realizo una investigación titulada **"Cultivo de consorcio microalgal autóctono y biorremediación de efluentes urbanos"**

En el presente trabajo se muestran los resultados experimentales obtenidos del cultivo del consorcio microalgal(*Chlorella sp y Scenedesmus sp*.) empleando efluentes urbanos pretratados de la planta de tratamiento cloacal-la viñita II, provincia de Catamarca, argentina. Los objetivos se orientan a caracterizar el consorcio de microalgas autóctonas en cuanto a la relación de la producción de biomasa y lípidos en condiciones controladas de cultivo, efluentes urbanos provenientes de la planta de tratamiento de liquidos cloacales – la viñita II y analizar la eficiencia del proceso biorremediador realizado por la microalgas, considerando la eficiencia de los tratamientos, en relación a los parámetros que corresponden a días de cultivo, estado de consorcio y propiedades físicas-químicas de sobrenadante. Se emplearon tres variables (% de inoculo. % de medio nutricional e inyección de CO_2) el ensayo se realizó en 12 días de cultivo *indoor*ll como se muestra en la figura 5.

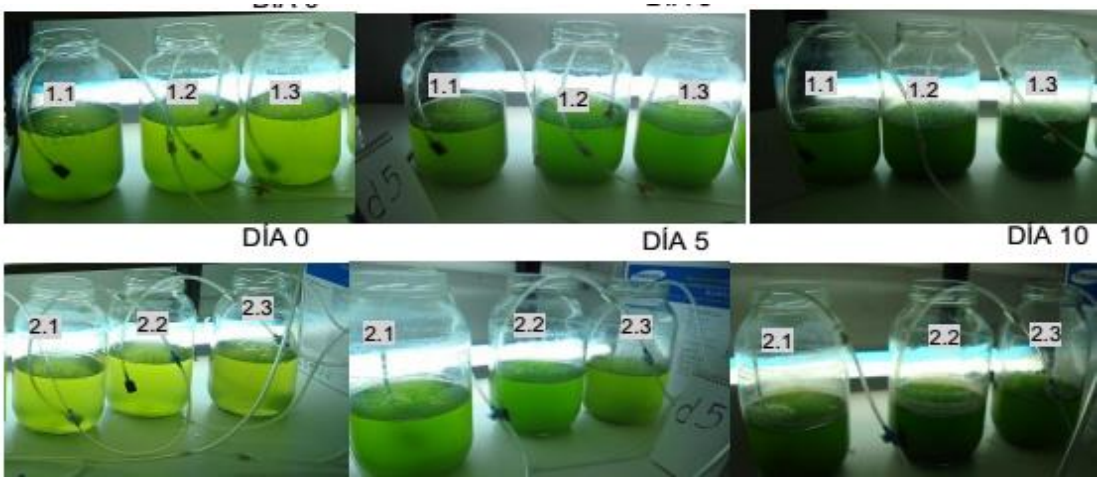


Figura 5. Biorremediacion de efluentes urbanos (Lau, P.S., Tam, N.F.Y., & Wong, Y.S. 2010)

Venezuela, la Universidad del Zulia realizo una investigación titulada "**tratamiento terciario de aguas residuales mediante el uso de la microalga *Scenedesmus* sp., en cultivo discontinuo".** Tiene como objetivo: evaluar el crecimiento de remoción de nutrientes y materia orgánica de la microalga Scenedesmus sp., en aguas residuales de lagunas de estabilización, lagunas piscícolas, industrias camaroneras derivadas de restos de pescadería, harina de pescado y fertipollo comercial. Se utilizaron cultivos discontinuos a nivel de laboratorio de 1,5 y 10 l, con aireación constante, iluminación artificial, fotoperiodo 12:12h y 28±2ºC; y cultivos en tanques a cielo abierto con 150 L, aireación constante y en condiciones no controladas de fotoperiodo y temperatura. La microalga creció satisfactoriamente a nivel de laboratorio en todos los residuales evaluados mientras que, a cielo abierto registro resultados satisfactorios con residual de pescado. Las eficiencias máximas de remoción de nitrógeno estuvieron entre 80 y 100% con una máxima cantidad removida de 136,08 mg.l-1; para ortofosfatos estuvieron entre 30 a 98% con un máximo removido de 82,77 mg.l-1; y para materia orgánica estuvo entre 30 y 97%; con un máximo removido de 1956 mg.l-1 como se muestra en la Figura 6.

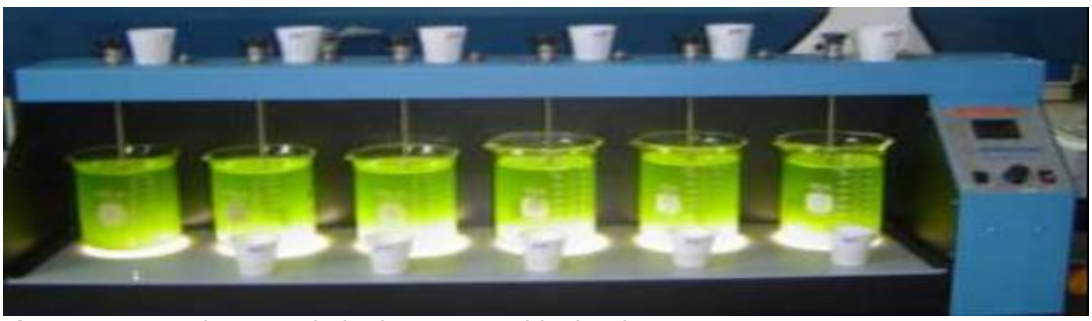


Figura 6. Tratamiento terciario de aguas residuales (Liu, J., Huang, Y., & Chen, F. 2012)

Colombia, la Universidad Autónoma de Occidente (UAO), realizo una investigación titulada **"evaluación de las aguas residuales domésticas de la universidad autónoma de occidente como medio de cultivo natural para la microalga nativa *chlorella* sp., y simultaneamente su capacidad para remover nitrato y DQO de dichas aguas"**

El presente proyecto evaluó el crecimiento de la microalga nativa *Chlorella sp.,* en fotobioreactores agitados por burbujeo a una temperatura de 25 °C, en los que se introdujo un volumen de 350 mL de agua residual doméstica proveniente de la Universidad Autónoma de Occidente. Se realizaron dos tratamientos a dicha agua: autoclavarla y filtrarla y solamente autoclavarla, tomando como patrón de comparación el crecimiento en dos medios sintéticos formulados para dicha cepa bajo las mismas condiciones. Estos medios fueron el Medio Basal de Bold (BBM) y el Medio Sorokin & Krauss (S&K).Dichos experimentos fueron llevados a cabo por triplicado.. Finalmente para evaluar si el carbono fue un factor limitante en el ensayo con los medios sintéticos se realizó el cultivo de la microalga en el BBM enriquecido con dos concentraciones de carbonato de sodio y glucosa (0,1 y 0,5 g/L), por duplicado, teniendo adicionalmente un cultivo con el BBM utilizado como patrón como se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Microalga para remover Nitrato y DQO, (Montaigne, F., Essick, P., 2012).

2.2 Marco Normativo

2.2.1. Marco legal de aguas residuales domesticas en el Perú y roles de las Entidades competentes

En el Perú, el sector saneamiento, pertenece al sector público. La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, SUNASS, es la encargada de regular, supervisar y fiscalizar el mercado de servicios de agua potable. El estado promueve la participación del sector privado mediante procesos de concesión a nivel nacional, enmarcado en la Ley General de Servicios de Saneamiento, Ley N° 26338 y su Reglamento. En la imagen 1 muestra el resumen del marco legal en el Perú, para el sector saneamiento (Brennan, L., & Owende, P. 2010)

Constitución Política del Perú	31/10/1993	Base del ordenamiento jurídico nacional.
Ley de Reforma sobre Descentralización	Ley N° 27680	Las municipalidades promueven, apoyan y reglamentan la participación vecinal en el desarrollo local.
Ley General de Salud	Ley N° 26842	El abastecimiento del agua, alcantarillado, disposición de excretas, reuso de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones que dicta la Autoridad de Salud competente, la que vigilara su cumplimiento.
Ley General del Ambiente	Ley N° 28611	El estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de reutilización considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria de reuso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizan.
Aprueban los ECA para Agua	Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM	Aprueban estándares de calidad ambiental para agua publicado en el Diario El Peruano el 31 de Junio de 2008.
Aprueban disposiciones para la implementación de los ECAs para Agua	Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM	Aprueban disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua. A partir del 01 de Abril del 2010.
Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR Domésticas o Municipales	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM	Cumplimiento de los límites máximos permisibles de PTAR. (Ver cuadro 4)
Ley Marco para la Inversión Privada	D.L. N° 757	Garantiza la libre iniciativa y las inversiones privadas en todos los sectores de la actividad económica y en cualquiera de las formas empresariales o contractuales permitidas por la Constitución y las Leyes.
Ley Orgánica de Gobiernos Regionales	Ley N° 27902	Regula la participación de los Alcaldes Provinciales y la Sociedad Civil en los Gobiernos Regionales y fortalecer el proceso de Descentralización y Regionalización
Ley de Creación, Organización y Funciones del MINAM	D.L. N° 1013	Crea el Ministerio del Ambiente y establece su ámbito sectorial, y regula la estructura orgánica, competencias y funciones del mismo.
Ley Orgánica de Municipalidades	Ley N° 27972	Establece normas sobre la creación, origen, naturaleza, autonomía, organización, finalidad, tipos, competencias, clasificación y régimen económico de las municipalidades.
Ley del Procedimiento Administrativo General	Ley N° 27444	Regula las actuaciones de la función administrativa del Estado y el procedimiento administrativo común desarrollados en las entidades.
Ley de Recursos Hídricos	Ley N° 29338 (2009)	Regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta.

Imagen 1. Marco legal de aguas residuales domesticas en el Perú. (Brennan, L., & Owende, P. 2010)

2.2.2. Valores máximos admisibles

Es el valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales. Buscan establecer límites para evitar los daños inmediatos o progresivos que se generan al exceder la concentración establecida en los anexos 1 Y 2 de la norma como se observa en la imagen 2 y 3.

Anexo 1

Parámetro	Unidad	Expresión	VMA para descargar al sistema de alcantarillado
Demanda bioquímica de oxigeno (DBO_5)	Mg/L	DBO_5	500
Demanda química de oxígeno (DQO)	Mg/L	DQO	1000
Sólidos suspendidos totales	Mg/L	S.S.T	500
Aceites y grasas	Mg/L	A y G	100

Imagen 2. Anexo 1 de los Valores máximos admisibles. (Mugg J.,& Rice M.2010).

Anexo 2. Valores máximos admisibles (1)

Parámetro	Unidad	Expresión	VMA para descargar al sistema de alcantarillado
Aluminio	Mg/L	Al	10
Arsénico	Mg/L	As	0.5
Boro	Mg/L	B	4
Cadmio	Mg/L	Cd	0.2
Cianuro	Mg/L	CN	1
Cobre	Mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	Mg/L	Cr^{+6}	0.5
Cromo total	Mg/L	Cr	10
Manganeso	Mg/L	Mn	4
Mercurio	Mg/L	Hg	0.02
Niquel	Mg/L	Ni	4
Plomo	Mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	Mg/L	SO_4^{-2}	500
Sulfuros	Mg/L	S^{-2}	5
Zinc	Mg/L	Zn	10
Nitrógeno amoniacal	Mg/L	NH^{+4}	80
PH (2)	Unidad	Ph	6-9
Sólidos sedimentables (2)	Ml/L/h	S.S	8.5

Imagen 3. Anexo 2 de los Valores máximos admisibles. VMA 2015

2.3 Marco Teórico

2.3.1. Aguas Residuales

Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado (Castillo, V. H. 2014).

En general, se consideran aguas residuales domésticas los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales.

Se denominan aguas residuales municipales los residuos líquidos transportado por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal, y se llaman aguas residuales industriales las aguas residuales provenientes de las descargas e industrias de manufactura (Castillo, V. H. 2014).

2.3.1.1 Características de las aguas residuales

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia, y por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales son diseñadas para su remoción. (Chacón C. Andrade & C. Cardenas C. 2012). Toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un

Análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud de los resultados, en general, un programa de muestreo para caracterización y control de calidad de aguas supone un análisis cuidadoso del tipo de muestras, numero de ellas y parámetros que se deben analizar (Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., & Hassell, D. G. 2011).

La cantidad y concentración de las aguas residuales es función de su origen y de sus componentes, por lo que las cargas equivalentes o contribuciones per cápita por día varían de una ciudad a otra y de un país a otro.

2.3.1.2. Principales constituyentes de interés en el tratamiento de aguas Residuales

CONSTITUYENTES	RAZONES DE INTERES
Sólidos suspendidos totales	Formación de depósitos de lodos y condiciones anaerobias
Compuestos orgánicos biodegradables	Agotamiento del oxigeno en fuentes naturales y desarrollo de condiciones sépticas
Constituyentes inorgánicas disueltas	Constituyentes inorgánicos adicionales por el uso. Aplicaciones en el reciclaje y en la reutilización de aguas residuales.
Metales pesados	Constituyentes metálicos adicionados por el uso. Muchos metales se clasifican como polutantes de prioridad.
Nutrientes	Crecimiento excesivo de la vida acuática indeseable, eutrofización, concentración de nitratos en agua para consumo.
Patógenos	Transmisión de enfermedades.
Polutantes orgánicos prioritarios	Sospechosos de ser carcinogénicos, mutagénicos, teratogénicos o de toxicidad aguda alta. Muchos polutantes prioritarios son resistentes a los métodos de tratamiento convencionales (conocidos como compuestos orgánicos refractarios)

Imagen 4. Constituyentes en el tratamiento de aguas residuales, (Singh, N.K., & Patel, D.B. 2012).

2.3.1.3. Características Físicas del Agua Residual

Olguin, E.J. (2013) afirma que las principales características de un agua residual, son su contenido de sólidos, distribución de partículas por tamaño, turbiedad, color, ansmitancia /absorbancia, Olor, temperatura, densidad y conductividad

- **Temperatura.** Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua; afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y la actividad bacterial. La tasa de

  Sedimentación de sólidos en aguas cálidas es mejor que en aguas frías, por el cambio en la viscosidad del agua, los tiempos de retención para tratamiento biológico disminuyen a mayor temperatura y los parámetros de diseño son función de ella.

- **Sólidos.** El contenido de sólidos de un agua residual afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento o disposición**.** El agua residual contiene una variedad de materiales sólidos

  Que varían desde hilachas hasta materias coloidales, en la caracterización de las aguas residuales, los materiales gruesos son removidos generalmente antes de analizar sólidos en la muestra. La caracterización de los diferentes tipos de solidos es la siguiente: sólidos totales (ST)**,** sólidos volátiles totales (SVT), sólidos fijos totales (SFT), sólidos suspendidos totales o no disueltos (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos suspendidos fijos (SSF), sólidos disueltos totales

(SDT),sólidos disueltos volátiles (SDV), sólidos disueltos fijos (SDF) y solidos sedimentables.

- **Conductividad.** Esta medida indica la facilidad con la que la corriente eléctrica pasa a través del agua residual. Puesto que el agua es muy mala conductora de la corriente eléctrica, las conductividades elevadas indican la presencia de impurezas y más concretamente de sales disueltas. En la actualidad es el parámetro más importante para determinar la posibilidad de uso de agua para riego y es expresada en micromhos por centímetro (µmho/cm) en unidades del sistema inglés y como mili siemens por metro (mS/m) en unidades del SI.

2.3.1.4. Características Químicas Inorgánicas

Los inorgánicos incluyen elementos individuales como calcio (Ca), cloruro (Cl), hierro (Fe), cromo (Cr) y zinc (Zn) y 2) una amplia variedad de compuestos como nitratos (NO3) y sulfatos (SO4); los constituyentes químicos inorgánicos de interés comprenden nutrientes, constituyentes no metálicos, metales y gases (Rawat, I., Ranjith Kumar, R., Mutanda, T., & Bux, F. 2011).

- **Ph**. Es la medida de la concentración de ion hidrógeno en el agua. Aguas residuales en concentraciones adversas del ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos. Aguas con pH menor de seis, en tratamiento biológico, favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias, a pH alto la forma predominante del nitrógeno amoniacal es la forma gaseosa no iónica (NH3), la cual es tóxica. Para

descarga en efluentes de tratamiento secundario se estipula un pH de 6,0 a 9,0; para procesos biológicos de nitrificación se recomiendan valores de pH de 7,2 a 9,0 y para desnitrificación de 6,5 a 7,521.

- **Nitrógeno**. esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Las formas de interés en aguas residuales son las de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos. Los datos del nitrógeno son necesarios para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales por tratamientos biológicos; un agua residual con contenido insuficiente de nitrógeno puede requerir la adición de nitrógeno para su adecuada biodescomposición. En otros casos, cuando se exige control de eutrofización de las fuentes receptoras, la remoción de nitrógeno, en el agua residual, puede ser una condición del tratamiento
- **Fósforo.** Tanto el fósforo como el nitrógeno, son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas. Debido a los crecimientos indeseables de algas que ocurren en aguas superficiales, existe marcado interés en removerlos de las aguas residuales las formas más frecuentes en que se puede encontrar el fosforo en soluciones acuosas incluyen ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico.

2.3.1.5. Características Químicas Orgánicas

Los constituyentes orgánicos de mayor interés en las aguas residuales se clasifican como agregados individuales, los constituyentes orgánicos agregados comprenden un número de compuestos que no pueden ser distintos en forma separada (DBO, DQO, grasas y aceites, COT y tenso activos), de gran interés en el tratamiento, vertimiento y reutilización de

aguas residuales al igual que los constituyentes orgánicos específicos (Travieso. L., Benitez. F., Dupeyrón. R. 2011)

- **Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO**). Es la cantidad de oxigeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias, la DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxigeno requerido, para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas Orgánicas permisibles en fuentes receptoras, el tiempo de incubación de la DBO generalmente es de 5 días.
- **Demanda Química de Oxigeno (DQO).** Se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura, la DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales Toxicas a la vida biológica, y es una prueba rápida que la DBO.

2.3.1.6. Características biológicas del agua residual

Valderrama (2013) determina las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano y por el papel activo fundamental de las bacterias y microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, bien sea en el medio natural o en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

- **Tratamiento primario.** El tratamiento primario es un simple tratamiento físico, una separación de los elementos sólidos que contiene el agua, las aguas residuales que entran en una planta de tratamiento contienen materiales que podrían atascar podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales**.**
- **Tratamiento secundario.** Una vez eliminados de un 40 a un 60% de los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la DBO5 por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto.

  El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos, en presencia de oxigeno las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en forma estables, como dióxido, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos.

  La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor.
- **Tratamiento biológico.** Los tratamientos biológicos son preferidos siempre que sea posible, ya que tienen mayores rendimientos con menores costos económicos de explotación y mantenimiento, y destruyen completamente

los contaminantes, transformándolos en sustancias inocuas como el dióxido de carbono, el metano, el nitrógeno molecular, y el agua.

El tratamiento biológico convencional de aguas residuales está dirigido habitualmente a la eliminación, estabilización o transformación de la materia orgánica presente en las aguas, esto se logra mediante la actuación de microorganismos, bien realizando una acción metabólica transformando la materia orgánica en materia viva, o bien realizando una acción físico-química de coagulación, decantación y arrastre de bacterias. Sin embargo, en algunos casos, se requiere que la concentración de nitrógeno y fósforo en el efluente de la planta de tratamiento sea baja para proteger los ecosistemas acuáticos.

2.3.2. Ficorremediación

Carey, R. O., & Migliaccio, K. W. (2013) afirman que según estudios anteriores la ficorremediación es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de microalgas (fundamentalmente algas) se trata de un grupo representado por varias especies, todas ellas bastante comunes en el plancton de las aguas dulces. Muchas de ellas son extremadamente variables ya sea por su tamaño u otros por lo que su identificación suele ser, un poco complicada.

La descontaminación se produce debido a la capacidad natural que tienen ciertas microalgas de transformar nutrientes orgánicas de las aguas residuales.

El hombre ha aprendido a aprovechar estos procesos metabólicos de las microalgas ya que de esta forma, pueden degradar compuestos tóxicos

para el ambiente y convertirlos en compuestos inocuos o menos tóxicos, se aprovechan en el proceso de Ficorremediación.

La gran diversidad de microorganismos existente ofrece muchos recursos para limpiar el medio ambiente y, en la actualidad, esta área está siendo objeto de intensa investigación.

2.3.3. Microalgas

Olguin (2010) determina que las microalgas son un conjunto heterogéneo de plantas unicelulares muy primitivas, las cuales logran asimilar el CO2 del ambiente mediante un proceso fotosintético superior al de las plantas terrestres, esto debido a que crecen en suspensión acuosa y en ella poseen más acceso a nutrientes, rayos solares y a un amplio rango de temperaturas, lo que favorece la producción de O_2 sumado a la acumulación de líquidos de alta densidad como forma de energía (aceites). Al igual que las macroalgas, las microalgas se localizan y crecen en ambientes diversos tales como aguas dulces, marinas, salubres o residuales.

2.3.2.1 Parámetros que influyen en el crecimiento de las algas

Como todo organismo vivo, las condiciones físicas tienen gran influencia en el crecimiento de las microalgas. Cada especie tiene un particular intervalo de temperatura, intensidad de luz, salinidad, pH, nutrientes, dióxido de carbono y oxígeno para la producción de un máximo crecimiento (Pathak, H., Joshi, H. C., Chaudhary, A., Chaudhary, R., Kalra, N., & Dwiwedi,M.K. 2010).

