



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Biorremediación de aguas residuales domésticas aplicando la microalga
Scenedesmus sp.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

Rosita Milagros, Vargas Paz (ORCID: 0000-0002-9125-0835)

ASESOR:

Dr. John William, Cajan Alcántara (ORCID: 0000-0003-2509-9927)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

Chiclayo – Perú

2020

Dedicatoria

A DIOS

Por darme vida, salud y sabiduría a lo largo de la investigación de la Tesis.

A mis padres.

Que sin ellos no hubiera logrado una meta más en mi vida profesional. Madre, gracias por estar a mi lado en esta etapa de mi pregrado, tu apoyo moral y entusiasmo que me brindaste para seguir adelante en mis propósitos. Padre, por el tiempo compartiendo tus experiencias, conocimientos y consejos, por tu inmenso amor,

A mi hermana

Dedico de manera especial a mi hermana Susana pues ella fue el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentó en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación.

Milagros Vargas

Agradecimiento

Esta tesis, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte de la autora y su asesor de tesis, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que a continuación mencionaré, las cuales han sido un soporte muy importante en momentos de angustia.

Dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi compañía durante todo el periodo de estudio.

Agradecer hoy y siempre a mi familia que siempre han procurado mi bienestar; a mi papá, que con sus consejos y experiencia ha ayudado a que se cumplan uno a uno todos los objetivos; a mi mamá, por su apoyo y amor incondicional en cada una de las etapas de la investigación; y a mi querida hermana, agradecer su paciencia y cariño, porque en su compañía la soledad no existe.

Al Dr. John William Cajan Alcántara, por su dedicación y conocimientos brindados para el desarrollo de mi investigación. A mis buenos amigos y compañeros de clase Yudith, Yacky, Renzo y Andy, por las gratas aventuras y las lecciones aprendidas juntos, ya que sus conocimientos y debates brindaron una mejor retroalimentación y entendimiento en cada una de las asignaturas cursadas.

Milagros Vargas

Página del jurado

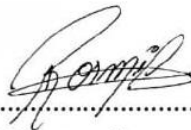
Declaratoria de autenticidad

Yo Rosita Milagros Vargas Paz, alumna de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura; y Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad César Vallejo filial Chiclayo, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis titulada "Biorremediación de aguas residuales domésticas aplicando la microalga *Scenedesmus sp.*", son:

1. De mi autoría.
2. La presente Tesis no ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
3. La Tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente.
4. Los resultados presentados en la presente Tesis son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 06 de septiembre del 2020



.....
Rosita Milagros Vargas Paz

DNI: 71197268

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Página del jurado	iv
Declaratoria de autenticidad	v
Índice	vi
Índice de figuras	vii
Índice de tablas	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MÉTODO	25
2.1. Tipo y diseño de investigación.....	25
2.2. Operacionalización de variables.....	26
2.3. Población, muestra y muestro	27
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	27
2.5. Procedimiento.....	29
2.6. Métodos de análisis de datos.....	31
2.7. Aspectos éticos.....	31
III. RESULTADOS	32
IV. DISCUSIÓN	101
V. CONCLUSIONES	111
VI. RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS	113
ANEXOS	119
Acta de aprobación de originalidad de tesis	163
Reporte de turnitin	164
Autorización de publicación de tesis en el repositorio institucional UCV	165
Autorización de la versión final del trabajo de investigación	166

Índice de figuras

<i>Figura 01.</i> Imágenes obtenidas del microscopio, se puede observar en tono verde a las microalgas <i>Scenedesmus sp.</i> así como materia orgánica presente propia del efluente residual.	13
<i>Figura 02.</i> Cinética de crecimiento de las microalgas.	21
<i>Figura 03.</i> Resultados de la primera etapa de análisis de DBO.	35
<i>Figura 04.</i> Resultados de la segunda etapa de análisis de DBO.	35
<i>Figura 05.</i> Resultados de la tercera etapa de análisis de DBO	37
<i>Figura 06.</i> Resultados de análisis de DBO en tratamiento T0.	38
<i>Figura 07.</i> Resultados de análisis de DBO en tratamiento T1.	39
<i>Figura 08.</i> Resultados de análisis de DBO en tratamiento T2.	39
<i>Figura 09.</i> Resultados de análisis de DBO en tratamiento T3.	41
<i>Figura 10.</i> Resultados de la primera etapa de análisis de Oxígeno Disuelto.	42
<i>Figura 11.</i> Resultados de la segunda etapa de análisis de Oxígeno Disuelto	44
<i>Figura 12.</i> Resultados de la tercera etapa de análisis de Oxígeno Disuelto	44
<i>Figura 13.</i> Resultados de análisis de Oxígeno Disuelto en tratamiento T0.	44
<i>Figura 14.</i> Resultados de análisis de Oxígeno Disuelto en tratamiento T1.	46
<i>Figura 15.</i> Resultados de análisis de Oxígeno Disuelto en tratamiento T2.	46
<i>Figura 16.</i> Resultados de análisis de Oxígeno Disuelto en tratamiento T3.	48
<i>Figura 17.</i> Resultados de primera etapa de análisis de Turbidez	48
<i>Figura 18.</i> Resultados de segunda etapa de análisis de Turbidez.	50
<i>Figura 19.</i> Resultados de tercera etapa de análisis de Turbidez	51
<i>Figura 20.</i> Resultados de análisis de Turbidez en tratamiento T0.	52
<i>Figura 21.</i> Resultados de análisis de Turbidez en tratamiento T1.	53
<i>Figura 22.</i> Resultados de análisis de Turbidez en tratamiento T2.	53
<i>Figura 23.</i> Resultados de análisis de Turbidez en tratamiento T3.	55
<i>Figura 24.</i> Resultados de primera etapa de análisis de Temperatura	56
<i>Figura 25.</i> Resultados de primera etapa de análisis de pH.	56
<i>Figura 26.</i> Resultados de primera etapa de análisis de Conductividad Eléctrica	58
<i>Figura 27.</i> Resultados de primera etapa de análisis de Sólidos Totales Disueltos	59
<i>Figura 28.</i> Resultados de primera etapa de análisis de Salinidad.	59
<i>Figura 29.</i> Resultados de segunda etapa de análisis de Temperatura.	61
<i>Figura 30.</i> Resultados de segunda etapa de análisis de pH	62