A. 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, este comportamiento se ve generalizado en la Figura 8 en donde se puede observar que a intensidades de luz baja se obtiene bajas tasas de crecimiento, mientras que este se acelera con el aumento de la luz pudiendo llegar a la saturación, alcanzando así la tasa de crecimiento máxima (ls); si se incrementa la intensidad de la luz por encima de este punto (l h) provocará una disminución en la tasa de crecimiento, ocasionando la muerte celular debido a la fotoinhibición. Aunque se han encontrado diversos estudios que sostienen que a altas intensidades de luz la producción de polisacáridos en las células tiende a aumentar .

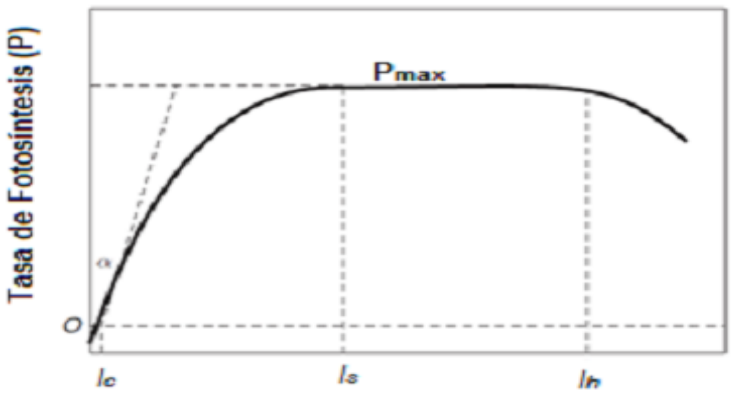


Figura 8. Crecimiento y productividad de microalgas, (García, J., Mujeriego, R., Hernadez-Martinez, M. 2012).

B. Agitación

La agitación asegura la distribución de los gases y de la luz, además esta facilita el transporte de las células, evita la sedimentación y la adherencia de las microalgas en la base o paredes del reactor, así como ayuda a homogenizar el pH. Sin embargo existen especies que no toleran una agitación fuerte debido a que son sensibles al estrés hidrodinámico.

C. Temperatura

La productividad de las algas se acelera cuando la temperatura del medio en el que se encuentran aumenta, aunque lo recomendable seria llegar a una temperatura óptima, ya que por encima de esta, la producción celular disminuye debido al incremento de la respiración y fotorespiración de las algas.

El rango de temperaturas en el que las microalgas puede n desarrollarse es muy amplio, además difiere entre las distintas especies, *scenedesmus* por ejemplo puede crecer en un rango de 5 y 42°. 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

2.3.2.2. Fuente de nutrientes de las microalgas

Satyawali, Y., Balakrishnan, M. (2010) afirman que las microalgas son alimentadas por diferentes nutrientes en diferentes ambientes como:

En agua dulce que puede encontrar sílice, hierro y magnesio. En el agua marina las algas se alimentan de nutrientes como el sulfato, cloruro, calcio, magnesio, potasio y otros nutrientes.

Los nutrientes de las aguas residuales alimentan las algas con diferentes nutrientes que se encuentran en esta como el nitrógeno, fosforo, amoniaco, azufre, hierro, toxinas y todos los metales (productos químicos) para la producción de biomasa de microalgas.

Como resultado de este aprovechamiento de nutrientes las microalgas pueden ser utilizadas en diferentes aplicaciones, ver imagen 5.

Fuente de Alimentos	**Proteinas, amino acidos, carbohidratos simples y complejos, acidos grasos, vitaminas, minerales y traza de elementos**
Fertilizantes	**Fertlizantes, condicionador de suelos y fuente de alimentación de ganado**
Energía	**Biodisel, bioetanol, hidrogeno, metano,energía calor y energía electrica**
Control de contaminación	**Tratamiento de aguas residuales, reducción de toxicos quimicos, reducción del porcentaje de dioxido de carbono**

Imagen 5. Nutrientes de las microalgas, (Liu, J., Huang, J., & Chen, F. 2012)

2.3.2.3. Composición química de las algas

Singh, N.K., & Patel, D.B. (2012) determinan que las células de las algas están compuestas de un núcleo, orgánulos, coroplastos y la clorofila, que es el proceso de la fotosíntesis. Iniciallmente las algas (algas preliminares) contienen proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos. Algunas algas tienen un contenido porcentual del 40% de ácidos grasos (aceite), ver imagen 6 y 7.

Célula de las algas	Núcleo, orgánulos, cloroplastos y clorofila
Alga preliminar	Contiene proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos
Biomasa de las algas	Contiene 40% de ácidos grasos y otros

Imagen 6. Composición química de las microalgas, (Singh, N.K., & Patel, D.B. 2012)

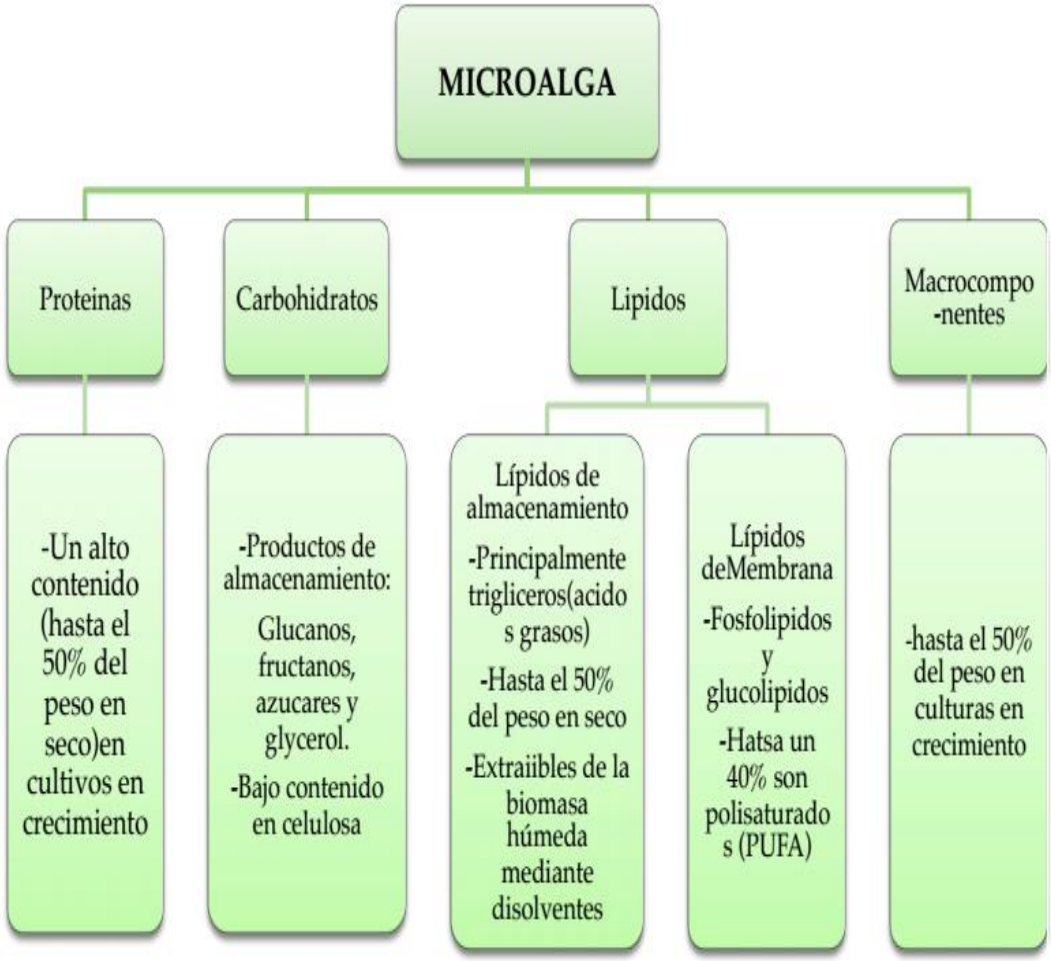


Imagen 7. Compuestos de células de las algas, (Singh, N.K., & Patel, D.B. 2012)

2.3.2.4. Aplicaciones de las algas

Las microalgas tienen una gran variedad de aplicaciones como comida, fertilizantes, fuente de energía, en la industria farmacéutica, nutricional, cosmética, propuestas de acuacultura y control de contaminantes. Rawat, I., Ranjith Kumar, R., Mutanda, T., & Bux, F. (2011)

Por otro lado el aceite producido no solo es adecuado para producir biodiesel. La composición de ácidos grasos también es adecuada para la producción de alimentos funcionales y alimentos para animales, y como materia prima para bioplásticos y la industria bioquímica. La producción de biocombustibles a base de algas tiene una serie de ventajas potenciales:

- Biocombustibles y subproductos que se pueden sintetizar a partir de una gran variedad de algas.
- Las algas tienen una tasa de crecimiento mucho más rápido, en comparación con las plantas.
- Las algas pueden ser cultivadas en aguas costeras salobres, aguas municipales, aguas de origen industrial, agua de origen agrícola y agua de mar.
- Algunas áreas de tierras áridas que no son aptas para la agricultura se pueden utilizar para cultivar algas.
- Las algas pueden tomar hasta altas concentraciones de nitrógeno, silicio, fósforo, y nutrientes de sulfato de flujos de residuos municipales, agrícolas o industriales.

- Algas pueden secuestrar dióxido de carbono (CO_2) de origen industrial

2.3.2.5. Depuración de aguas mediante microalgas

Las aguas residuales presentan elevadas concentraciones de contaminantes, como nitrógeno, fósforo y metales pesados, que deben eliminarse antes de que éstas sean vertidas al Dominio Público Hidráulico, con el fin de evitar problemas que pueden llevar a la degradación de la calidad ambiental de toda una zona. Actualmente, existen procesos eficaces para eliminar estos contaminantes de las aguas residuales, pero estos procesos tecnológicos presentan una serie de inconvenientes derivados de su elevado coste y complejidad de operación, la generación de residuos (lodos) o su alto consumo energético. Para eliminar estas desventajas, diversos investigadores han centrado sus estudios en depurar aguas residuales con algas mediante técnicas de ficorremediación (Olguin, E.J. 2010).

- **Sistemas abiertos**

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

Los sistemas abiertos pueden ser también lagunas o humedales artificiales al aire libre, separados del ambiente natural mediante

adecuadas impermeabilizaciones de suelos y barreras de contención que eviten eventuales desbordes.

Sus principales inconvenientes son las grandes superficies de suelo que necesitan, el rendimiento variable de depuración en función de la estación del año y, en el caso de regiones geográficas muy secas, la enorme pérdida del agua por evapotranspiración, lo que conlleva un riesgo de que los nutrientes lleguen a concentrarse más rápidamente de lo que las plantas puedan metabolizar, dando origen a fenómenos de eutrofización, muerte de las plantas, agotamiento del O_2 y malos olores por la descomposición anaeróbica de la materia orgánica.

Su poca profundidad favorece el crecimiento de las microalgas, debido a la posibilidad de penetración de la luz en todo el volumen de agua. Han sido empleados para tratar efluentes de la digestión anaerobia de purines y de residuos de acuicultura .Una vez completada la absorción de contaminantes por las algas, se vierte el agua ya depurada y limpia. Así mismo, la biomasa generada es filtrada para su posterior aprovechamiento (An, J. Y., Sim, S. J., Lee, J. S. , & Kim, B. W. 2013).



Figura 9. Sistemas abiertos, (Mora R., Ortiz N. & Yngrytd C.,Bermudez J.,Avendaño 2012)

- **Sistemas cerrados**

  Se trata de estructuras cerradas que contienen las plantas en su interior, constituyendo en cierto modo microecosistemas, con mecanismos de regulación más o menos complejos.

  Los sistemas cerrados resultan más costosos, pero su eficiencia depurativa y de producción de biomasa es mayor, porque mantienen las condiciones de vida de las plantas dentro de un rango óptimo para las mismas.

  El fotobiotratamiento es una tecnología de cultivo cerrado para la depuración de aguas residuales mediante microalgas, proceso que además permite operar durante la noche y obtener energía a través de la biomasa algal resultante. Los fotobioreactores son estructuras de material transparente de variadas formas, con o sin fuentes de luz artificial, en las que se inyecta el agua residual a tratar y el aire puro o mezclado con gases de combustión. La metabolización de los nutrientes y del CO2 es realizada por microalgas en suspensión.

  Se caracterizan por alcanzar elevadas eficiencias depurativas con menor ocupación de suelo que los sistemas abiertos, sin perder agua por evapotranspiración, pero con un coste operativo algo mayor puesto que se requieren bombas para hacer circular el agua residual, sopladores para hacer burbujear el aire, y centrífugas o algún otro sistema para separar las microalgas del agua ya depurada (Brennan, L., & Owende, P. 2010).



Figura 10. Sistema cerrado, (Brennan, L., & Owende, P. 2010).

2.3.4. *Scenedesmus sp*.

Mora R., & Ortiz N (2013) afirman que el género *Scenedesmus* está constituido por algas verdes que se alinean en filas cortas de 4, 8 ó 16 células, veces formando una hilera como ésta, otras veces alternando construyendo un diminuto zigzag. Se trata de un grupo representado por más de cien especies, todas ellas bastante comunes en el plancton de las aguas dulces. Muchas de ellas son extremadamente variables por lo que su identificación suele ser, más que complicada, imposible.

Pertenecientes a la división *Chlorophyta*, clase *Chlorophyceae* y orden *Sphaeropleales*, por lo tanto pertenece al grupo de las algas verdes muy comunes en el plancton de agua dulce, dentro del género *Scenedesmus sp*., se encuentran 456 especies, de las cuales 72 han sido aceptadas taxonómicamente. Las microalgas del género *Scenedesmus* se suelen

encontrar de forma individual o formando colonias, en agrupaciones por su lado longitudinal, de 2 a 32 células, aunque normalmente éstas son de 4-8 células. Pueden presentar una matriz mucilaginosa que las rodea. Las células suelen ser de 3-78 x 2-10 µm, con formas que van desde casi esféricas a elipsoidales alargadas o fusiformes. Su pared celular tiene una capa hemicelulósica, que en algunas especies contiene compuestos esporopoleninos.

Scenedesmus puede existir como organismos unicelulares; también se encuentran frecuentemente en cenobios de cuatro u ocho células dentro de una pared de la madre de los padres. Arquitecturas diversas coenobial se han descrito, incluyendo lineal, costulatoid, irregular, alterna, o patrones dactylococcoid (Figura 11). La formación de cenobios depende de una serie de factores, una mayor proporción de organismos unicelulares se encontró a altas intensidades de luz y las altas temperaturas, lo que sugiere que en tasas de crecimiento más altas los organismos prefieren ser no colonizados, exitoso crecimiento y división de las algas se basa en un equilibrio entre el mantenimiento de la flotabilidad en la zona eufótica (que contiene la luz ideal y las condiciones nutricionales) y la evitación de depredadores de pastoreo colonias más grandes tienen una menor proporción de superficie a volumen, lo que limita la absorción de nutrientes y la recolección de luz, y la gran masa promueve que se hunde. Sin embargo, en presencia de herbívoros, tales como Daphnia, que amenazan con consumir algas unicelulares, las colonias más grandes proporcionan la seguridad significativo, esta amenaza puede ser tan significativa que las

células unirse en estas colonias 8 de células incluso en limitando severamente las condiciones de crecimiento con el fin de reducir la vulnerabilidad de pastoreo o mientras que en condiciones de nutrientes de agotar (Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. & Eaton, A. D 2010).

Scenedesmus sp., resiste muy bien la contaminación y por este motivo se emplea en algunas plantas depuradoras, si se desarrolla masivamente puede proporcionar el oxígeno que necesitan las bacterias descomponedoras que viven en el agua y así acelerar el proceso de depuración.

Scenedesmus sp., crece en aguas dulces ricas en nutrientes y resiste muy bien la contaminación, por lo que es común encontrarla en plantas de aguas residuales donde se desarrolla y provee oxígeno a las bacterias aerobias acelerando el primer proceso de depuración.

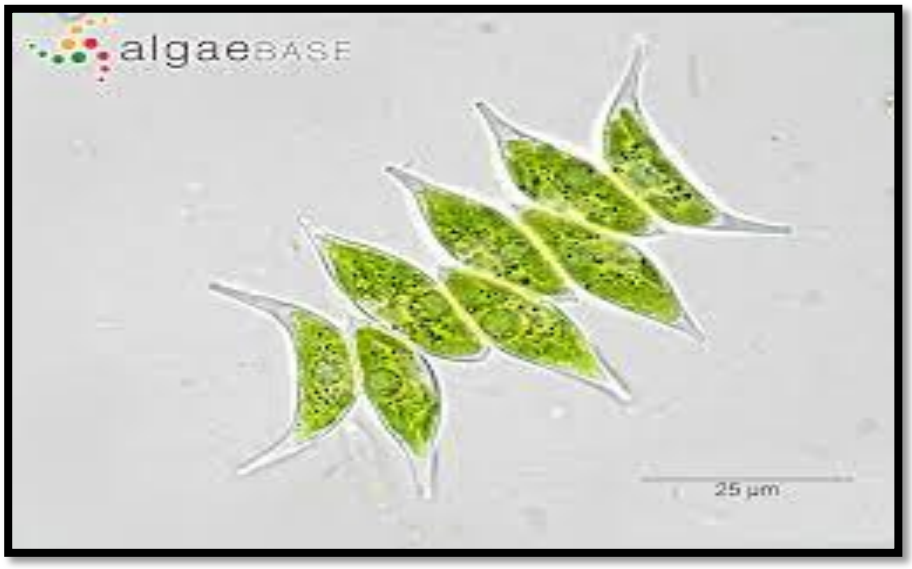


Figura 11. *Scenedesmus sp*. (Mora R., & Ortiz N 2013)

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. Descripción del área de estudio

La Universidad Nacional de Ucayali Políticamente está ubicado en el km.6, 500 de la carretera Federico Basadre, Distrito de Callería, Provincia de Coronel Portillo y Departamento de Ucayali.

Geográficamente a 8º22'0" de Latitud Sur y 74°53'00" de Longitud Oeste y a una altitud de 154 m.s.n.m., y ecológicamente ubicado en la zona de vida de Bosque Húmedo Pre Montado Tropical.

Las muestras del agua residual se sacaron de las instalaciones de la cámara de dicha institución como se muestra en la imagen 8.





Imagen 8. Ubicación geográfica del área de estudio

3.2. Lugar del trabajo de investigación

El desarrollo del estudio de investigación se realizó en las instalaciones del "Laboratorio de cultivo de alimento vivo del centro de investigaciones DALE E. BANDY del instituto de investigación de la Amazonia Peruana – IIAP Ucayali" ubicado en la Carretera Federico Basadre km. 12.400 margen derecho.

Geográficamente está ubicada en las coordenadas geográficas en 08°24 0.4" de latitud sur 74° 34 39.8" longitud oeste, a 154 m.s.n.m., como se muestra en la imagen 9.



Imagen 9. Lugar de desarrollo de la investigación

3.3. Método de investigación

El método empleado para el desarrollo de la investigación fue cuantitativa y experimental:

a) **Cuantitativa.-** se basó en los números para investigar, analizar y comprobar información y datos, para especificar y delimitar la asociación o correlación, además de la fuerza de las variables, la generalización y objetivación de cada uno de los resultados obtenidos para deducir una población.

b) **Experimental.-** Se manipulo la variable independiente (agua residual) y medir la variable dependiente (dosis de la microalga *Scenedesmus* sp.,)

3.4. Población y Muestra

3.4.1. Población

Conformado por las aguas residuales de la cámara de bombeo con dimensiones de 10 m de largo y 25 m^3 de diámetro ubicada en la Universidad Nacional de Ucayali, como se observa en la imagen 10.



Imagen 10. Población de *Scenedesmus sp*

3.4.2. Muestra

Conformado por 500 litros de aguas residuales extraídas de la cámara de bombeo de la Universidad Nacional de Ucayali, para sus respectivas dosificaciones con la microalga *Scenedesmus* sp..



Imagen 11. Tratamientos con sus repeticiones

3.5. Componentes Estudiados

3.5.1. Independiente (X)

Microalga (***Scenedesmus sp.)***

3.5.2. Dependiente (Y)

Ficorremediación del agua residual tratada de la Universidad Nacional de Ucayali:

A. Parámetros Físicos

- Temperatura
- Color

B. Parámetros Químicos

- pH
- Nitratos
- Fosforo total
- Demanda bioquímica de Oxigeno (DBO).
- Demanda química de Oxigeno (DQO)

C. Parámetro Microbiológico

- Coliformes termotolerantes

3.6. Análisis Estadístico

El diseño estadístico utilizado en la investigación fue diseño completamente al azar (DCA), con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Para determinar la significancia se aplicara la prueba de promedio de Anova y Tukey (prueba de promedios) con 0.05 de grado de libertad).

Modelo matemático

Dónde:

$Y = \mu + \pi + \varepsilon$

i = 1,….., t

t = número de tratamiento

j = 1,… n

n = número de repeticiones por tratamiento

3.6.1 Esquema del Diseño completamente al azar (DCA)

Tabla 1. Esquema del diseño completamente al azar (DZA)

	1	2	3	4	T	TOTAL
OBSERVACIONES (J)	$S1_1$	$X1_1$	$Y2_1$	$Z3_{,1}$	4	
	$S1_{,2}$	$X1_{,2}$	$Y2_2$	$Z3_{,2}$	4	
	$S1_3$	$X1_3$	$Y2_3$	$Z3_{,3}$	4	
TOTAL	S_{1n}	Y_{2n}	Y_{3n}		Y_t	Y..
NUMERO DE OBSERVACIONES (NJ)	n	n	n			
MEDIA	Y	Y	Y		Y	Y..

Fuente: (Satyawali, Y., Balakrishnan, M. 2010)

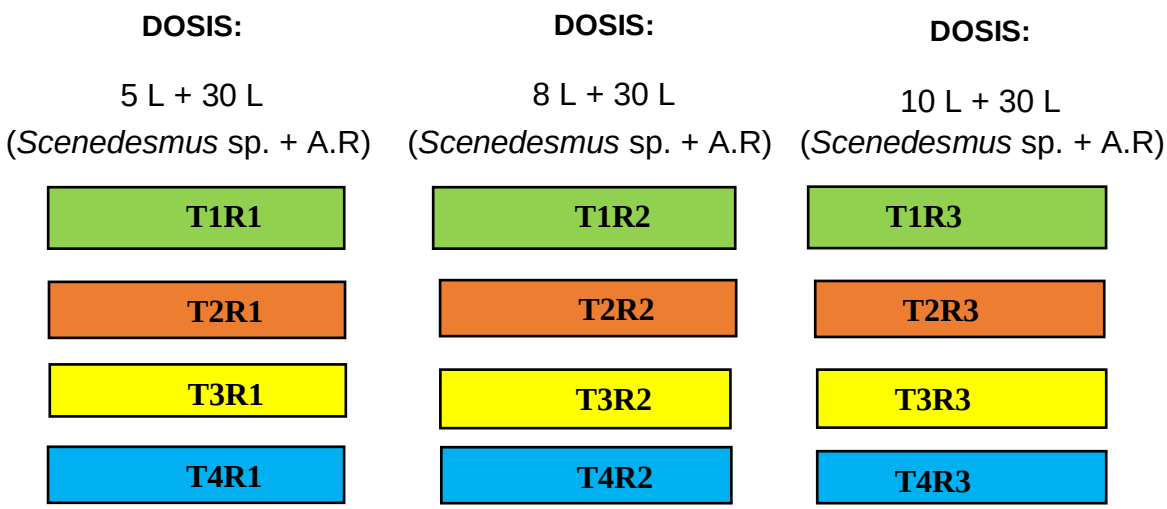


Figura 12. Dosificación de los tratamientos en el agua residual

A.R Agua Residual
T1R1: Tratamiento control 1 repetición 1
T1R2: Tratamiento control 1 repetición 2
T1R3: Tratamiento control 1 repetición 3
T2R1: Tratamiento 2 repetición 1
T2R2: Tratamiento 2 repetición 2
T2R3: Tratamiento 2 repetición 3
T3R1: Tratamiento 3 repetición 1
T3R2: Tratamiento 3 repetición 2
T3R3: Tratamiento 3 repetición 3
T4R1: Tratamiento 4 repetición 1
T4R2: Tratamiento 4 repetición 2
T4R3: Tratamiento 4 repetición 3

3.7. Instrumentos de Recolección de Datos

3.7.1. Material biológico y orgánico (Microalga)

Cultivo de ***scenedesmus*** **sp.,** posterior a la dosificación

3.7.2. Equipos de laboratorio

- Microscopio.
- pH métrico.
- Bomba de aire de 2 salidas.
- Sistema de Blogger.
- Cámara de Neubauer.

- Centrífuga.
- Estufa.
- Espectrofotómetro.
- Oximetro
- Colorímetro

3.7.4. Materiales y equipos de gabinete

- Laptop
- Cámara fotográfica.
- Materiales de Escritorio (Papel Bond, USB, etc.)
- Software de base de datos y procesamiento de texto (Word, MS, Excel, etc.).

3.7.3. Materiales de escritorio

- Cuaderno de apuntes y lapicero.
- Guantes quirúrgicos.
- Cámara fotográfica.
- Etiquetas plastificadas.
- Tijera.
- Cinta de embalaje.
- Pizarra acrílica.
- Plumones acrílicos.

3.8. Procedimiento de Recolección de Datos

3.8. 1. Obtención de la cepa *Scenedesmus* sp.

Se seleccionó la microalga de agua dulce *Scenedesmus sp*., procedente del banco de cepas del IIAP-UCAYALI debidamente identificada para la realización del cultivo de la presente investigación.

3.8. 2. Preparación y masificación del Inóculo

Se realizó en las instalaciones del laboratorio de cultivo de alimento vivo del centro de investigaciones Dale E Bandy del instituto de investigación de la Amazonia Peruana – IIAP-Ucayali, la cual se tuvo en cuenta que fuese un lugar cerrado, se mantuvieron con aireación constante, iluminación las 24 horas del día y temperatura de 28 ºC, lo cual se agito cada matraz manualmente por lo menos 3 veces al día como se muestra en el Anexo 2.

Para iniciar los bioensayos del inóculo se preparó partiendo de pequeños volúmenes de cultivo microalgal, primero se realizó el sembrado de cepa diluida en matraces de Erlenmeyer de capacidad de 50 ml, luego cada siete días se procedió progresivamente al desdoble o elevar el cultivo en matraces de mayor capacidad, ya sea de 100 ml, 250 ml, 500 ml, 1l, etc., agregando 100 ml inoculo con 100 ml de medio nutritivo, este procedimiento se realizó hasta obtener inóculos en baldes de 20 L, según el avance de su densidad celular, utilizando medio de cultivo comercial (Bayfolan, Panter y HM).

3.8. 3. Producción masiva de microalgas

Se manejó las proporciones de agua e inóculo (*Scenedesmus sp.)* para su posterior y continuo desdoble y crecimiento.

3.8. 3.1. Condiciones Físicas

La aireación se realizó a través de unas bombas de aire y sistema de aireación masiva (Blogger) y fue constante durante las 24 horas del día.

La agitación es un factor que se observó de forma positiva en la microalga a nivel de crecimiento, ya que este sistema ayudo a controlar la turbulencia de una forma eficaz y poco costosa, el problema es que no existen aún valores adecuados de agitación en la literatura para *Scenedesmus sp.,* de este estudio. Sobre todo, por el riesgo de presentarse una ruptura en la pared celular de la microalga con la adición de altas revoluciones, por lo tanto, se estimó a realizar en los cultivos una agitación por aireación como se muestra en el Anexo 3.

El sistema de iluminación se realizó de forma natural (rayos del sol durante el día) y artificial (fluorescentes durante la noche), obteniendo un fotoperiodo de 24 horas ya que esta microalga realiza la fotosíntesis para obtener la energía que les permita multiplicarse.

La intensidad de luz fue muy importante para el crecimiento de las microalga, una luz de baja o media intensidad puede dar lugar a tasas de crecimiento menores que una de alta intensidad.

3.8. 3. 2. Condiciones Químicas

Los nutrientes que necesitó la microalga para poder tener un buen crecimiento, ha dependido de una preparación adecuada del medio de cultivo. En el estudio se ha utilizado diferentes medios de cultivo para que la microalga desarrolle su óptimo crecimiento, a continuación se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Condiciones químicas

MEDIOS DE CULTIVO	CONCENTRACIONES
HEUSSLERMERINO (HM)	0.1 ml/L
BAYFOLAN	0.2 ml/L
PANTER-A	0.3 ml/L

Fuente: Elaboración propia

3.8. 3. 2.1. Preparación del medio de cultivo Heusslermerino y (HM)

Se ha utilizado Urea como fuente de Nitrógeno (N), Cloruro de potasio (KCl) como fuente de Potasio (K), Superfosfato simple de calcio (SPC) como fuente de Fosforo (P) y el Patrón Clavo como fuente de Fierro (Fe).

Para la preparación de las soluciones de N, K y P, se realizó la dilución de los insumos con agua destilada teniendo en cuenta las siguientes proporciones:

- Se preparó aprox. 1L de solución nitrógeno, para lo cual se pesó 206 gr. de Urea y se ha diluido en 1 L de agua destilada.

- Se preparó aprox. 1L de solución potasio para lo cual se ha pesado 19 gr. de Cloruro de potasio y se diluyo en 1 L de agua destilada.
- Se preparó aprox. 1L de solución fosforo para lo cual se ha pesado 35 gr. de Superfosfato simple de calcio y se diluyo en 1 L de agua destilada.
- Para la preparación del Patrón Clavo se utilizó 2 gr. de clavos ($^1/_2$ pul.) y fueron desintegrados en 200 ml ácido Muriático para luego aforar en 1 L de agua destilada.

Luego de haber obtenido esta forma las soluciones de macro y micronutrientes que conforman el Medio H.M., la cual fue utilizado como fuente única de nutrición para el desarrollo poblacional de la microalga, siendo conservadas a 1°C como muestran en el Anexo 3 y 4.

De los tres medios de cultivo que se utilizó el que dio más rápido su crecimiento de *Scenedesmus sp.,* fue el abono **bayfolan** con una concentración de 0,2 ml/l.

3.8. 4. Ficorremediación del agua residual

3.8. 4.1.Toma y lugar de procedencia de la muestra del agua residual

Se sacó 500 L de muestra del agua residual en un tanque de polietileno que se obtuvo de la cámara de bombeo que está ubicado en la parte posterior del primer pabellón y los cafetines de la Universidad Nacional de Ucayali, en horas de las 9:00 de la mañana antes de que la descarga del agua residual ingrese nuevamente a la cámara de bombeo. Para el

análisis de agua se llevó al laboratorio de NATURA que se colecto en botellas de vidrio 3 L para la obtención de sus respectivos resultados.

Posteriormente se trasladó el agua residual colectada al Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP-Ucayali) donde se desarrolló el estudio de investigación.

3.8. 4.2.Calculo del caudal de la cámara de bombeo

Se determinó los caudales máximos y mínimos para analizar volumen de agua que pasa por unidad de tiempo en la cámara de bombeo, los datos del caudal se tomaron como referencia de una tesis que realizaron en la misma cámara de bombeo de Francis y Karen 2015, en temas de humedales como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Caudal de la cámara de bombeo

Qmax	**27.60**	**m^3/día**
Qmin	8.43	m^3/día
Qpromedio	13.80	m^3/día

Fuente: Francis y Karen 2015 en temas de humedales

3.8. 4.3. Sistema de cultivo

Una vez llegada el agua residual colectada al Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana- IIAP Ucayali, se procedió al cernido con una malla micrométrica de color verde para evitar que los residuos sólidos de gran envergadura pasen directamente a las tinas utilizada en cada tratamiento empleado, la cantidad total de agua residual que se utilizo fue 309 L que se distribuyeron en 12 tinas de 50 L de capacidad. Para ello se realizó un pre tratamiento expuesto 24 horas con los rayos ultravioletas.

Una vez realizado el pre- tratamiento se procedió al conteo de la microalga *Scenedesmus sp.*, para ver su cantidad inicial y su crecimiento con el agua residual durante los 28 días en el estudio realizado, después ponerlos con sus respectivas dosis en cada tina con el agua residual, tal como se muestra en el Anexo 5 y en la siguiente tabla 4:

Tabla 4. Dosificaciones a 30 L

TRATAMIENTOS	REPETICIONES	ESPECIFICACIONES AL 30%		
		Inoculo L	**%Agua Residual**	DOSIS
T1 (Control)	T1R1,T1R2,T1R3	0	30 L	0%
T2	T2R1, T2R2,T2R3	5L	30 L	5 %
T3	T3R1,T3R2,T3R3	8 L	30 L	8%
T4	T4R1,T4R2,T4R3	10 L	30 L	10 %

Fuente: Elaboración propia

El volumen del agua residual de cada bandeja, se mantuvo con aireación constante a temperatura ambiente llevada a una casa cerrado con malla metálica para simular un ambiente natural como se muestra en la imagen del Anexo 6.

3.8. 4.4. Evaluación del crecimiento poblacional

Para obtener las curvas de crecimiento de la microalga *Scenedesmus sp*., en los distintos tratamientos se realizaron conteos diarios, de la cantidad de células por mililitro en la cámara de Neubauer observadas en el microscopio, de la siguiente manera:

- De cada bandeja con su respectivo tratamiento se tomó una muestra de 1 ml con una micropipeta.

- se realizó las diluciones necesarias hasta obtener un número adecuado para el conteo.

- se Tomó nuevamente la muestra con la micropipeta y se colocó en la cámara de Neubauer hasta llenar el espacio del cubreobjetos.

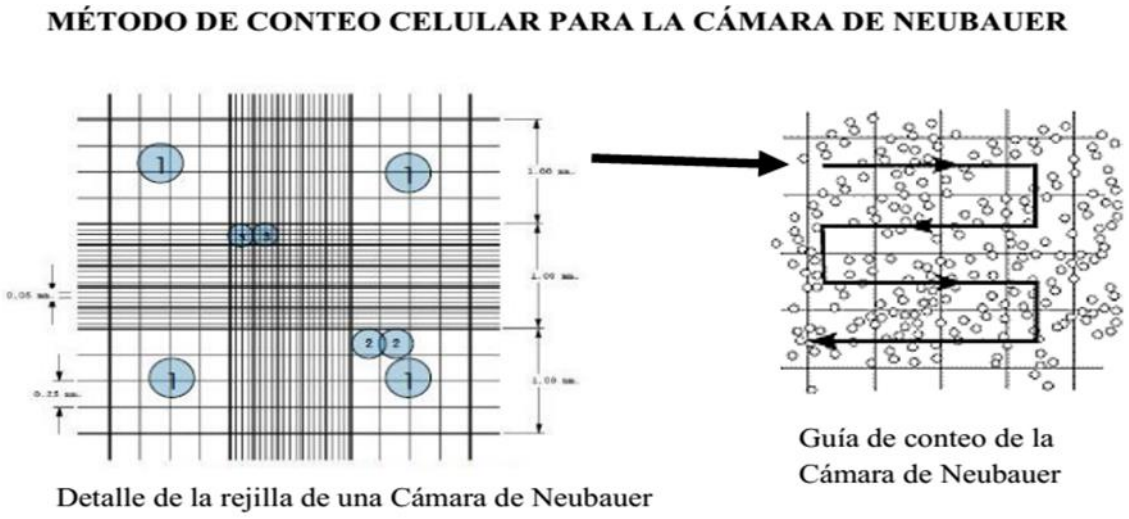


Figura 13. Cuadrantes de la cámara neubauer

- Llevamos la cámara al microscopio enfocando con 10X de aumento hasta que la imagen quede clara y le pusimos con aumento de 40X para proceder al conteo.

- En la cámara de Neubauer existen 5 cuadrantes para realizar el conteo se toman en cuenta los cuadrantes 1, 2 ,3 y 4 excluyendo 5 que es el central de la cámara, tal como se muestra en las fotografias del Anexo 7 :

  Todas las células fueron contabilizadas siempre y cuando encaje totalmente en el cuadrado, esto es sin topar las líneas superiores exteriores, inferiores exteriores y laterales exteriores, se diferencian por que dichas líneas se presentan entre 3 muy juntas.

Ubicada la microalga *scenedesmus sp.,* en el microspio se procedió a dibujar y anotar en la ficha de identificación de fitoplancton diseñada por mi persona.

3.8. 4.5. Evaluación del monitoreo físico

Se tomaron registros diarios, de temperatura ambiente, temperatura en cada tina con sus respectivos tratamientos con un termómetro, del pH con un pH-metro. La evaluación de los parámetros físicos fue realizada dos veces al día a las 8:00 am y 3:00 pm durante 28 días. Semanalmente se vio el cambio del color de las aguas en cada bandeja con su tratamiento.

El rango del pH de la microalga cultivada es entre 7 y 9, siendo el rango óptimo 8.2-8.7, para mantener un pH aceptable es necesario airear el medio de cultivo. La aireación es necesaria para prevenir la sedimentación del alga, para asegurar que todas las células de la población están igualmente expuestas a la luz y los nutrientes, y para mejorar el intercambio de gases entre el medio de cultivo y el aire como se muestra en el Anexo 8.

3.8. 4.6. Evaluación del monitoreo químico

La evaluación del nitrógeno(N) y fósforo (P), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y coliformes termo tolerantes; parámetros químicos indispensables para el desarrollo del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*, se realizaron una vez por semana y fueron llevados al laboratorio de NATURA de Pucallpa.

3.8. 4.7. Biomasa microalga

Se pasaba la micro malla dos veces al día, todos los días para sacar residuos sobrenadantes y para combatir las Daphnias que encontraron durante la tercera semana, que había en algunos tratamientos, después que se realizaba los parámetros físicos de temperatura y pH, de manera tal de obtener la biomasa microalgal húmeda. La biomasa se colocó en una bandeja porque perdió volumen, motivo por el cual no la tomamos en cuenta al final de los resultados, como se muestra en el Anexo 9.

3.9. Evaluación del tiempo y la eficiencia de *Scenedesmus sp*., en el Agua Residual

La evaluación se realizó cada semana durante los 28 días que duró la investigación.

Para calcular las eficiencias de contaminantes que es un sistema de tratamiento de aguas residuales, se utilizó la siguiente expresión matemática

$$\% E = \frac{SO - S}{SO} * 100$$

Dónde:

E = EFICIENCIA DE REMOCION

SO = carga contaminante de entrada (DQO, DBO)

S = carga contaminante de salida (DQO, DBO)

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Características del Agua Residual de la Universidad Nacional De Ucayali

Los análisis de calidad del agua residual del presente estudio se realizaron, antes de iniciar la aplicación con la microalga *Scenedesmus sp*.

Los resultados obtenidos de la caracterización del agua residual enviados al laboratorio de Natura se muestran en la Tabla 5. Como se puede observar el agua residual tiene alto contenido de materia orgánica.

Tabla 5. Análisis de calidad de agua residual sin microalga ***Scenedesmus sp.***

	AGUA RESIDUAL SIN *Scenedesmus sp.*	**RESULTADOS**	**UNIDADES**	**V.M.A**
	pH	8.00	Und	6-9
o	TEMPERATURA	29.00 ºC	ºC	35
	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO_5	169.3	mg/l	500.00
o	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	710.00	mg/l	1,000.00
	COLIFORMES TERMOTOLERANTES	104.00	NMP/100ml	N.E
	FOSFORO TOTAL	12.4	mg/l	N.E
	NITRATOS	1,2	mg/l	N.E

Fuente: Elaboración Propia, **N.E:** No especifica **V.M.A:** valores máximos admisibles

el parámetro microbiológico se observa que los resultados no sobrepasan los valores estimados, y están dentro de los valores máximos admisibles (V.M.A), lo que es adecuado para el desarrollo de los microorganismos y la microalga presentes en el agua residual.

Al agua residual antes de aplicar la microalga *Scenedesmus* sp., se observó en el microscopio y se encontró que llevan gran cantidad de microorganismos como por ejemplo se encontró la microalga *chlorella sp*. También *Scenedesmus* sp., etc., que influyen en su presencia la temperatura y el pH, puesto que cada organismo requiere unos valores determinados de estos parámetros para desarrollarse según estudios realizados por (Trepanier, C., Parent, S., Comeau, Y., Bouvrette, J. 2012).