Figura 31.	Resultados de segunda etapa de análisis de Conductividad Eléctrica	62
Figura 32.	Resultados de segunda etapa de análisis de Solidos Totales Disueltos	64
Figura 33.	Resultados de segunda etapa de análisis de Salinidad	65
Figura 34.	Resultados de tercera etapa de análisis de Temperatura	66
Figura 35.	Resultados de tercera etapa de análisis de pH	67
Figura 36.	Resultados de tercera etapa de análisis de Conductividad Eléctrica.....	68
Figura 37.	Resultados de tercera etapa de análisis de Solidos Totales Disueltos.....	69
Figura 38.	Resultados de tercera etapa de análisis de Salinidad	70
Figura 39.	Resultados de análisis de Temperatura en tratamiento T0.....	71
Figura 40.	Resultados de análisis de Temperatura en tratamiento T1.....	72
Figura 41.	Resultados de análisis de Temperatura en tratamiento T2.....	73
Figura 42.	Resultados de análisis de Temperatura en tratamiento T3.....	74
Figura 43.	Resultados de análisis de pH en tratamiento T0	75
Figura 44.	Resultados de análisis de pH en tratamiento T1	75
Figura 45.	Resultados de análisis de pH en tratamiento T2	77
Figura 46.	Resultados de análisis de pH en tratamiento T3	77
Figura 47.	Resultados de análisis de Conductividad Eléctrica en tratamiento T0	80
Figura 48.	Resultados de análisis de Conductividad Eléctrica en tratamiento T1	80
Figura 49.	Resultados de análisis de Conductividad Eléctrica en tratamiento T2	80
Figura 50.	Resultados de análisis de Conductividad Eléctrica en tratamiento T3	82
Figura 51.	Resultados de análisis de Solidos Totales Disueltos en tratamiento T0	69
Figura 52.	Resultados de análisis de Solidos Totales Disueltos en tratamiento T1	85
Figura 53.	Resultados de análisis de Solidos Totales Disueltos en tratamiento T2	85
Figura 54.	Resultados de análisis de Solidos Totales Disueltos en tratamiento T3	85
Figura 55.	Resultados de análisis de Salinidad en tratamiento T0.....	88
Figura 56.	Resultados de análisis de Salinidad en tratamiento T1	88
Figura 57.	Resultados de análisis de Salinidad en tratamiento T2.....	88
Figura 58.	Resultados de análisis de Salinidad en tratamiento T3	90
Figura 59.	Resultados de análisis de remoción de DBO5 en tratamiento T0.....	92
Figura 60.	Resultados de análisis de remoción de DBO5 en tratamiento T1.....	93
Figura 61.	Resultados de análisis de remoción de DBO5 en tratamiento T2.....	94
Figura 62.	Resultados de análisis de remoción de DBO5 en tratamiento T3.....	95
Figura 63.	Resultados de análisis de remoción de Turbidez en tratamiento T0.....	77
Figura 64.	Resultados de análisis de remoción de Turbidez en tratamiento T1.....	99

Figura 65. Resultados de análisis de remoción de Turbidez en tratamiento T2..... 99

Figura 66. Resultados de análisis de remoción de Turbidez en tratamiento T3..... 100