4.2. Análisis físico químico y microbiológico del agua residual

4.2.1. Evaluación del Análisis físico

Se tomaron registros diarios de temperatura, temperatura ambiente y pH en cada tina con sus respectivos tratamientos; los registros diarios se realizaron en dos horarios que fueron a las 8:00 am y 3:00 pm tal como se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Análisis físicos del agua

	TRATAMIENTO N° 1				TRATAMENTO N °2			TRATAMIENTO N° 3			TRATAMIENTO N° 4		
	0 L Microalga				5 L Microalga			8 L Microalga			10 L Microalga		
DIAS	HORA	Ph	Tº	Tº AMBIENTE	Ph	Tº	Tº AMBIENTE	Ph	Tº	Tº AMBIENTE	Ph	Tº	Tº AMBIENTE
1	8.00	8.33	28.50	35.00	8.67	28.83	34.00	8.00	27.67	34.00	8.00	27.67	34.00
	3.00	7.82	29.73	36.00	8.26	29.73	35.00	8.00	27.67	35.00	8.02	28.50	35.00
2	8.00	7.87	24.00	25.00	8.32	24.07	25.00	7.99	24.07	25.00	7.86	24.33	25.00
	3.00	8.26	29.73	34.00	8.26	25.33	34.00	8.09	23.50	34.00	8.02	24.00	34.00
3	8.00	8.27	22.10	25.00	8.36	22.00	25.00	8.11	21.64	26.00	7.97	22.00	25.00
	3.00	8.49	24.00	28.00	8.59	23.83	29.00	8.48	23.50	29.00	8.48	24.00	28.00
4	8.00	8.57	23.70	35.00	8.65	23.40	35.00	8.48	23.17	35.00	8.54	23.63	35.00
	3.00	8.53	25.33	32.00	8.85	25.50	32.00	8.50	25.83	32.00	8.41	24.50	32.00
5	8.00	8.65	26.83	34.00	8.61	26.83	34.00	8.75	25.50	34.00	8.60	25.25	34.00
	3.00	8.36	28.17	33.00	8.52	27.33	33.00	8.01	27.00	33.00	7.93	27.33	33.00
6	8.00	8.10	26.67	34.00	8.41	27.17	34.00	8.02	25.50	34.00	8.19	26.33	34.00
	3.00	8.08	29.50	35.00	7.96	28.50	35.00	7.16	28.00	35.00	7.29	28.83	35.00
7	8.00	8.20	27.00	35.00	8.20	26.33	35.00	7.62	25.83	35.00	7.92	26.33	35.00
	3.00	8.21	27.67	34.00	8.49	27.33	34.00	7.95	27.00	34.00	7.92	27.00	34.00
8	8.00	8.15	26.50	34.00	8.10	26.67	34.00	7.54	26.33	34.00	7.85	26.83	34.00
	3.00	8.19	28.00	34.00	8.41	27.33	34.00	7.98	26.67	34.00	7.90	27.33	34.00
9	8.00	7.69	29.33	30.00	7.62	28.00	30.00	7.07	28.50	30.00	6.66	28.67	30.00
	3.00	8.16	27.67	35.00	7.86	27.83	35.00	7.44	27.33	35.00	6.85	28.00	35.00
10	8.00	8.17	26.33	31.00	8.18	26.33	31.00	7.69	26.00	31.00	7.09	26.50	31.00
	3.00	8.20	29.17	35.00	7.85	28.33	35.00	7.48	28.33	35.00	6.84	28.67	35.00
11	8.00	8.25	27.17	33.00	7.92	26.33	33.00	7.44	27.33	33.00	6.76	27.00	33.00
	3.00	8.05	29.50	35.00	7.77	28.67	35.00	7.74	29.00	35.00	6.56	28.78	35.00
12	8.00	7.86	27.33	33.00	7.74	27.00	33.00	7.24	27.00	33.00	6.46	27.00	33.00
	3.00	8.13	28.33	30.00	7.83	27.00	30.00	7.26	27.00	30.00	6.67	27.00	30.00
13	8.00	7.79	25.33	28.00	7.74	25.00	28.00	7.10	25.00	28.00	6.46	25.00	28.00
	3.00	8.26	21.00	23.00	7.91	21.00	23.00	7.73	21.00	23.00	6.68	21.00	23.00
14	8.00	8.58	20.00	20.00	8.25	20.00	20.00	7.71	20.00	20.00	6.91	20.00	20.00
	3.00	8.72	21.00	20.00	8.10	20.67	20.00	7.56	21.00	20.00	6.78	21.00	20.00

15	8.00	8.26	21.00	23.00	7.91	21.00	23.00	7.36	21.00	23.00	6.68	21.00	23.00
	3.00	8.06	24.67	29.00	7.80	25.00	29.00	7.20	25.00	29.00	6.57	25.00	29.00
16	8.00	8.14	26.67	25.00	7.96	27.00	25.00	7.89	27.17	25.00	6.76	27.00	25.00
	3.00	7.98	27.00	33.00	7.63	26.33	33.00	7.16	26.50	33.00	6.55	26.33	33.00
17	8.00	8.16	26.33	33.00	7.89	25.83	33.00	7.30	26.00	33º	6.88	26.00	33.00
	3.00	8.36	27.33	34.00	8.08	27.00	34.00	7.30	27.17	34º	6.78	27.17	34.00
18	8.00	8.15	26.00	33.00	7.90	26.33	33.00	7.08	27.00	33º	7.24	27.00	33.00
	3.00	8.43	28.67	35.00	8.15	28.33	35.00	7.61	28.33	35º	7.03	28.00	35.00
19	8.00	8.16	26.33	29.00	7.91	25.83	29.00	7.24	27.00	29º	6.88	27.00	29.00
	3.00	8.43	27.33	31.00	8.11	27.00	31.00	7.30	28.67	31º	6.78	28.33	31.00
20	8.00	8.14	26.67	25.00	7.96	27.00	25.00	7.42	27.17	25.00	7.03	27.00	25.00
	3.00	8.13	28.33	30.00	7.83	27.00	30.00	7.26	27.00	30.00	6.67	27.00	30.00
21	8.00	8.23	26.83	33.00	8.25	26.33	33.00	7.46	27.00	33.00	7.76	27.00	33.00
	3.00	8.24	28.83	35.00	8.11	28.17	35.00	7.41	28.67	35.00	7.09	28.50	35.00
22	8.00	8.03	27.00	33.00	7.85	27.33	33.00	7.18	27.33	33.00	6.91	27.33	33.00
	3.00	8.05	29.00	35.00	8.11	28.00	35.00	7.35	28.67	35.00	7.03	28.33	35.00
23	8.00	8.38	22.33	24.00	7.81	21.67	24.00	7.35	22.00	24.00	7.35	22.33	24.00
	3.00	8.24	23.00	28.00	7.86	23.00	28.00	7.48	23.00	28.00	7.39	23.00	28.00
24	8.00	8.41	23.00	27.00	8.01	23.33	27.00	7.57	23.50	27.00	7.54	23.33	27.00
	3.00	8.46	25.42	30.00	8.49	25.33	30.00	7.76	25.33	30.00	7.63	25.00	30.00
25	8.00	8.37	25.00	29º	8.46	24.67	29.00	7.68	25.00	29.00	7.99	25.33	29.00
	3.00	8.52	27.00	33.00	8.49	27.00	33.00	7.74	27.00	33.00	7.80	27.00	33.00
26	8.00	8.08	25.00	30.00	7.85	24.67	30.00	7.59	24.83	30.00	7.28	25.00	30.00
	3.00	8.07	27.83	34.00	8.22	27.83	34.00	7.79	27.67	34.00	7.06	28.00	34.00
	8.00	8.10	27.83	27.00	8.11	27.83	27.00	7.41	27.33	27.00	7.09	27.67	27º
27	3.00	8.24	28.83	35.00	8.11	28.17	35.00	7.41	28.33	35.00	7.09	28.17	35.00
	8.00	8.12	24.00	23.00	7.69	24.00	23.00	7.30	24.00	23.00	7.17	24.00	23.00
28	3.00	8.51	23.00	27.00	8.02	23.00	27.00	7.48	23.00	27.00	7.59	23.00	27.00
PROMEDIO		**8.22**	**26.25**	**30.73**	**8.11**	**25.90**	**30.89**	**7.61**	**25.84**	**30.70**	**7.13**	**25.93**	**30.73**

Los resultados de los parámetros físicos de la tabla 6, muestran lo siguiente:

El registro del tratamiento 1 que es el control o testigo muestra que la tendencia del pH llego a su máximo en el día 14 con el valor de 8.14 y a su mínimo en el día 9 con el valor 7.69 teniendo como promedio total de 8.22, en la temperatura tuvo como promedio 26º C estando dentro de los valores máximos admisibles (VAN) y temperatura ambiente 30ºC.

El registro del tratamiento 2 muestra que la tendencia del pH llego a su máximo en el día 4 con el valor de 8.85 y a su mínimo en el día 27 con el valor 7.69 teniendo como promedio total de 8.22, en la temperatura tuvo como promedio 25 ºC estando dentro de los valores máximos admisibles (VAN) y temperatura ambiente 30ºC.

El registro del tratamiento 3 muestra que la tendencia del pH llego a su máximo en el día 4 con el valor de 8.50 y a su mínimo en el día 9 con el valor 7.61 teniendo como promedio total de 8.22, en la temperatura tuvo como promedio 25º C estando dentro de los valores máximos admisibles (VAN) y temperatura ambiente 30ºC

El registro del tratamiento 4 muestra que la tendencia del pH llego a su máximo en el día 5 con el valor de 8.60 y a su mínimo en los días 12 y 13 con el valor 6.46 teniendo como promedio total de 7.13, en la temperatura tuvo como promedio 25º C estando dentro de los valores máximos admisibles (VAN) y temperatura ambiente 30º C.

4.3.2. Evaluación del Análisis químico

4.3.2. 1. Primera Semana

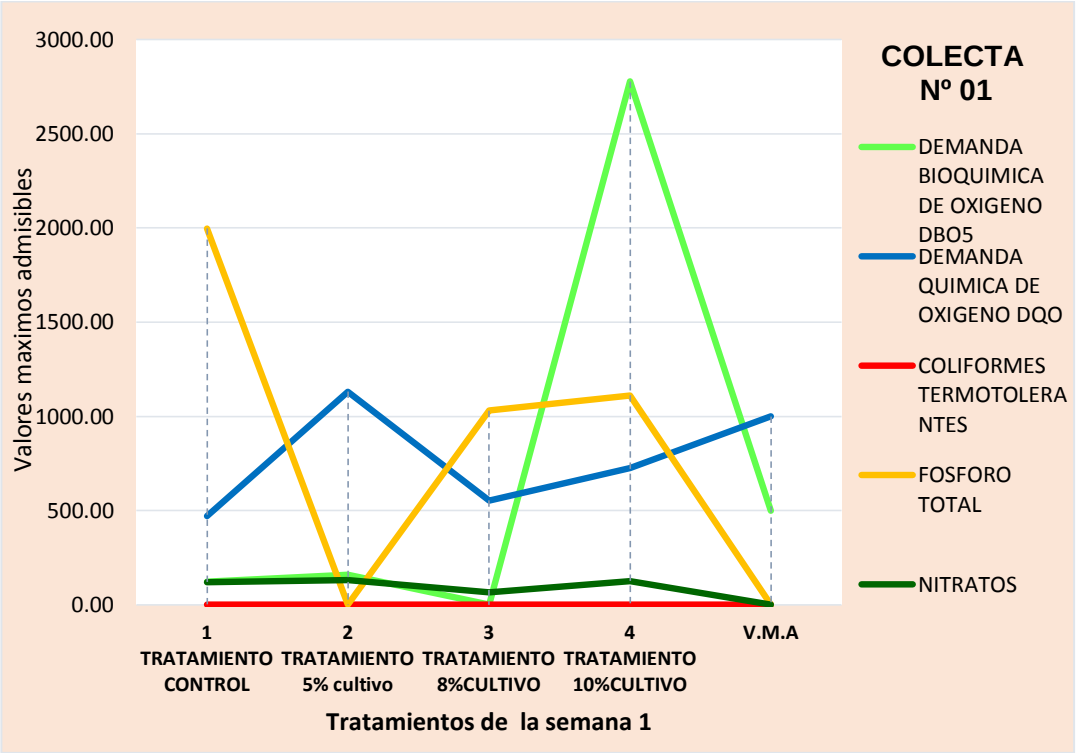


Figura 14. Análisis químico de la semana 1

Como se puede en la figura 14, los resultado del análisis químico en la primera semana muestran que el DBO pasa los valores máximos admisibles (VAN) lo que quiere decir que el agua que se recolecto tuvo gran cantidad de materia orgánica, oxígeno que necesito la microalga en el proceso de degradación de la materia orgánica como determina (Doucha, J., & Lívanský, K. 2010) en estudios anteriores con aguas residuales.

Demanda bioquímica de oxigeno (DBO_5): se elevó en el tratamiento 4 con el valor 2778.00 mg/l sobrepasando los valores máximos permisibles que es 500 mg/l mientras que en los otros tratamientos mantuvo su variación.

De-Bashan L.E. Bashan, Y. (2014) definen que estudios anteriores a (DBO_5) como la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual y representa la cantidad de materia orgánica biodegradable. Y da como resultado que en los tratamientos de las aguas residuales se realiza la eliminación de microorganismos patógenos.

Doucha, J., & Lívanský, K. (2010) afirman que la DBO es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes, si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo.

Demanda química de oxigeno (DQO): se elevó en el tratamiento 2 con el valor 1131.00 mg/l sobrepasando los valores máximos permisibles que es 1000 mg/l mientras que en los otros tratamientos mantuvo su variación.

Coliformes termotolerantes: mantuvieron su valor con 2,0 en todos los tratamientos.

Fosforo total: se elevó en el tratamiento 1 con el valor de 1997.00, mientras que en los otros tratamientos mantuvo su variación.

Nitratos: *Scenedesmus sp*., fue capaz de asimilar el nitrógeno y se mantuvo en valores óptimos, tal como se muestra en la figura 14.

4.3.2. 2. Segunda Semana

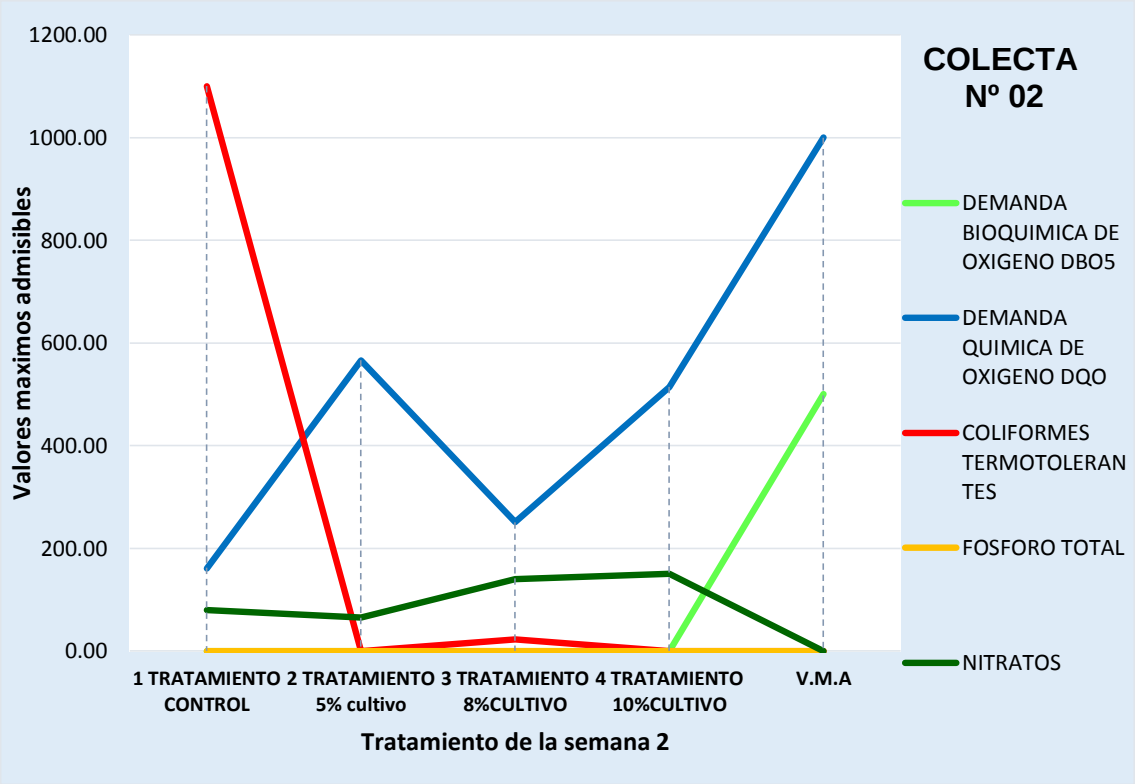


Figura 15. Análisis químico de la semana 2

Los análisis realizados muestran que Coliformes termotolerantes se elevó en el tratamiento 1 con el valor 1100.00 NMP/100 ml después en los otros tratamientos siguió su variación, Como se puede observar en la figura 15.

Demanda química de oxigeno (DQO), demanda bioquímica de oxigeno (DBO_5) Fosforo total, Nitratos muestra que los valores obtenidos en los diferentes tratamientos están dentro del rango permitido e incluso son inferiores a los valores máximos permisibles.

Se observa una disminución de la concentración materia orgánica en el agua residual con la microalga, verificando de esta forma la capacidad de la microalga de tomar los nutrientes contenidos en las aguas residuales para su metabolismo y de esta forma emplearse como un tratamiento avanzado como

lo afirman (Lau, P.S., Tam, N.F.Y., & Wong, Y.S. 2010) en investigaciones con la microalga *Scenedesmus sp*., los resultados presentaron una adaptación inmediata a los tratamientos con sus dosificaciones

4.3.2. 3. Tercera Semana

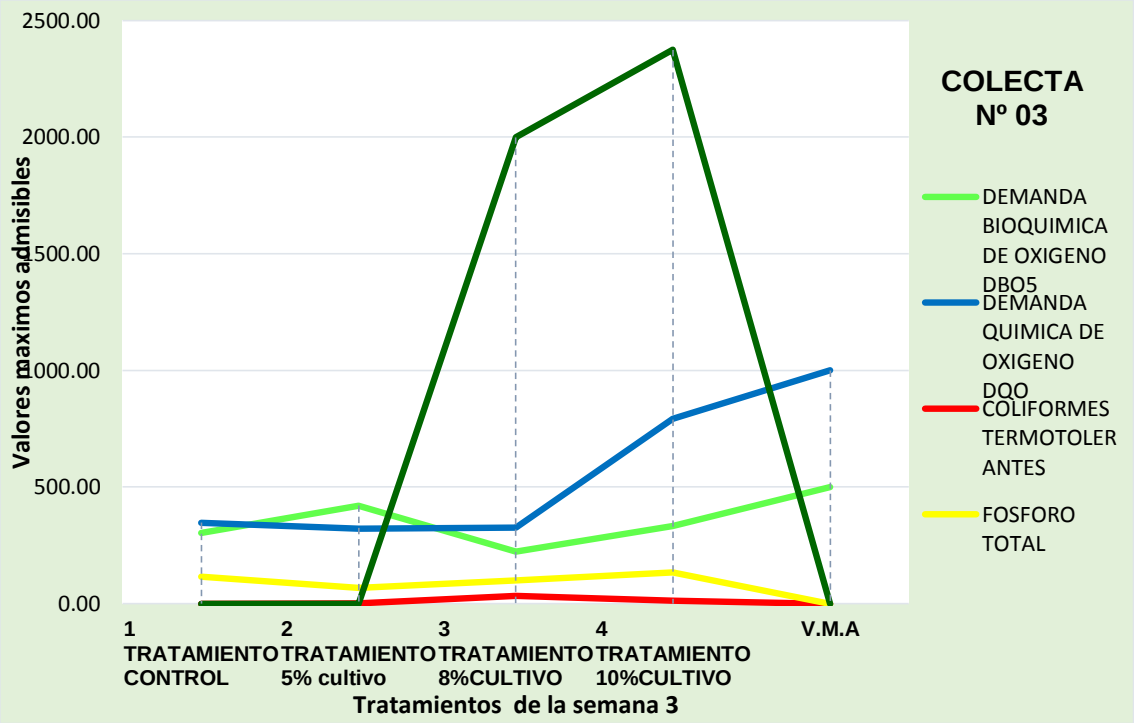


Figura 16. Análisis químico de la semana 3

Como se puede observar en la figura 16, el nitrato tuvo como resultados valores elevados en el tratamiento 4, por el aumento del crecimiento o proliferación de la microalga *Scenedesmus sp.,* esta consecuencia de altas concentraciones de nitrato podría haber llevado a la eutrofización de las aguas residuales como lo afirman (Cléber, F. E., M. Sant'Anna, G. L. Villela, and O. Barcelos 2013). Demanda química de oxigeno (DQO), demanda bioquímica de oxigeno (DBO_5) Coliformes termotolerantes Fosforo total, muestra que los valores obtenidos en los diferentes tratamientos están dentro del rango permitido e incluso son inferiores a los valores máximos permisibles.

4.3.2. 4. Cuarta Semana

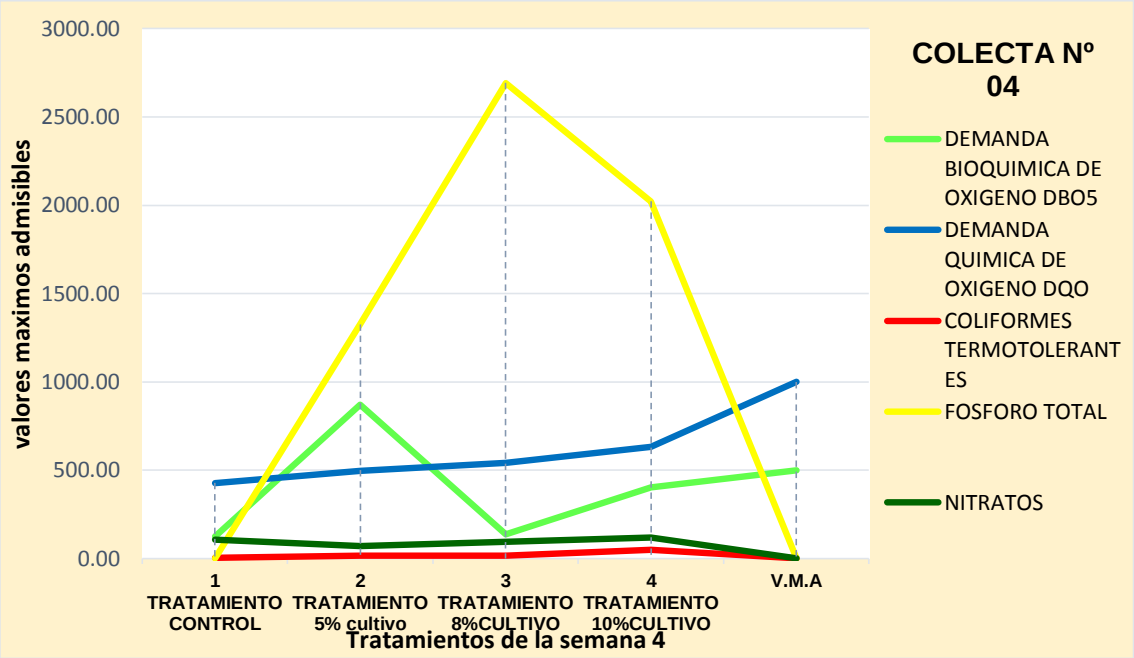


Figura 17. Análisis químico de la semana 4

Los valores obtenidos en los análisis de la Cuarta Semana, demuestran que el fósforo se elevó en el tratamiento 3 y 4 esto quiere decir que hubo una eutrofización y proliferación en dichos tratamientos como se puede observar en la Figura 17.

Liu, J., Huang, J., Jiang, Y., & Chen, F. (2012) afirman que el fósforo estimula el crecimiento (eutrofización), la Demanda química de oxigeno (DQO), demanda bioquímica de oxigeno (DBO_5) Fosforo total, Nitratos muestra que los valores obtenidos en los diferentes tratamientos están dentro del rango permitido e incluso son inferiores a los valores máximos permisibles.

En general, la microalga *Scenedesmus* sp., tuvo una alta tasa de remoción de nutrientes para los parámetros estudiados, no obstante, los mejores resultados fueron sustentados en los tratamiento 2 y 3 durante los 28 días del estudio realizado.

De las dosis aplicadas a cada tratamiento se puede analizar que *Scenedesmus sp.,* resistió muy bien la contaminación de aguas residuales de la Universidad Nacional de Ucayali y por ello coincido con (Vijaykumar, S., Thajuddin, N., & Manoharan, C. 2015) ya que ellos explican que *Scenedesmus* sp., crece en aguas dulces ricas en nutrientes y resiste muy bien la contaminación, por lo que es común encontrarla en plantas de aguas residuales donde se desarrolla y provee oxígeno a las bacterias aerobias acelerando el primer proceso de depuración

4.3 Análisis de los resultados de Anova (Analisis de varianza)

En la tabla 7 se expresa el ANOVA de un factor en relación al crecimiento poblacional en el día 28 de cultivo de la microalgas, los resultados muestran diferencias significativas (P<0.05). Test de la media cuadrática de Anova

Tabla 7. Resultados de ANOVA de un factor en relación al crecimiento poblacional en el día 28 de cultivo de la microalgas.

Fuente de Variación (F.V)	Suma de cuadrados (s.c)	Grados de libertad (g.l)	Media de cuadrados (m.c)	F (0.05)	Sig.
Tratamientos	14,192	3	4,731	2,366	**
Dosis	0,007	3	0,002	0.011	*
Error	1,420	8	0.177	0.036	*
total	15,619	14	4.928	2,413	**

Fuente: Mugg J., & Rice M. (2010).

* : Significativo ** : altamente significativo.

En la tabla 8 de Subconjuntos homogéneos que ofrece una clasificación de los grupos basada en el grado de parecido existente entre sus medias. Así, en el subgrupo 1,00 que es el tratamiento (T1) no difiere de sí mismo (significación = C); lo mismo con el subgrupo 2,00 que es el tratamiento (T2) si difiere de sí mismo (significación = A); y el subgrupo 3, que es el tratamiento (T3) no difiere de sí mismo (significación = B); como el subgrupo 4, que es el tratamiento (T4) no difiere de sí mismo (significación = D); Por ende se deduce que el T2 mostraron mayor eficacia de los tratamientos establecidos durante los 28 días de investigación.

Tabla 8. Resultados de Tukey

HSD de Tukey[a]					
TRATAMIENTO	**N**	**Subconjunto para alfa = 0.05**			
		1	2	3	4
1,00(1)	3	0,0267			
2,00(2)	3		2,9300		
3,00(3)	3			2,1300	
4,00(4)	3				1,9433
Sig.		**C**	**A**	**B**	**D**

Fuente: Abhay B. Fulke, S.N.M., & Ajam Shekh, N. (2010)

En la tabla 8 se muestra las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. a= usa el tamaño muestreal de la media armónica = 3, 00

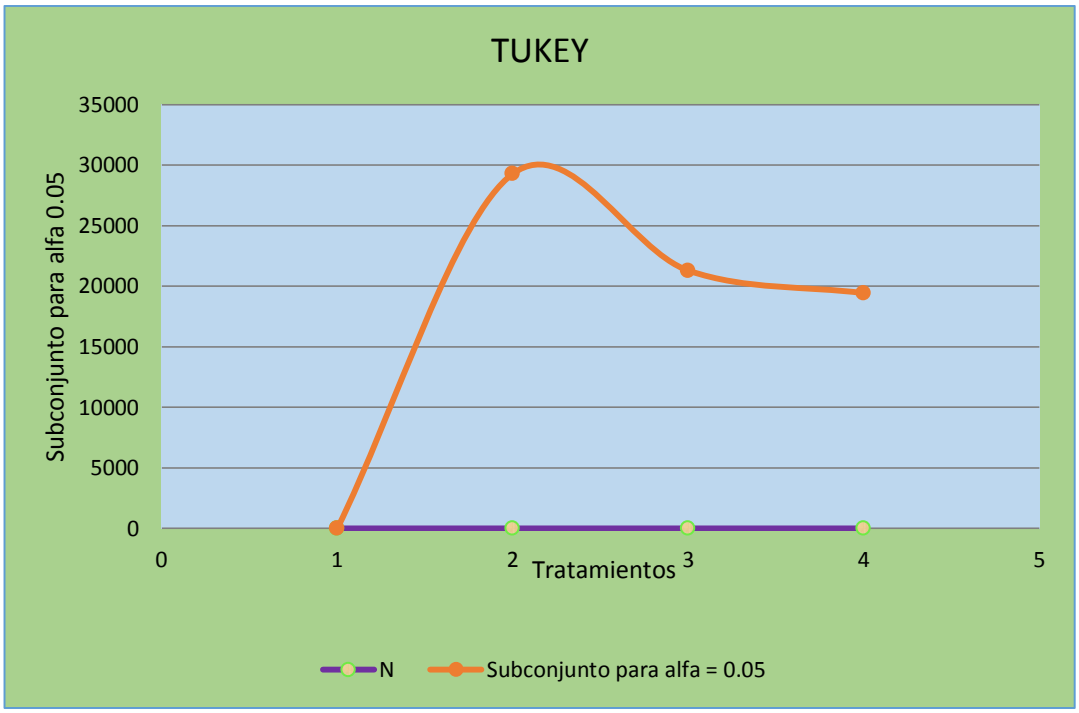


Figura 18. Resultados de tukey

En la figura 18 se observa una clasificación de los grupos basada en el grado de parecido existente entre sus medias de tukey la cual sirve para probar todas las diferencias entre medias de tratamientos de una experiencia, la única exigencia es que el número de repeticiones sea constante en los tratamientos.

Se observa como resultado final que el Tratamiento 2 de 5 litros mostró mayor eficacia de los tratamientos establecidos durante los 28 días de investigación, lo que a su vez podemos determinar menor dosis mayor eficacia en el agua residual.

4.4. Comportamiento del Color



Imagen 12. Resultado del color observadas en las muestras realizados con y sin la microalga *Scenedesmus* sp**.,** cultivada en las aguas residuales de la UNU.

Los tratamientos sometidos con la microalga *Scenedesmus sp*., en las muestra del agua residual de la Universidad Nacional de Ucayali fueron resultados positivos tal como se muestra en la imagen 12 y en el Anexo 10.

Chacón C. Andrade & C. Cardenas C. (2012) afirman que en estudios anteriores el agua residual reciente suele tener un color grisáceo, transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro coincido con los autores ya que cuando se transportó al lugar del desarrollo del estudio sucedió aquello ya que en la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias presentes en el agua residual.

4.5 Comportamiento del Temperatura ºC

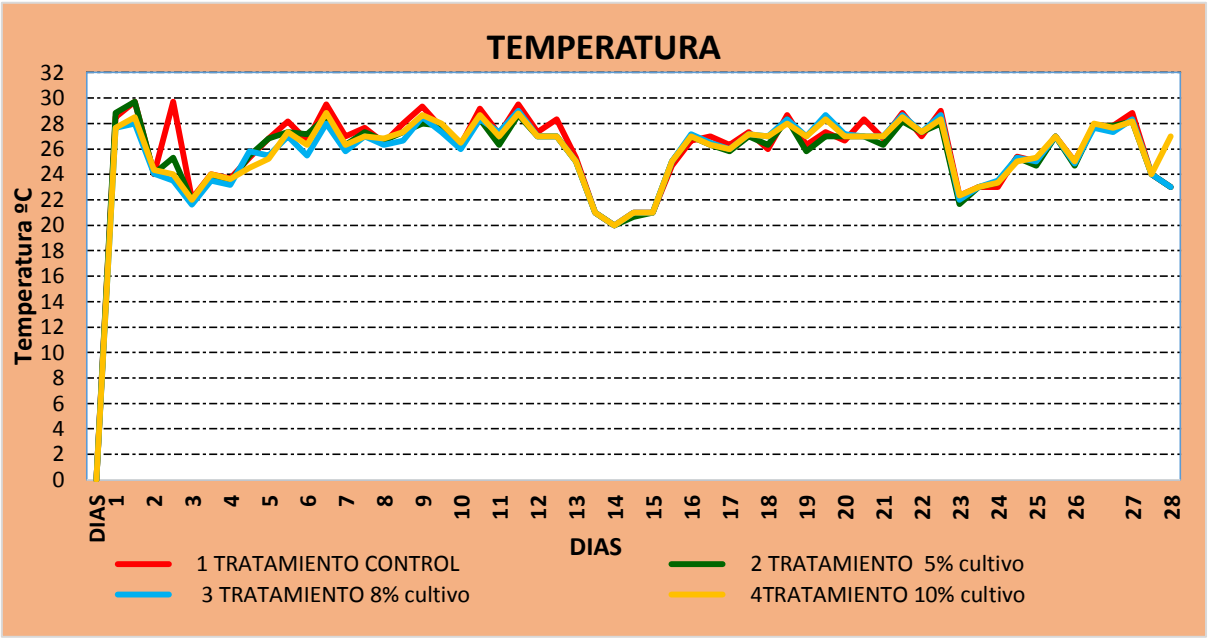


Figura 19. Resultado de la Temperatura realizados en las muestreos de la microalga Scenedesmus sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU

La temperatura promedio en los tratamientos con su control durante el periodo de experimentación Osciló entre 20.0 °C que fue la temperatura mínima que se dio en todos los tratamientos y 29.73 °C que fue la temperatura máxima que se dio en el tratamiento 1 control, temperatura apropiada según los valores máximos admisibles (VMA) para no afectar el metabolismo de la microalga *Scenedesmus sp*. Como se muestra en la Figura 19.

Los valores de la temperatura del cultivo muestran similares variaciones cuyos rangos no afectan la dinámica del crecimiento según afirman (Vijaykumar, S., Thajuddin, N., & Manoharan, C. 2015).

El incremento de la temperatura afecta la vida acuática, además que reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua (Singh, N.K., & Patel, D.B. 2012).

4.6 Temperatura Ambiente ºC

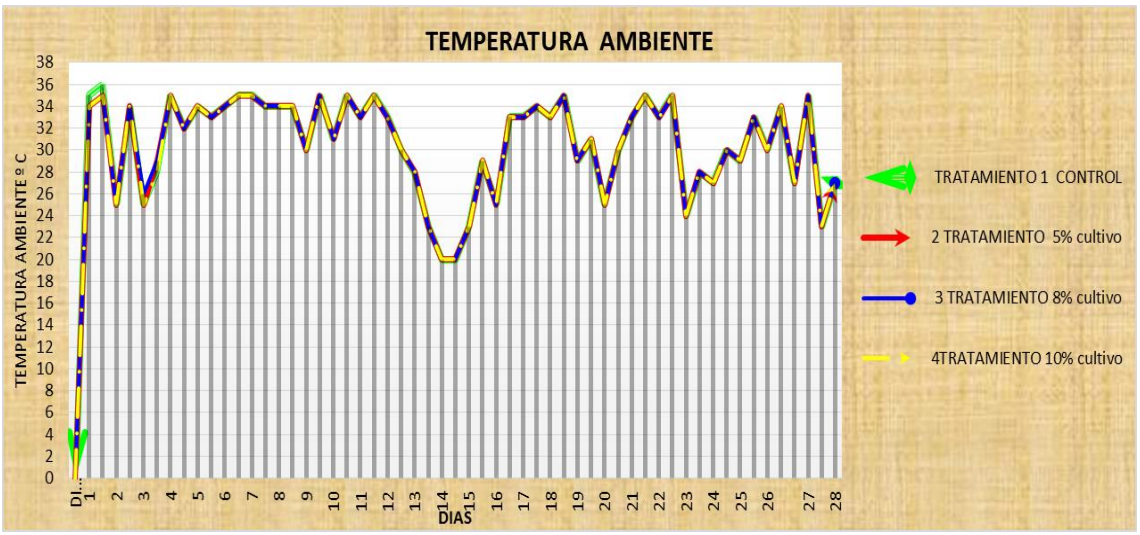


Figura 20. Resultado de la Temperatura ambiente realizados en las muestreos de la microalga *Scenedesmus* sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU.

Se monitoreo la temperatura ambiente durante el periodo de experimentación que duro 28 días y se dio una variación entre 20.0 °C que fue la temperatura ambiente mínima que se dio en todos los tratamientos y 36 °C que fue la temperatura ambiente máxima que se dio en el tratamiento 1 control, Como se muestra en la Figura 20.

Se tomó la temperatura ambiente para ver las variaciones y sus efectos existentes con la temperatura de cada tratamiento con su control que se realizó en cada tinas, el monitoreo se registró diario en los horarios de 8:00 am y 3:00 pm.

Se tomó como uno de los parámetros importantes en el trabajo por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento.

4.7 Comportamiento del pH

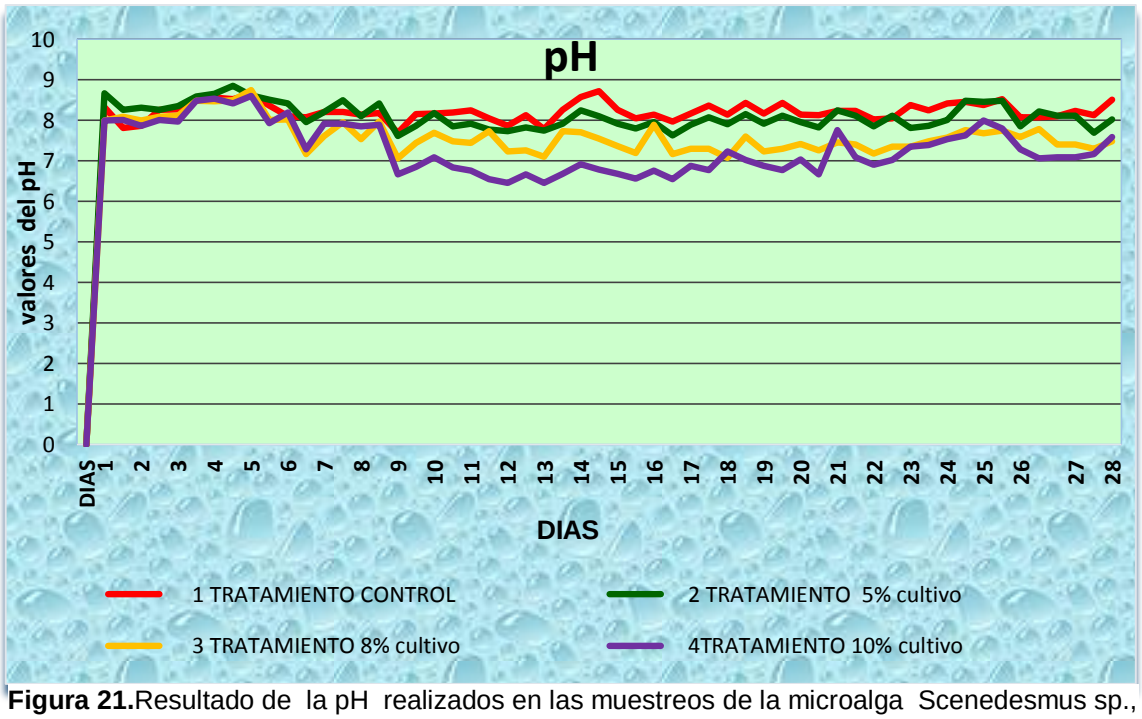


Figura 21. Resultado de la pH realizados en las muestreos de la microalga Scenedesmus sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU.

El resultado del registro diario del pH monitoreado en los horarios de 8:00 am y 3:00 pm de los tratamientos con diferentes dosis durante los 28 días varía de 6.46 a 8.85 como se aprecia en la figura 21. El óptimo pH para la ficorremediacion de aguas residuales de *Scenedesmus* sp., esta entre 6.0 y 9.0., este factor es de gran importancia para el crecimiento de la microalga, ya que afecta de manera directa la fijación del nitrógeno.

El mínimo valor del pH fue en el tratamiento 4, que fue en el 9 día con un valor de 6.66 y el día 13 con el valor de 6.46 y en el tratamiento 3, que fue en el 9 día con un valor de 7.7; esto quiere decir que favorecieron en el crecimiento y proliferación de la microalga *Scenedesmus sp.,* en el agua residual.

Los valores de pH alto cercanos a 9 puede conducir a la precipitación de fosfato en el medio por la formación de fosfatos de calcio, por tanto es

razonable la conclusión de que la eliminación de fósforo se debe tanto a la absorción metabólica de las algas y a la precipitación de fosfato según lo han manifestado algunos autores en otras investigaciones (Singh, N.K., & Patel, D.B. 2012).

El máximo valor del pH se dio en el tratamiento 2 en el día 4 con un valor de 8.85, esto quiere decir que predomina o aumenta el nitrógeno amoniacal es la forma gaseosa la cual es tóxica, pero removible con arrastre con aire que tuvo constante en cada tina.

El pH del cultivo determina la solubilidad del CO2 y de los minerales, así como la distribución relativa de las formas inorgánicas de carbono (CO2, H2CO3, HCO3-, CO3-2), e influye directamente en el metabolismo de las microalgas (Travieso, L., Benítez, F., Sánchez, E., Borja, R., León. M., Raposo F., Rincón B. 2012).

El consumo de CO2 durante el proceso de fotosíntesis realizado por las microalgas, provoca el aumento de pH observado al desplazarse el equilibrio de los carbonatos al evaluar la cinética de remoción del nitrógeno y materia orgánica en efluentes del agua residual en el tratamiento 1 y 2 se encontró que el pH de los cultivos incrementó significativamente a medida que transcurría el periodo experimental. Igualmente (Rawat, I., Ranjith Kumar, R., Mutanda, T., & Bux, F. 2011) reportaron que el crecimiento heterotrófico de la microalga *Chlorella vulgaris* está usualmente acompañado de un incremento de pH, ocurrido durante los periodos de tasas altas de asimilación de sustrato.

Los cultivos de microalgas normalmente tienen una carga bacteriana que por lo general se controla con el nivel de pH, en este caso en el tratamiento 4

llego a un pH 6 lo cual favoreció a un mayor crecimiento bacteriano que pudo afectar el normal crecimiento de las microalgas en el medio como lo confirma (Mugg, & Rice M. 2010) en estudios anteriores que las bacterias a su vez afectarían al periodo de adaptación provocando un decaimiento en la multiplicación en las microalgas.

4.8 Comportamiento de la demanda bioquímica de oxigeno (DBO5) mg/l

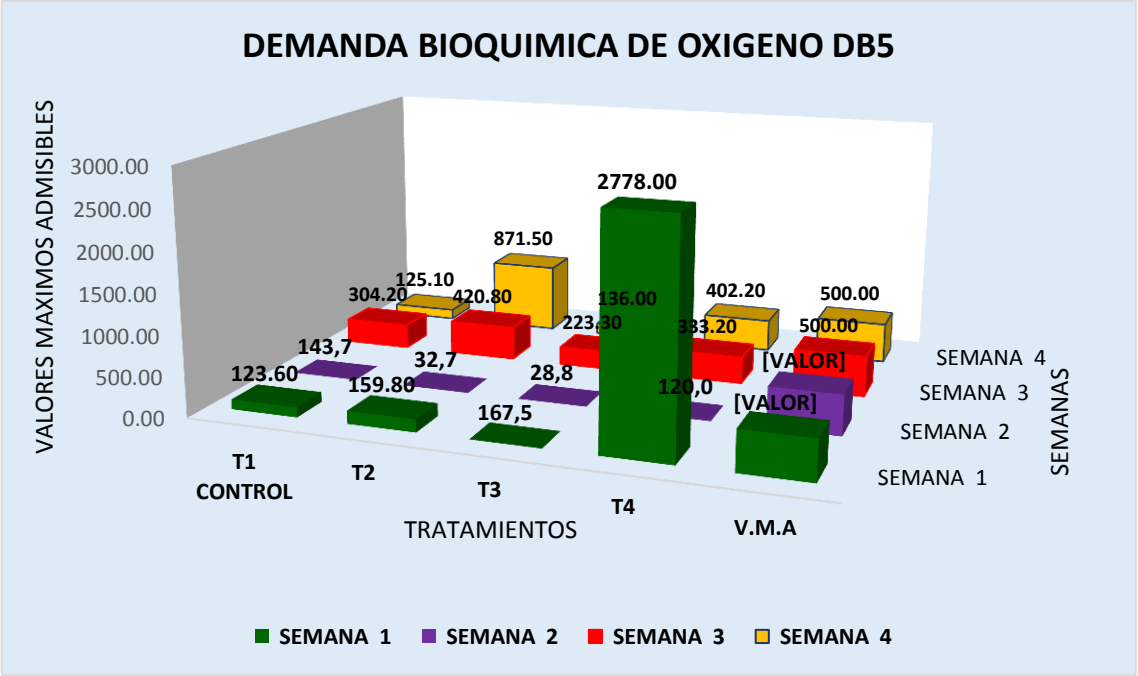


Figura 22. Resultado de la Demanda bioquímica de oxigeno (DBO) realizados en las muestreos de la microalga *Scenedesmus* sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU.

La eliminación de la demanda bioquímica de oxigeno (DBO5) en el cultivo de *Scenedesmus sp*., no mostró mucha diferencias significativas con el agua residual durante los 28 días y alcanzó el máximo de eliminación en la segunda semana con los valores de T1 control=143,7; T2=32,7; T3=28,8; T4=120,0 como se muestra en la figura 22.

Demanda Bioquímica de Oxigeno se define como la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual.

Olguin, E.J. (2013) determina que la DBO es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo.

El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos.

4.9 Comportamiento de la demanda química de oxigeno (DQO5) mg/l

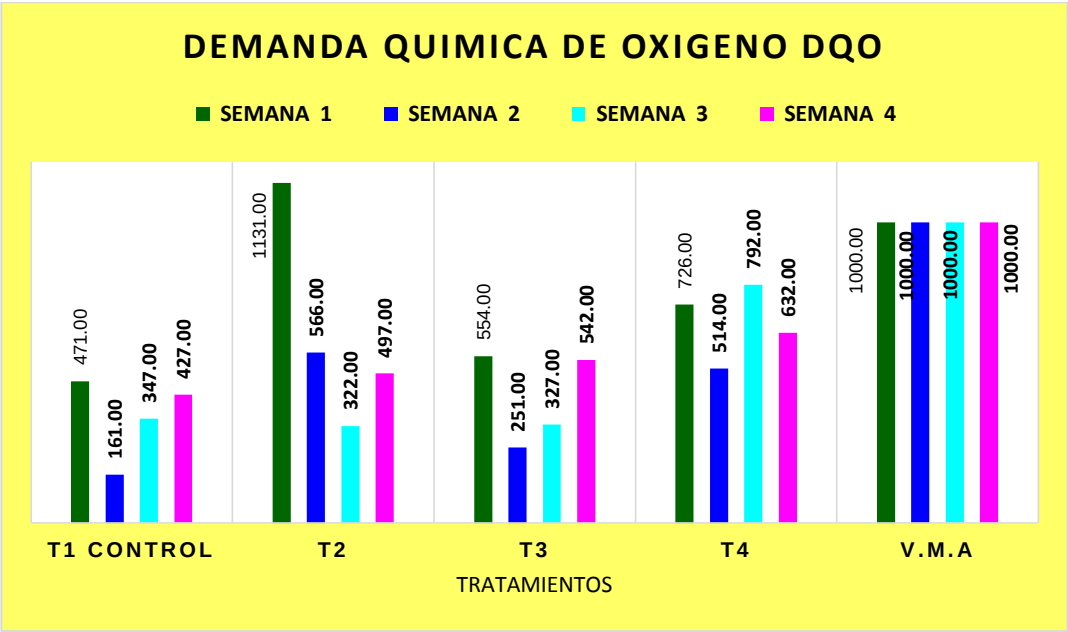


Figura 23. Resultado de la Demanda química de oxigeno (DQO) realizados en las muestreos de la microalga *Scenedesmus* sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU.

La eliminación de la demanda química de oxigeno (DQO5) en el cultivo de *Scenedesmus sp*., mostró menores concentraciones de sus nutrientes en el agua residual durante los 28 días y alcanzó el máximo de eliminación en la segunda semana con los valores de T1 control=161.00; T2=566.00; T3=251.00; T4=514.00 y están dentro de los valores máximos admisibles que es 1000.00 como se muestra en la figura 23.

Selvam, G. G., Baskaran, R., & Mohan, P. M. (2011) determina que la demanda química de oxigeno DQO es una medida aproximada del contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable de una muestra de agua. En condiciones naturales, dicha materia orgánica puede ser biodegradada lentamente (oxidada) hasta CO2 y H2O mediante un proceso que puede tardar desde unas pocas semanas hasta unos cuantos cientos de años, dependiendo del tipo de materia orgánica presente y de las condiciones de la oxidación. En las pruebas de DQO se acelera artificialmente la biodegradación que realizan los microorganismos, mediante un proceso de oxidación forzada, utilizando oxidantes químicos y métodos debidamente estandarizados, que tienen por objeto garantizar la reproducibilidad y comparabilidad de las mediciones.

4.10 Comportamiento de Coliformes termotolerantes NMP/100ml

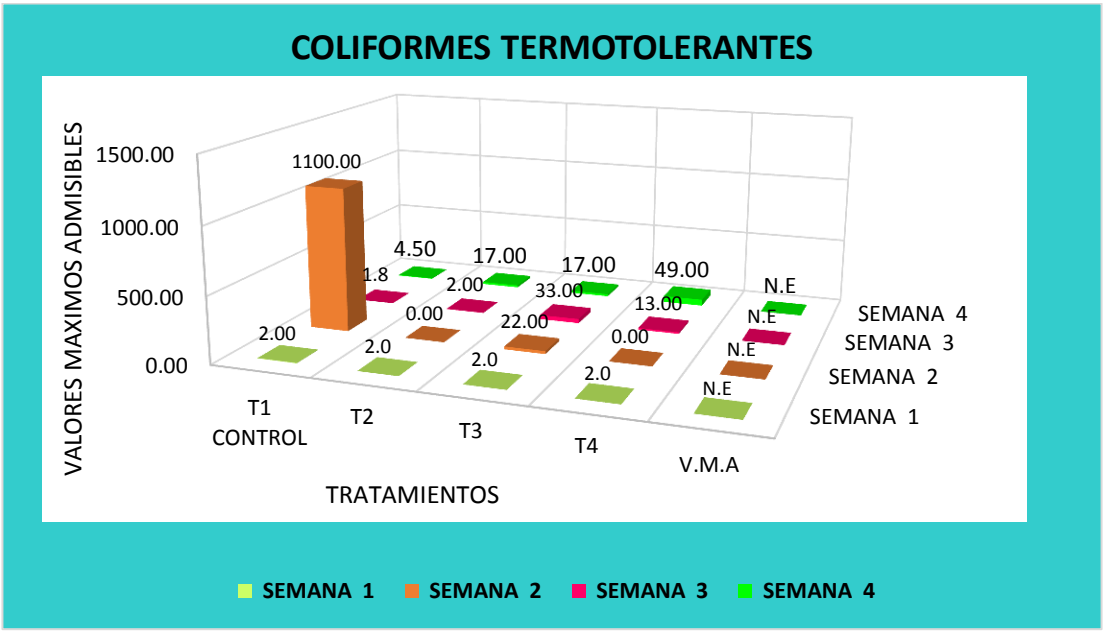


Figura 24. Resultado de Coliformes termotolerantes realizados en las muestreos de la microalga *Scenedesmus* sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU.

Los coliformes termotolerantes presentan una disminución al final de los tratamientos, siendo en los fecales del 70 %; indicativo de la efectividad del proceso en la eliminación de microorganismos patógenos como se muestra en la figura 24, se observa resultados con poca carga de coliformes totales.

Pathak, H., Joshi, H. C., & Dwiwedi,M.K. (2010) afirman que la microalga *Scenedesmus sp*., posee la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales

Las bacterias coliformes, por otro lado, se utilizan como indicadores de polución por vertidos de origen humano, ya que cada persona elimina diariamente de 100.000 - 400.000 millones de coliformes a través de las heces, además de otras clases de bacterias.

4.11. Comportamiento de fosforo total mg/l

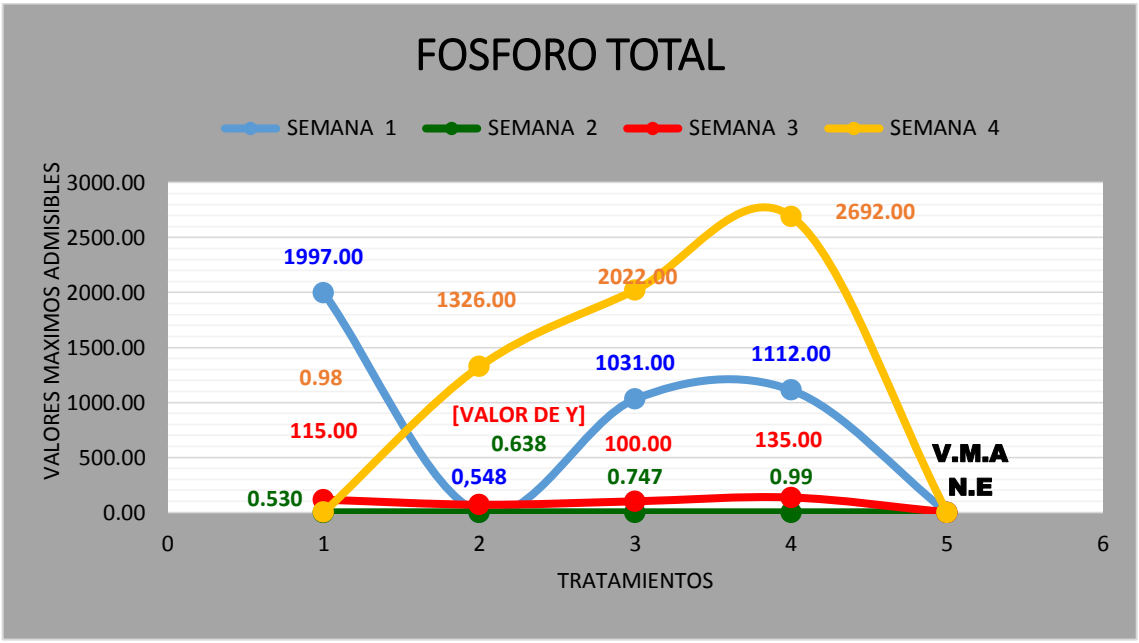


Figura 25. Resultado de fosforo total realizados en las muestreos de la microalga *Scenedesmus sp*., cultivada en las aguas residuales de la UNU.

La concentración de fosforo se ha eliminado en casi todos los cultivos con más del 60% de eficiencia, indicándonos que las especies de microalgas han absorbido el fósforo del agua residual para su crecimiento. El experimento que mayor eficiencia tiene es el que contenía la semana 2 con los valores del T1 control = 0.53, T2=0,638, T3=0,747, T4=0,993 y en la semana 4 del T1 control = 0.98. Y el de menor eficiencia tuvo en el tratamiento 4= 2692.00 de la semana 4 como se muestra en la figura 25.

Rawat, I., Ranjith Kumar, R., Mutanda, T., & Bux, F. (2011) confirman que el fósforo total es un nutriente necesario para el adecuado funcionamiento de los procesos biológicos además por lo generales el nutriente limitante en el proceso de eutrofización de tal manera que su remoción de las aguas

residuales es importante es por ello que es uno de los objetivos del presente trabajo.

Coincido con ellos ya que en la figura 25, se presenta las concentraciones de fósforo total en el influente durante la realización del experimento fueron superiores a las concentraciones típicas de un agua residual municipal con un promedio mayor en el influente de 2692.00 mg/L en la cuarta semana del tratamiento 4 y un promedio menor 0,530 semana 2 tratamiento 1.

Mugg J., & Rice M. (2010) afirman que el fósforo en aguas residuales se encuentra principalmente como fosfatos y en formas orgánicas, la contaminación de agua por este elemento tiene su fuente principal en el uso de productos de limpieza con compuestos fosforados como principios activos. El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser un nutrimento limitante de la productividad primaria, en concentraciones elevadas por la incorporación de aguas residuales o tratadas, estimula el crecimiento acelerado de macro y microorganismos, provocando eutrofización.

Otro componente del agua residual importante para los microorganismos es el fósforo. El fósforo, como el nitrógeno, es un elemento esencial para el crecimiento biológico. En el agua residual el fósforo se encuentra en 3 formas: ortofosfatos solubles, polifosfatos inorgánicos y fosfatos orgánicos.

El ortofosfato es la forma más fácilmente asimilable por los microorganismos y se utiliza como un parámetro de control en los procesos biológicos de eliminación de fósforo (Olguin, E.J., Galicia, S., Angulo-Guerrero, O., Hernández, E. 2010).

Los operadores de una planta de tratamiento miden, a menudo, el fósforo total del influente y efluente de la planta. El fósforo total es la suma de los compuestos de las tres formas de fósforo. Las aguas residuales domésticas tienen una concentración de fósforo total de aproximadamente 5-15 mg/l. Es importante reseñar que la descarga tanto de fósforo como de nitrógeno debe ser controlada porque puede provocar un crecimiento excesivo de algas en las aguas receptoras.

La eliminación del fósforo de las aguas residuales implica la incorporación de fosfatos en los SST y la consecuente eliminación de estos sólidos. El fósforo puede incorporarse en sólidos biológicos (por ejemplo microorganismos) o en precipitados químicos (Cléber, F. E., M. Sant'Anna, G. L. Villela, and O. Barcelos 2013).

4.12 Comportamiento de Nitratos mg/l

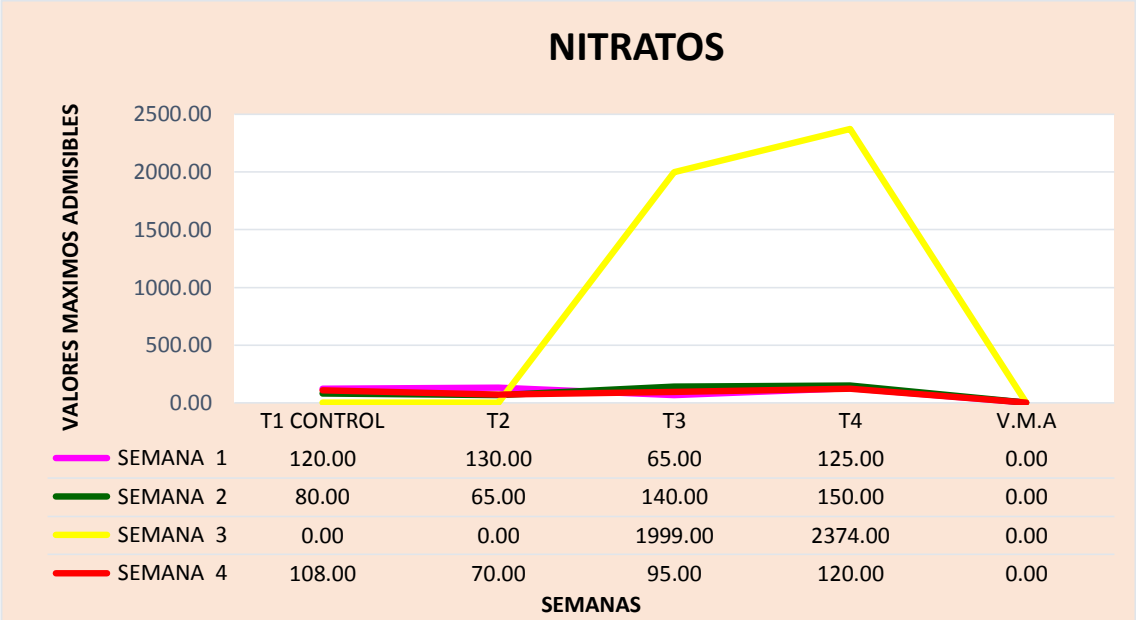


Figura 26. Resultado de Nitratos realizados en las muestreos de la microalga *Scenedesmus* sp., cultivada en las aguas residuales de la UNU.

En la evaluación a los de porcentaje remoción para los nutrientes analizados, muestra que nitrato se ha eliminado en casi todos los cultivos con más del 80% de eficiencia, indicándonos que la microalga ha absorbido el Nitrato del agua residual para su crecimiento.

El experimento que mayor eficiencia tiene es el que contenía la semana 2 con los valores del T1 control = 80.00, T2=65.00, T3=140.00, T4=150.00 y en la semana 3 del T1 control = 0.98. Y el de menor eficiencia tuvo en el tratamiento 4= 2022.00 de la semana 2 durante los 28 días, Como se muestra en la figura 26.

Otro porcentaje de remoción de Nitratos eficiente obtenido fue de 0.00 en el T1control de la semana 3 durante el proceso, la cual un valor satisfactorio, el cual indica el aprovechamiento de este compuesto necesario para la demanda energética por parte del inóculo microalgal y la producción de

biomasa, depurando las aguas residuales de este nutriente (Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., & Hassell, D. G. 2011) Este resultado coinciden a los obtenidos por (Travieso 2012) quien logró en estudios anteriores la eliminación entre 600-1000 mg/l de nitrógeno de vinazas pre tratadas anaeróbicamente y cultivada en un fotobioreactor continuo con un ciclo de luz/oscuridad de 12/12, sin embargo para el caso hay que aclarar que la vinaza utilizada en este estudio no tuvo ningún tipo de pre tratamiento.

El nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas cuando se encuentra en elevadas concentraciones (Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. & Eaton, A. D. 2010).

Coincido con los autores ya que el nitrógeno es un elemento importante en las aguas residuales ya que es necesario para el crecimiento de los microorganismos, si el agua residual no contiene suficiente nitrógeno pueden ocurrir problemas por deficiencia de nutrientes durante el tratamiento secundario. En las aguas residuales el nitrógeno se encuentra en 4 formas básicas: nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato si las aguas residuales son frescas, el nitrógeno se encuentra en forma de urea y compuestos proteínicos, pasando posteriormente a forma amoniacal por descomposición bacteriana.

4.13 Crecimiento poblacional

En el presente trabajo de investigación se obtuvo mejores resultados en el tratamiento 4 y se observó un crecimiento excesivo de algas en las aguas residuales causado por una disminución del oxígeno disuelto como se observa en la figura 27.

Se observó que hasta el día 17 semana 3, las curvas de crecimiento de los tratamientos se asemejaron con la etapa de crecimiento estacionario y desde este día hasta el día 28, se asociaron con la fase de muerte. Esto es debido a las fuertes lluvias y a la falta de electricidad que se originaron en aquel tiempo; también se atribuye a la gran proliferación de microorganismos (Montaigne, 2012) en los tratamientos debido a la falta de oxígeno de los tratamientos y al declinamiento de la disponibilidad de nutrientes, ya que no tenían aireación constante como se muestra en la figura 27. Y se observó una invasión de otra microalga que fue *Chlorella sp.,* y rotíferos que a medida que iban pasando los días se fueron desaparecieron, como se muestran en el Anexo 11.

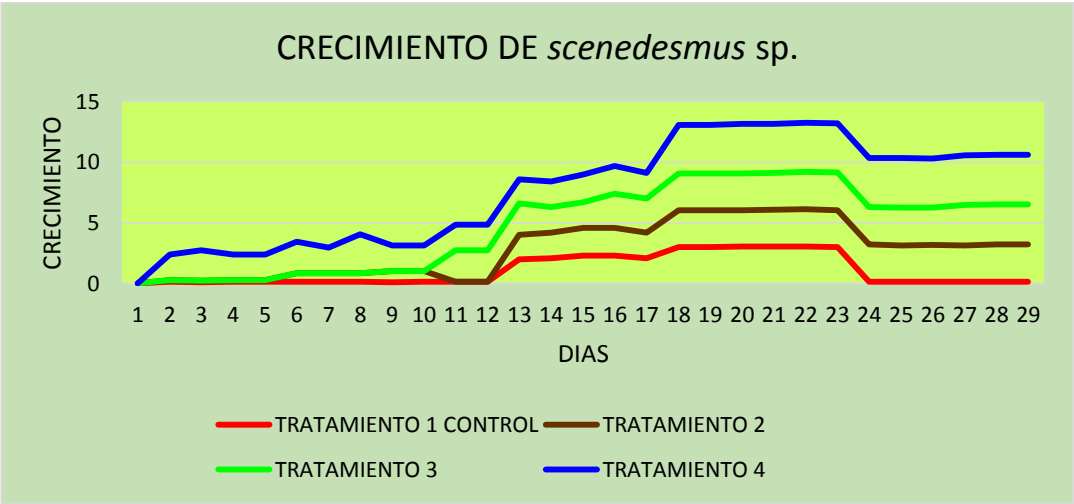


Figura 27. Crecimiento poblacional de *Scenedesmus* sp.

4.14. Tiempo y Eficiencia

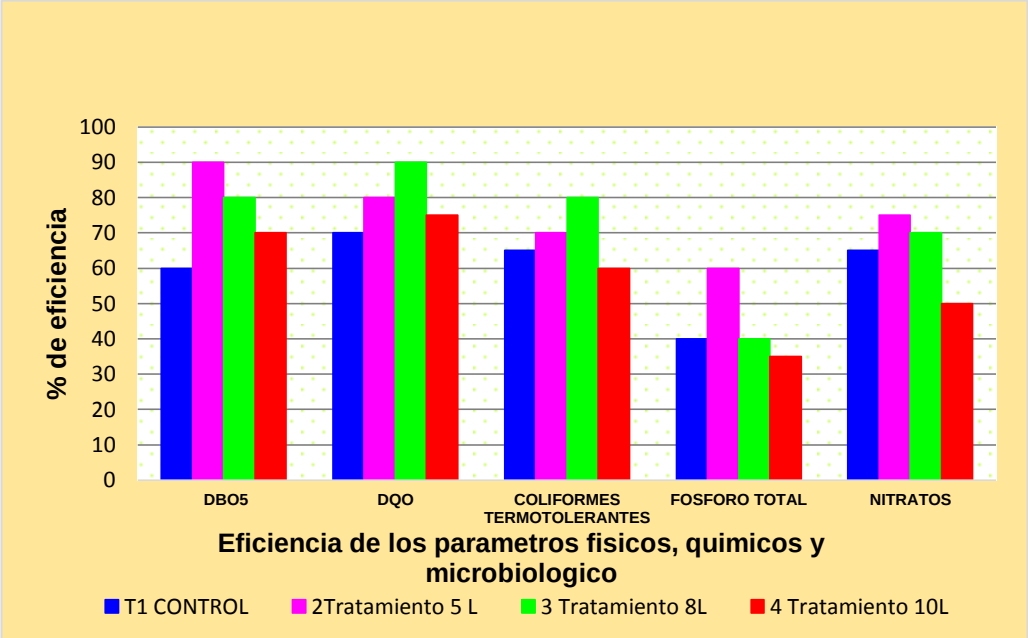


Figura 28. Eficiencia de los tratamientos con el agua residual de la UNU

En las Figuras 28, se muestran los porcentajes de eficiencias obtenidas durante el tiempo de la aplicación del estudio, con los parámetros físicos químicos y biológicos estudiados en cada tratamiento.

DBO tuvo 90% de eficiencia obteniendo mejores resultados en los tratamientos 2 y 3; DQO tuvo 90% de eficiencia obteniendo mejores resultados en los tratamientos 2 y 3; Coliformes termotolerantes tuvo 80% de eficiencia obteniendo mejores resultados en los tratamiento 2 y 3; Fosforo total tuvo 60% de eficiencia obteniendo mejores resultados en el tratamiento 2; Nitratos tuvo 75% de eficiencia alcanzados en los tratamientos 2 y 3. La baja eficiencia en remoción se dio en el fosforo total que tuvo un 60% debido a la eutrofización del tratamiento 4, Castillo, V. H. (2014) y la mejor eficiencia lo tuvieron DBO Y DQO lo quiere decir que hubo mayor oxidación de la materia orgánica en los tratamientos 1, 2 y 3.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se determinó que la dosis adecuada con la microalga fue de 5 litros del tratamiento T2 para la mejor ficorremediación de las aguas residuales de la Universidad Nacional de Ucayali.
- Se determinó que la microalga *Scenedesmus sp*., cultivada en el agua residual mejoro su calidad a partir de la tercera semana y se observó con mayor resultado en los tratamiento T1 de 0 litros, T2 de 5 litros, T3 de 8 litros, mientras que en el tratamiento T4 de 10 litros se observó mayor proliferación de la microalga y una coloración verdosa, durante los 28 días estudiados a escala laboratorio.
- Se analizó que la ficorremediación de los tratamientos estudiados con *Scenedesmus sp.,* en el agua residual de la Universidad Nacional de Ucayali tuvo una eficiencia de 70%.
- Los resultados de los parámetros físicos (color, temperatura), químicos (pH, DQO, DBO5, coliformes, nitratos y fosforo total) y microbiológico (coliformes termotolerantes), el que tuvo mayor valor en la cuarta semana fue el fosforo total en el tratamiento T4 con un valor de 2692.00 mg/l debido que hubo mayor dosis de la microalga *Scenedesmus* sp., lo que quiere decir que hubo menos oxígeno y mayor eutrofización.

5.2. RECOMENDACIONES

- Durante la masificación de las cepas no sobrepasar de una temperatura 30ºc si no se mueren las microalgas.

- Aplicar las dosis adecuadas del medio nutritivo en la realización del sembrado para el óptimo crecimiento de la microalga.

- En futuros estudio se debería emplear en estanques grandes con mayores dosis de microalga para analizar sus resultados.

- En cuanto al fósforo total este sobrepasa los Valores Máximos Admisibles (VAN) se recomienda utilizar esta agua tratada para sistema natural en riego de parques y jardines.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abhay B. Fulke, S.N.M., & Ajam Shekh, N.(2010) Bio-mitigation of CO2, calcite formation and simultaneous biodiesel precursors production using *Chlorella sp*. Bioresource Technology 101 p. 8473-8476, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, & Water Environment Federation. (Vol. 2). American Public Health Association.
- An, J. Y., Sim, S. J., Lee, J. S., & Kim, B. W. (2013). Hydrocarbon production from secondarily treated piggery wastewater by the green alga Botryococcusbraunii.*JournalofApplied Phycology*, *15*(2-3), 185-191.
- Brennan, L., & Owende, P. (2010). Biofuels from microalgae-a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products.RenewableandSustainable*. Energy Rev.* 14(2), 557-577.
- Carey, R. O., & Migliaccio, K. W. (2013). Contribution of wastewater treatment plant effluents to nutrient dynamics in aquatic systems: a review. Environmental Management, *44* (2), 205-217. 27
- Castillo, V. H. (2014). Propuesta para poner en funcionamiento la planta de tratamiento de la fábrica nacional de licores. Ministerio de Industria, Energía y Minas de San José de Costa Rica. *1*(1), 1-2.
- Chacón C. Andrade C. Cardenas C.(2012) Uso de *Chorella vulgaris y Scenedesmus sp*. En la remoción de Nitrógeno, Fósforo y DQO de aguas residuales urbanas de Maracaibo, Venezuela. Centro de Investigación del

Agua (CIA), Facultad de Ingeniería, Universidad de Zulia – Maracaibo, Estado de Zulia. Boletín del centrode investigaciones biológicas 38(2): 94-98

- Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., & Hassell, D. G. (2011). A review on anaerobic– aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *ChemicalEngineeringJournal*, *155*(1), 1-18.
- Cléber, F. E., M. Sant'Anna, G. L. Villela, and O. Barcelos (2013). Lipids, fatty acid composition and carotenoids of Chlorella vulgaris cultivated in hydroponic wastewater. Grasas y aceites 57 (3):270-274.
- Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. & Eaton, A. D. (2010). Standard methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association. *Water Sci. Technol*. 42(10): 357–362.
- De-Bashan L.E. Bashan, Y. (2014). Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizer (2007–2013). *Water Research*, 38(19), 4222– 4246. 28
- Doucha, J., & Lívanský, K. (2010). Productivity, CO2/O2 exchange and hydraulics in outdoor open high density microalgal (Chlorella sp.) photobioreactors operated in a Middle and Southern European climate. Journal of Applied Phycology, 18(6), 811-826.
- García, J., Mujeriego, R., Hernadez-Martinez, M. (2012). High rate algal pond operating strategies for urban wastewater nitrogen. *Journal of Applied Phycol*ogy,12: 331–339.
- Hernandez, D., Riaño, B., Coca, M., Solana, M., Bertucco, A., Garcia – Gonzalez, M. (2015). Microalgae cultivation in high rate algal ponds using

slaughterhouse wastewater for biofuel applications. *Chemical Engineering Journal.* 285 (2016), 449 – 458.

- Lau, P.S., Tam, N.F.Y., & Wong, Y.S. (2010). Wastewater Nutrients (N and P) Removal by Carrageenan and Alginate Immobilized *Chlorella Vulgaris. Environ Technol.* 18(9): 945-951
- Liu, J., Huang, J., Jiang, Y., & Chen, F. (2012). Molasses-based growth and production of oil and astaxanthin by Chlorella zofingiensis. Bioresource technology, 107, 393-398.
- Menendez Gutierrez y Jesús M. Pérez Olmo (2014) Ciudad de La Habana: Editorial Félix Varera - Editorial Universitaria, 2014. ISBN 978-959-16-0619-8 (versión electrónica), 978-959-16-07-0339-3 (versión impresa), - 300 p.
- Montaigne, F., Essick, P., (2012). Water Pressure. *Natl. Geog.* 202:2–33.
- Mora R., Ortiz N. & Yngrytd C.,Bermudez J.,Avendaño (2012) Efecto del Nitrato, Irradancia y Salinidad sobre la producción de clorofila a de microalgas cultivadas y aisladas en la región noroccidental de Venezuela. Revista Oceanides, 17(2): 73-83.
- Mora R., Ortiz N., Moronta R., Ortega J & Morales E. (2013) Crecimiento y producción de pigmentos de la microalga nativa Chlorella sp. Asilada de la represa de Tulé, Municipio Mara, Estado de Zulia, Venezuela. Laboratorio de Bioquímica y Microorganismos Fotosintéticos. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Zulia. Maracaibo Venezuela. Revista ciencia. 2(12): 1-9

- Mugg J., & Rice M. (2010). The impacts of aquacultured oysters, Crassostrea virginica (Gmelin, 1791) on water column nitrogen and sedimentation: results of a mesocosm study. Aquaculture 220, 407-422.
- Olguin, E.J. (2013). Phycoremediation: Key issues for cost-effective nutrient removal processes*. Biotechnology Advances*, 22(1-2), 81–91. 29
- Olguin, E.J., Galicia, S., Angulo-Guerrero, O., Hernández, E. (2010). The effect of low light flux and nitrogen deficiency on the chemical composition of Spirulina sp (Arthrospira) grown on digested pig waste. Bioresource Technology, 77(1), 19–24.
- Pathak, H., Joshi, H. C., & Dwiwedi,M.K. (2010). Soil amendment with distillery effluent for wheat and ricecultivation.Water,air, and soil pollution, 113(1-*4), 133-140.*
- Rawat, I., Ranjith Kumar, R., Mutanda, T., & Bux, F. (2011). Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. *Applied Energy*, *88*(10), 3411-3424.
- Satyawali, Y., Balakrishnan, M. (2010) “Wastewater treatment in molasses-based alcoholdistilleries for COD and color removal: A review”. JournalofEnvironmentalManagement, 83(3), 481-497.
- Selvam, G. G., Baskaran, R., & Mohan, P. M. (2011). Microbial diversity and bioremediation of distilleries effluent. *Journal of Research in Biology*, 1(*3)*, 153-162.
- Singh, N.K., & Patel, D.B. (2012). Microalgae for Bioremediation of Distillery Effluent.*Farming for Food and Water Security,* 30

- Travieso, L., Benítez, F., Sánchez, E., Borja, R., León, M., Raposo, F., & Rincón, B. (2013). Assessment of a microalgae pond for post-treatment of the effluent from an anaerobic fixed bed reactor treating distillery wastewater. *Environ Technol*. 29(9):985- 992.
- Travieso, L., Benítez, F., Sánchez, E., Borja, R., León. M., Raposo F., Rincón B. (2012). Performance of a Laboratory-scale Microalgae Pond for Secondary Treatment of Distillery Wastewaters. *Chem. Biochem. Eng*, 22(4), 467–473.
- Travieso. L., Benitez. F., Dupeyrón. R. (2011). Algae growth Potential measurement in distillery wastes. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 62(4), 483-489.
- Trepanier, C., Parent, S., Comeau, Y., Bouvrette, J. (2012). Phosphorus budget as a water quality management tool for closed aquatic mesocosms. *Water Research*, 36(4), 1007– 1017.
- Valderrama, L.T., Del-Campo, C.M., Rodríguez, C.M., De-Bashan, L.E., & Bashan, Y. (2013). Treatment of recalcitrant wastewater from ethanol and citric acid production using the microalga *Chlorella vulgaris* and the macrophyte *Lemna minuscule. Water Research*, 36(17), 4185–4192.
- Vijaykumar, S., Thajuddin, N., & Manoharan, C. (2015). Role of cyanobacteria in the treatment of dye industry effluent. *Pollution Research*, *24*(1), 69.

ANEXOS

ANEXO 1

Iconografías: Lugar de Extracción del Agua Residual



ANEXO 2

Iconografías**:** Preparación y masificación del Inóculo



Fotografía 1. Desdoble de la cepa en matraces

Fotografía 2. Desdoble en botellas de un 1 L





Fotografía 3. Cultivo de *Scenedesmus sp*., elevado en baldes de 18 L.

ANEXO 3
Iconografías**:** Medios de Cultivo



ANEXO 4
Iconografías: Preparación del medio de cultivo Heusslermerino y (HM)



ANEXO 5
Iconografías: Sistema de cultivo



Fotografía 1. Cernido el agua residual en una malla verde micrométrica.

Fotografía 2. Residuos sólidos del cernido del agua residual





Fotografía 3. Agua residual expuesta a los rayos ultravioletas

ANEXO 6

Iconografías: Simulación de un ambiente natural y aireación en cada bandeja



ANEXO 7

Iconografías: Conteo de las muestras en la cámara Neubauer





Fotografía 1. Sacando las muestras de cada tratamiento con la pipeta.

Fotografía 2. Conteo de las muestras obtenidas en la cámara Neubauer.

ANEXO 8

Iconografías: Evaluación del monitoreo físico del pH



ANEXO 9

Iconografías: Biomasa de la microalga



ANEXO 10

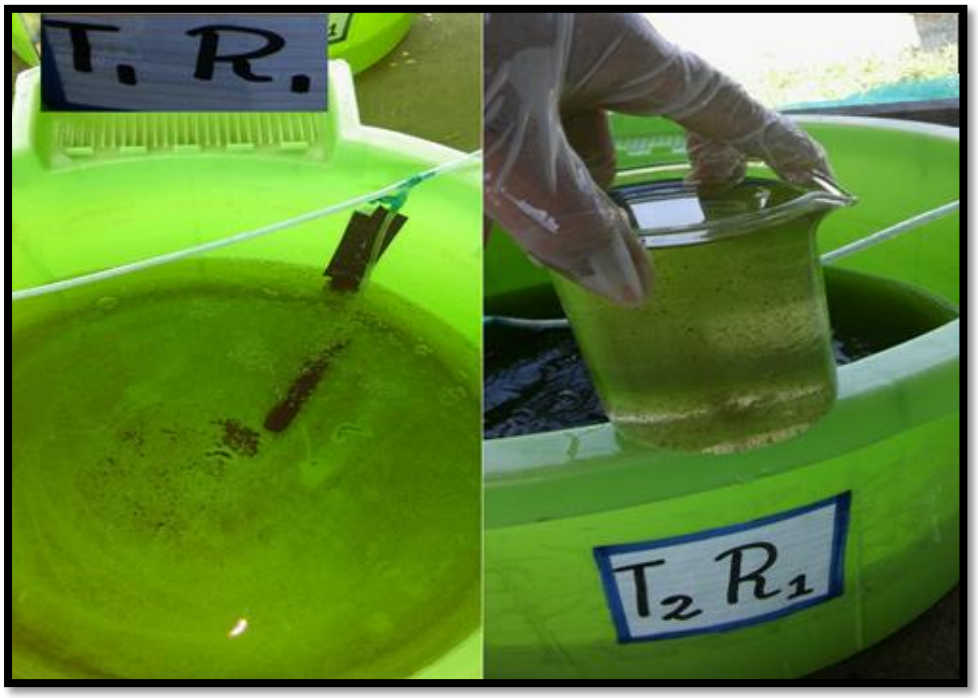
Iconografías: Resultados obtenidos del Color



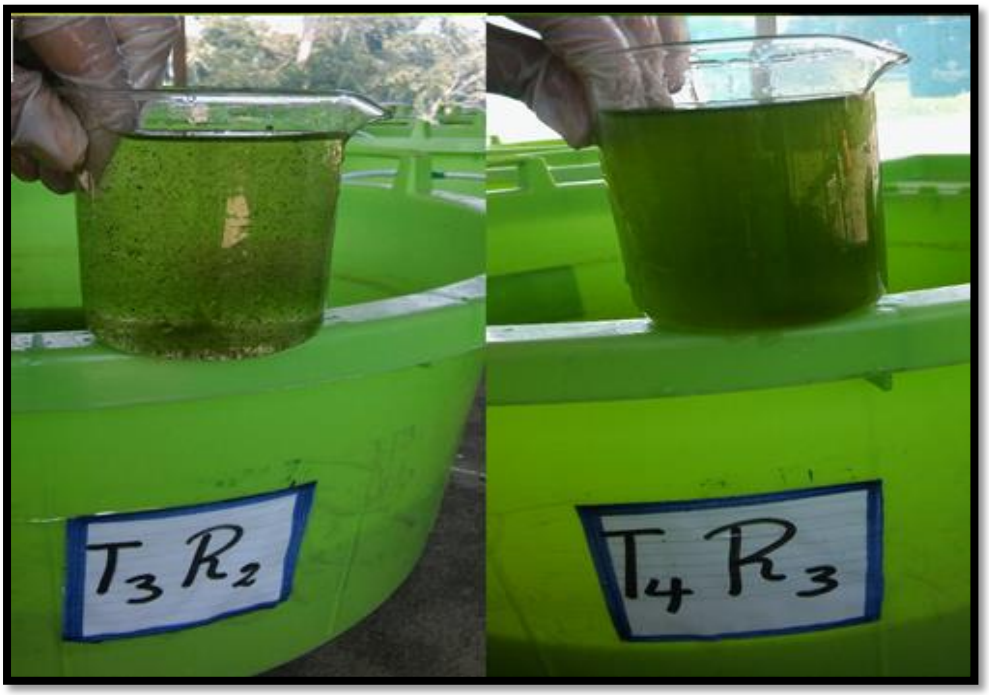
Fotografía 1: agua residual sin microalga



Fotografía 2: Resultados obtenidos en la segunda semana



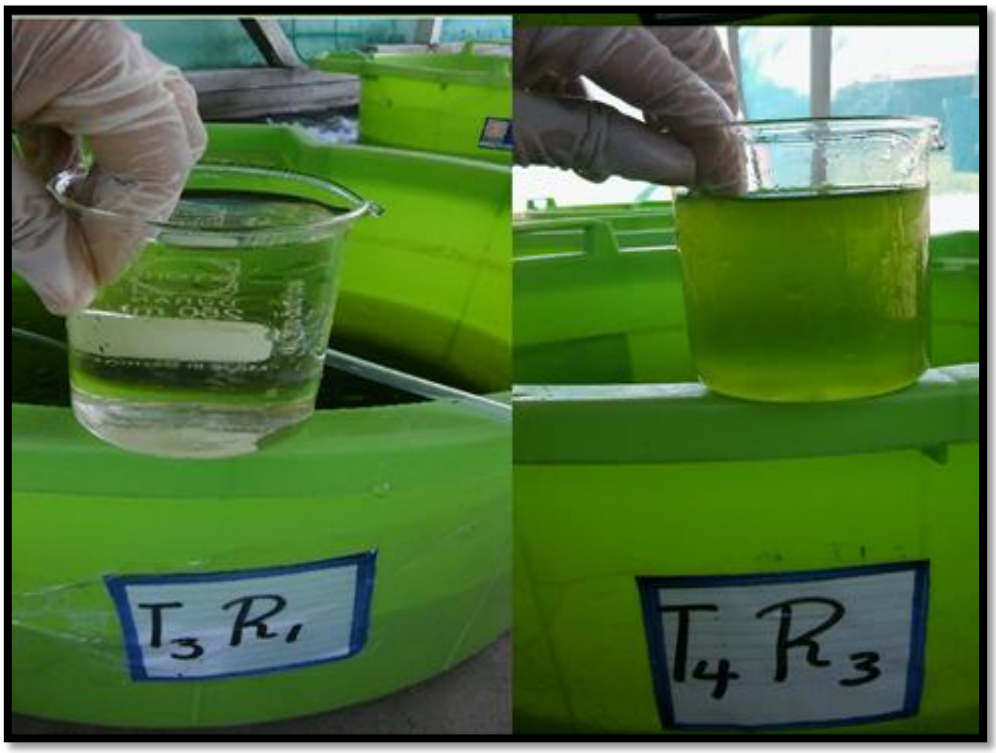
Fotografía 3: Resultados obtenidos en la segunda semana del tratamiento 1 y tratamiento 2



Fotografía 4: Resultados obtenidos en la segunda semana color del tratamiento 3 y tratamiento 4



Fotografía 5: Resultados obtenidos en la tercera semana, el color del tratamiento 1 y tratamiento 2 se muestra más claro



Fotografía 6: Resultados obtenidos en la tercera semana, la coloración del tratamiento 3 se observa menos turbia y la coloración tratamiento 4 es más verdosa.



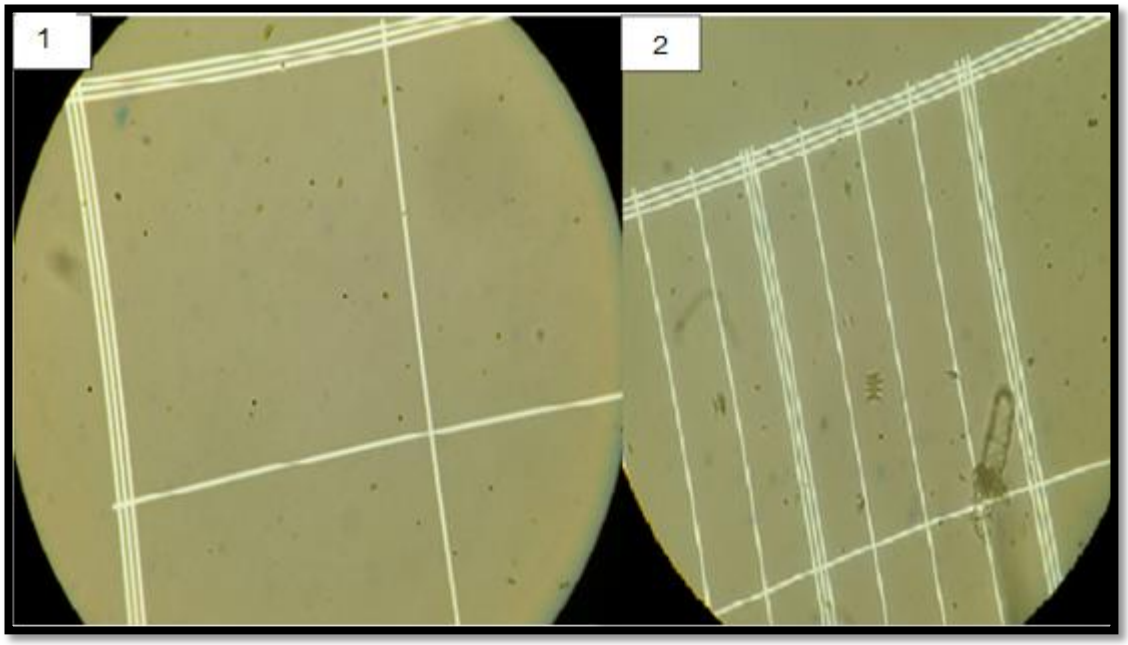
Fotografía 7: Resultados obtenidos en la cuarta semana y resultado final del tratamiento 1 y tratamiento 2 se muestra una coloración más claro y poca cantidad de residuos.



Fotografía 8: Resultados obtenidos en la cuarta semana, la coloración del tratamiento 3 se observa menos turbia y la coloración tratamiento 4 bajo su coloración verdosa.

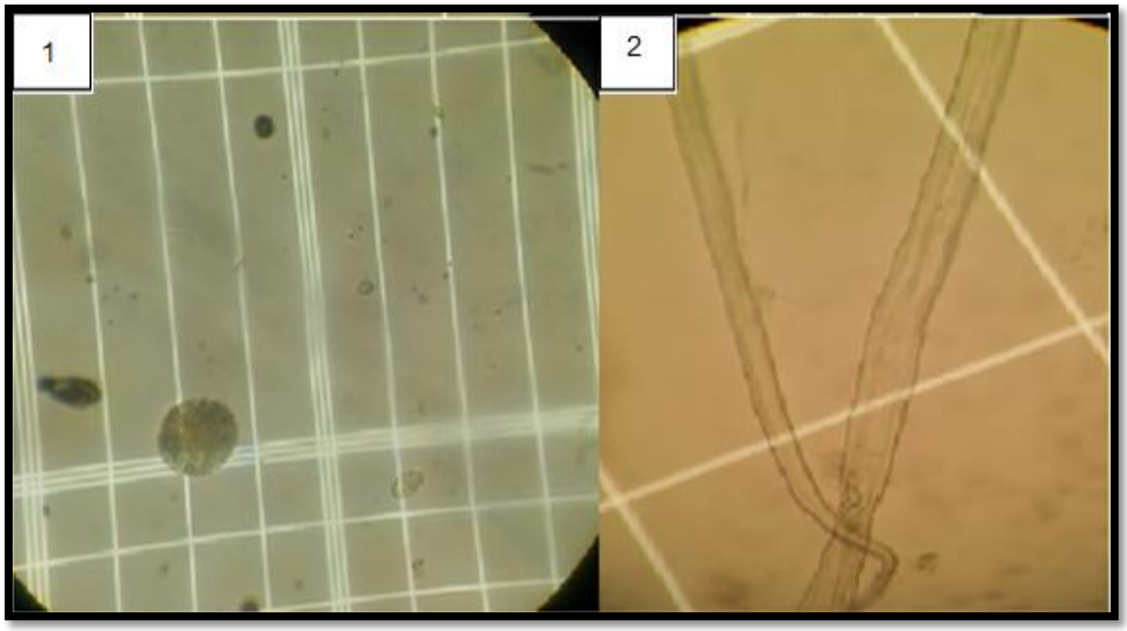
ANEXO 11

Iconografías: Invasión de otra microalga que fue *Chlorella sp.,* y rotíferos



Fotografía 1: Invasión de *chlorella* sp., en el agua residual,

Fotografía 2: Rotifera clase: B delliodeos



Fotografía 1: Huevo de helmintos

Fotografía 2: Rotifera clase: Bdelliodeos

ANEXO 12

Conteo de la cámara Neubauer

CONTEO *DE* ***SCENEDESMUS SP.***

1	5	3	2	I	1	5	3	2	I	1	3	4	2	I
2	3	1	5	**T1R1**	2	2	1	4	**T1R2**	2	3	1	4	**T1R3**
2	1	1	2		1	0	0	2		2	1	1	2	
2	1	1	1		2	2	1	3		0	1	1	1	
4	1	4	10	II	2	1	4	10	II	4	1	4	10	II
2	1	6	5	**T2R1**	2	1	6	5		2	1	6	5	**T2R3**
5	2	8	6		4	2	6	6	**T2R2**	5	2	8	6	
6	3	13	8		4	2	10	6		6	3	13	8	
4	1	1	7	III	4	1	1	7	III	4	1	1	7	III
1	1	2	1		1	1	2	1		1	1	2	1	
1	6	8	2	**T3R1**	1	6	8	2	**T3R2**	1	6	8	2	**T3R3**
3	7	7	1		3	7	7	1		3	7	7	1	
6	2	9	1	IV	6	2	9	1	IV	6	2	9	1	IV
5	1	6	6		5	1	6	6		5	1	6	6	
2	3	2	7	**T4R1**	2	3	2	7	**T4R2**	2	3	2	7	**T4R3**
2	1	1	1		2	1	1	1		2	1	1	1	
INVASION DE CHLORELLA														
1	4	10	17	I	1	4	10	17	I	1	4	10	17	I
9	9	13	6	**T1R1**	9	9	13	6	**T1R2**	9	9	13	6	**T1R3**
10	7	11	11		10	7	11	11		10	7	11	11	
8	10	2	4		8	10	2	4		8	10	2	4	
7	10	6	10	II	7	10	6	10	II	7	10	6	10	II
6	5	5	8	**T2R1**	6	5	5	8	**T2R2**	6	5	5	8	**T2R3**
10	6	7	9		10	6	7	9		10	6	7	9	
4	6	3	7		4	6	3	7		4	6	3	7	
6	13	8	6	III	6	13	8	6	III	6	13	8	6	III
7	6	9	7		7	6	9	7		7	6	9	7	
8	5	9	10	**T3R1**	8	5	9	10	**T3R2**	8	5	9	10	**T3R3**
15	8	4	7		15	8	4	7		15	8	4	7	
5	7	14	5	IV	5	7	14	5	IV	5	7	14	5	IV
7	8	8	8		7	8	8	8		7	8	8	8	
11	13	8	9	**T4R1**	11	13	8	9	**T4R2**	11	13	8	9	**T4R3**
8	10	11	8		8	10	11	8		8	10	11	8	

$$\text{Densidad} = \frac{\text{total celulas contadas x } 1000}{\text{numeros de cuadrados}}$$

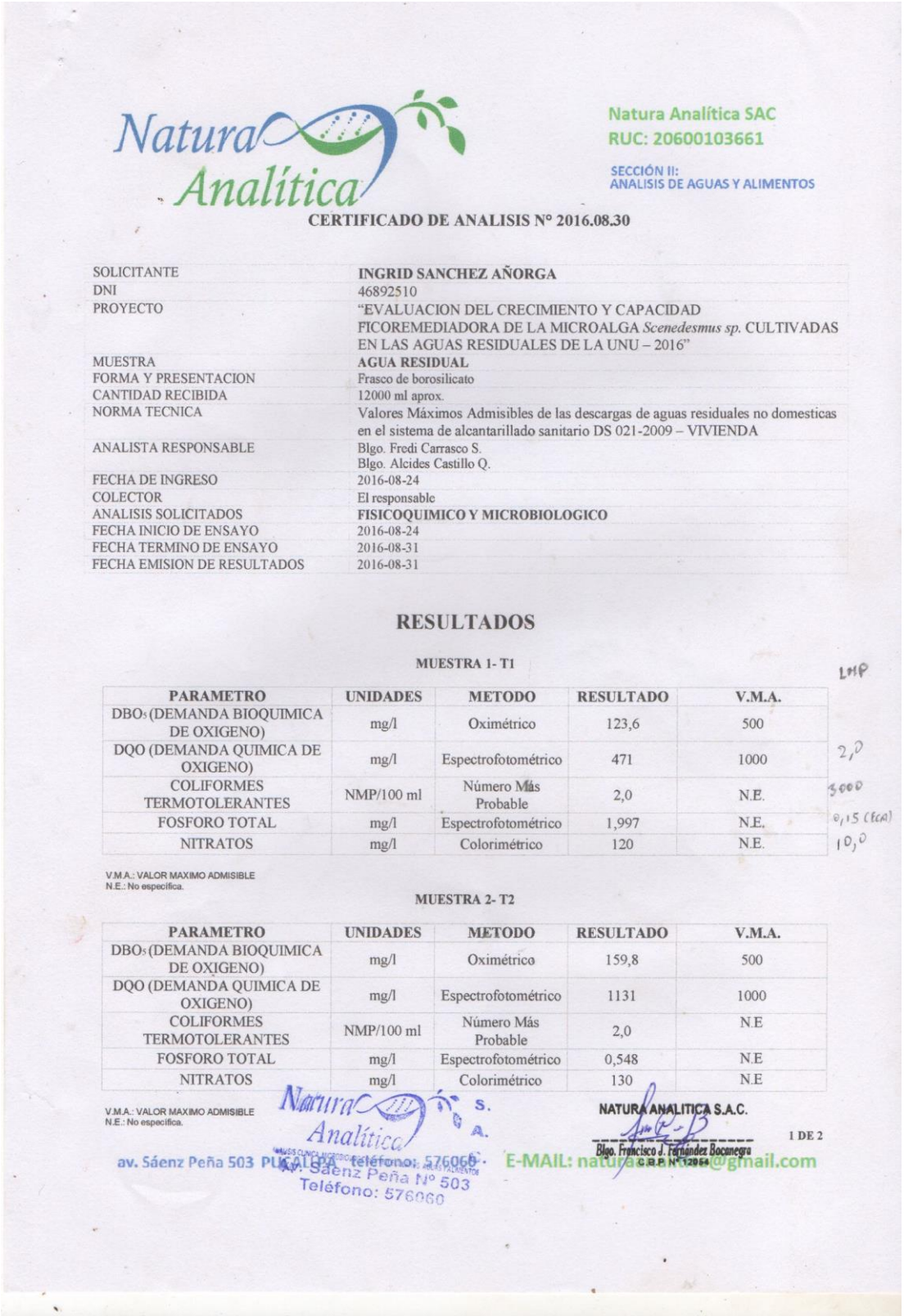
ANEXO 13

Registro del **pH**

DIAS	1TRATAMIENTO CONTROL	2 TRATAMIENTO 5L cultivo	3 TRATAMIENTO 8 L cultivo	4TRATAMIENTO 10 L cultivo
1	8.33	8.67	8.00	8.00
	7.82	8.26	8.09	8.02
2	7.87	8.32	7.99	7.86
	8.26	8.26	8.09	8.02
3	8.27	8.36	8.11	7.97
	8.49	8.59	8.48	8.48
4	8.57	8.65	8.48	8.54
	8.53	8.85	8.50	8.41
5	8.65	8.61	8.75	8.60
	8.36	8.52	8.01	7.93
6	8.10	8.41	8.02	8.19
	8.08	7.96	7.16	7.29
7	8.20	8.20	7.62	7.92
	8.21	8.49	7.95	7.92
8	8.15	8.10	7.54	7.85
	8.19	8.41	7.98	7.90
9	7.69	7.62	7.07	6.66
	8.16	7.86	7.44	6.85
10	8.17	8.18	7.69	7.09
	8.20	7.85	7.48	6.84
11	8.25	7.92	7.44	6.76
	8.05	7.77	7.74	6.56
12	7.86	7.74	7.24	6.46
	8.13	7.83	7.26	6.46
13	7.79	7.74	7.10	6.46
	8.26	7.91	7.73	6.68
14	8.58	8.25	7.71	6.91
	8.72	8.10	7.56	6.78
15	8.26	7.91	7.36	6.68
	8.06	7.80	7.20	6.57
16	8.14	7.96	7.89	6.76
	7.98	7.63	7.16	6.55
17	8.16	7.89	7.30	6.88
	8.36	8.08	7.30	6.78
18	8.15	7.90	7.08	7.24
	8.43	8.15	7.61	7.03

19	8.16	7.91	7.24	6.88
	8.43	8.11	7.30	6.78
20	8.14	7.96	7.42	7.03
	8.13	7.83	7.26	6.67
21	8.23	8.25	7.46	7.76
	8.24	8.11	7.41	7.09
22	8.03	7.85	7.18	6.91
	8.05	8.11	7.35	7.03
23	8.38	7.81	7.35	7.35
	8.24	7.86	7.48	7.39
24	8.41	8.01	7.57	7.54
	8.46	8.49	7.76	7.63
25	8.37	8.46	7.68	7.99
	8.52	8.49	7.74	7.80
26	8.08	7.85	7.59	7.28
	8.07	8.22	7.79	7.06
	8.10	8.11	7.41	7.09
27	8.24	8.11	7.41	7.09
	8.12	7.69	7.30	7.17
28	8.51	8.02	7.48	7.59

7.2 Resultados de los Análisis entregados por Natura



Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANALISIS Nº 2016.08.30

SOLICITANTE	**INGRID SANCHEZ AÑORGA**
DNI	46892510
PROYECTO	"EVALUACION DEL CRECIMIENTO Y CAPACIDAD FICOREMEDIADORA DE LA MICROALGA *Scenedesmus sp.* CULTIVADAS EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNU – 2016"
MUESTRA	**AGUA RESIDUAL**
FORMA Y PRESENTACION	Frasco de borosilicato
CANTIDAD RECIBIDA	12000 ml aprox.
NORMA TECNICA	Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario DS 021-2009 – VIVIENDA
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Fredi Carrasco S. Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2016-08-24
COLECTOR	El responsable
ANALISIS SOLICITADOS	**FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO**
FECHA INICIO DE ENSAYO	2016-08-24
FECHA TERMINO DE ENSAYO	2016-08-31
FECHA EMISION DE RESULTADOS	2016-08-31

RESULTADOS

MUESTRA 1- T1

LMP

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	V.M.A.	
DBO_5 (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Oximétrico	123,6	500	
DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Espectrofotométrico	471	1000	2,0
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	Número Más Probable	2,0	N.E.	3.000
FOSFORO TOTAL	mg/l	Espectrofotométrico	1,997	N.E.	0,15 (eca)
NITRATOS	mg/l	Colorimétrico	120	N.E.	10,0

V.M.A.: VALOR MAXIMO ADMISIBLE
N.E.: No especifica.

MUESTRA 2- T2

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	V.M.A.
DBO_5 (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Oximétrico	159,8	500
DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Espectrofotométrico	1131	1000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	Número Más Probable	2,0	N.E
FOSFORO TOTAL	mg/l	Espectrofotométrico	0,548	N.E
NITRATOS	mg/l	Colorimétrico	130	N.E

V.M.A.: VALOR MAXIMO ADMISIBLE
N.E.: No especifica.

NATURA ANALITICA S.A.C.
Blgo. Francisco J. Fernández Bocanegra
C.B.P. N° 12064

1 DE 2

Natura Analítica S.A.C.
av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA Teléfono: 576060
E-MAIL: natura...@gmail.com
Av. Sáenz Peña Nº 503
Teléfono: 576060

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

MUESTRA 3- T3

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	V.M.A.
DBO_5 (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Oximétrico	167,5	500
DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Espectrofotométrico	554	1000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	Número Más Probable	2,0	N.E.
FOSFORO TOTAL	mg/l	Espectrofotométrico	1,031	N.E
NITRATOS	mg/l	Colorimétrico	65	N.E

V.M.A.: VALOR MAXIMO ADMISIBLE
N.E.: No especifica.

MUESTRA 4- T4

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	V.M.A.
DBO_5 (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Oximétrico	2778	500
DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Espectrofotométrico	726	1000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	Número Más Probable	2,0	N.E.
FOSFORO TOTAL	mg/l	Espectrofotométrico	1,112	N.E
NITRATOS	mg/l	Colorimétrico	125	N.E

V.M.A.: VALOR MAXIMO ADMISIBLE
N.E.: No especifica.

Natura Analítica S.A.C.
Av. Sáenz Peña Nº 503
Teléfono: 576060

NATURA ANALITICA S.A.C.
Blgo. Francisco J. Fernández Bocanegra
C.B.P. N° 12054

av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060 E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com

Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661
SECCIÓN II.
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANALISIS Nº 2016.09.02

SOLICITANTE	**IIAP**
RUC	20171781648
PROYECTO	"EVALUACION DEL CRECIMIENTO Y CAPACIDAD FICOREMEDIADORA DE LA MICROALGA *Scenedesmus sp.* CULTIVADAS EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNU – 2016"
MUESTRA	**AGUA RESIDUAL**
FORMA Y PRESENTACION	Frasco de borosilicato
CANTIDAD RECIBIDA	12000 ml aprox.
NORMA TECNICA	Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario DS 021-2009 – VIVIENDA
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Fredi Carrasco S. Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2016-09-01
COLECTOR	El responsable
ANALISIS SOLICITADOS	**FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO**
FECHA INICIO DE ENSAYO	2016-09-01
FECHA TERMINO DE ENSAYO	2016-09-07
FECHA EMISION DE RESULTADOS	2016-09-07

RESULTADOS

MUESTRA 1- T1

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	V.M.A.
DBO_5 (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Oximétrico	304,2	500
DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Espectrofotométrico	347	1000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	Número Más Probable	<1,8	N.E.
FOSFORO TOTAL	mg/l	Espectrofotométrico	115	N.E.
NITRATOS	mg/l	Colorimétrico	0,003	N.E.

V.M.A.: VALOR MAXIMO ADMISIBLE
N.E.: No especifica.

MUESTRA 2- T2

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	V.M.A.
DBO_5 (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Oximétrico	420,8	500
DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Espectrofotométrico	322	1000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	Número Más Probable	2,0	N.E.
FOSFORO TOTAL	mg/l	Espectrofotométrico	69	N.E.
NITRATOS	mg/l	Colorimétrico	0,401	N.E.

V.M.A.: VALOR MAXIMO ADMISIBLE
N.E.: No especifica.

av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060 E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661
SECCIÓN II.
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

MUESTRA 3- T3

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	V.M.A.
DBO_5 (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Oximétrico	136	500
DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Espectrofotométrico	542	1000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	Número Más Probable	17	N.E.
FOSFORO TOTAL	mg/l	Espectrofotométrico	2.692	N.E.
NITRATOS	mg/l	Colorimétrico	95	N.E.

V.M.A.: VALOR MAXIMO ADMISIBLE
N.E.: No especifica.

MUESTRA 4- T4

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	V.M.A.
DBO_5 (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Oximétrico	402,2	500
DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Espectrofotométrico	632	1000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	Número Más Probable	49	N.E.
FOSFORO TOTAL	mg/l	Espectrofotométrico	2,022	N.E.
NITRATOS	mg/l	Colorimétrico	120	N.E.

V.M.A.: VALOR MAXIMO ADMISIBLE
N.E.: No especifica.

av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060 E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com

Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661
SECCIÓN II.
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANALISIS N° 2016.09.02

SOLICITANTE	**IIAP**
RUC	20171781648
PROYECTO	"EVALUACION DEL CRECIMIENTO Y CAPACIDAD FICOREMEDIADORA DE LA MICROALGA *Scenedesmus sp.* CULTIVADAS EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNU – 2016"
MUESTRA	**AGUA RESIDUAL**
FORMA Y PRESENTACION	Frasco de borosilicato
CANTIDAD RECIBIDA	12000 ml aprox.
NORMA TECNICA	Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario DS 021-2009 – VIVIENDA
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Fredi Carrasco S. Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2016-09-01
COLECTOR	El responsable
ANALISIS SOLICITADOS	**FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO**
FECHA INICIO DE ENSAYO	2016-09-01
FECHA TERMINO DE ENSAYO	2016-09-07
FECHA EMISION DE RESULTADOS	2016-09-07

RESULTADOS

MUESTRA 1- T1

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	V.M.A.
DBO_5 (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Oximétrico	304,2	500
DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Espectrofotométrico	347	1000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	Número Más Probable	<1,8	N.E.
FOSFORO TOTAL	mg/l	Espectrofotométrico	115	N.E.
NITRATOS	mg/l	Colorimétrico	0,003	N.E.

V.M.A.: VALOR MAXIMO ADMISIBLE
N.E.: No especifica.

MUESTRA 2- T2

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	V.M.A.
DBO_5 (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Oximétrico	420,8	500
DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Espectrofotométrico	322	1000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	Número Más Probable	2,0	N.E.
FOSFORO TOTAL	mg/l	Espectrofotométrico	69	N.E.
NITRATOS	mg/l	Colorimétrico	0,401	N.E.

V.M.A.: VALOR MAXIMO ADMISIBLE
N.E.: No especifica.

av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teletono: 576060 E-MAIL: naturaanaiitica@gmaii.com

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661
SECCIÓN II.
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

MUESTRA 3- T3

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	V.M.A.
DBO_5 (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Oximétrico	223,3	500
DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Espectrofotométrico	327	1000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	Número Más Probable	33	N.E.
FOSFORO TOTAL	mg/l	Espectrofotométrico	100	N.E.
NITRATOS	mg/l	Colorimétrico	1,999	N.E.

V.M.A.: VALOR MAXIMO ADMISIBLE
N.E.: No especifica.

MUESTRA 4- T4

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	V.M.A.
DBO_5 (DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Oximétrico	333,2	500
DQO (DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO)	mg/l	Espectrofotométrico	792	1000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	Número Más Probable	13	N.E.
FOSFORO TOTAL	mg/l	Espectrofotométrico	135	N.E.
NITRATOS	mg/l	Colorimétrico	2,374	N.E.

V.M.A.: VALOR MAXIMO ADMISIBLE
N.E.: No especifica.

av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060 E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com