Índice de tablas

Tabla 01. <i>Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales</i>	9
Tabla 02. <i>Límites Máximos Permisibles para efluentes vertidos a cuerpos de aguas</i> ..	10
Tabla 03. <i>Composición y concentración del medio de cultivo Heusster- Merino</i>	22
Tabla 04. <i>Operacionaliacion de variables</i>	22
Tabla 05. <i>Dilución del agua residual doméstica para el tratamiento de biorremediación</i>	30
Tabla 06. <i>Nutriente Heusster- Merino para el mantenimiento de la cepa control de tratamiento T0, composición química del medio HM para 1000 ml de nutriente</i>	32
Tabla 07. <i>Horas de luz natural en la incidencia diaria de la microalga Scenedesmus sp</i>	33
Tabla 08. <i>Inyección continua de CO₂ al biorreactor</i>	33
Tabla 09. <i>Revoluciones manuales en biorreactor</i>	34
Tabla 10. <i>Composición inicial de DBO del agua residual doméstica</i>	34
Tabla 11. <i>Composición intermedia de DBO del agua residual doméstica</i>	35
Tabla 12. <i>Composición final de DBO del agua residual doméstica</i>	36
Tabla 13. <i>Composición de DBO del agua residual doméstica</i>	37
Tabla 14. <i>Composición inicial de Oxígeno Disuelto del agua residual doméstica</i>	41
Tabla 15. <i>Composición intermedia de Oxígeno Disuelto del agua residual doméstica</i> .43	
Tabla 16. <i>Composición final de Oxígeno Disuelto del agua residual doméstica</i>	43
Tabla 17. <i>Composición de Oxígeno Disuelto del agua residual doméstica</i>	44
Tabla 18. <i>Composición inicial de turbidez del agua residual doméstica</i>	48
Tabla 19. <i>Composición intermedia de turbidez del agua residual doméstica</i>	49
Tabla 20. <i>Composición intermedia de turbidez del agua residual doméstica</i>	50
Tabla 21. <i>Composición de Turbidez del agua residual doméstica</i>	51
Tabla 22. <i>Composición inicial de temperatura, pH, conductividad eléctrica, solidos totales disueltos y salinidad del agua residual doméstica</i>	55
Tabla 23. <i>Composición intermedia de temperatura, pH, conductividad eléctrica, solidos totales disueltos y salinidad del agua residual doméstica</i>	60
Tabla 24. <i>Composición final de temperatura, pH, conductividad eléctrica, solidos totales disueltos y salinidad del agua residual doméstica</i>	65
Tabla 25. <i>Composición de Temperatura del agua residual doméstica</i>	70
Tabla 26. <i>Composición de pH del agua residual doméstica</i>	74
Tabla 27. <i>Composición de Conductividad Eléctrica del agua residual doméstica</i>	78
Tabla 28. <i>Composición de Solidos Totales Disueltos del agua residual doméstica</i>	82

Tabla 29. <i>Composición de Salinidad del agua residual doméstica</i>	86
Tabla 30. Porcentaje de remoción de DBO5 del agua residual doméstica.....	91
Tabla 31. <i>Porcentaje de remoción de Turbidez del agua residual doméstica</i>	96

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la influencia de la aplicación de la microalga *Scenedesmus sp.* en la biorremediación de aguas residuales domésticas, distribuyendo el agua residual doméstica en diluciones de 0%, 30%, 50% y 70% para posteriormente analizar el agua residual doméstica en los parámetros físicos y químicos antes y después del tratamiento, finalmente evaluando la capacidad de remoción de DBO₅ y turbidez de la microalga *Scenedesmus sp.* en aguas residuales domésticas. El presente trabajo de investigación es de carácter experimental, realizado en una población de estudio estuvo compuesta por las microalgas del género *Scenedesmus sp.* con una muestra de 1000 ml. La técnica e instrumentos empleados fueron: método electrométrico, método Winkler, método Gravimétrico, método Inmersión de termómetro eléctrico y método Turbidímetro. De acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación de la capacidad de remoción de la especie de microalga *Scenedesmus sp.*, en DBO y Turbidez presenta una remoción total eficiente mayor al 90%, con lo que se puede afirmar que la aplicación de la microalga *Scenedesmus sp.* para el tratamiento de aguas residuales domésticas presenta una capacidad excelente en la remoción de DBO y turbidez. Se concluye que la influencia de la aplicación de la microalga *Scenedesmus sp.* en la biorremediación de aguas residuales domésticas es positiva, pues logra asimilar los contaminantes presentados en los parámetros evaluados.

Palabras clave: Biorremediación, aguas residuales, microalga *Scenedesmus sp.*

ABSTRACT

The present investigation has as objective to determine the influence of the application of the microalgae *Scenedesmus sp.* in the bioremediation of domestic wastewater, distributing the domestic wastewater in dilutions of 0%, 30%, 50% and 70% to subsequently analyze the domestic wastewater in the physical and chemical parameters before and after the treatment, finally evaluating the capacity of removal of BOD₅ and turbidity of the microalgae *Scenedesmus sp.* in domestic wastewater. The present research work is of an experimental nature, carried out in a study population was composed of microalgae of the genus *Scenedesmus sp.* with a sample of 1000 ml. The technique and instruments used were: electrometric method, Winkler method, Gravimetric method, Immersion method of electric thermometer and Turbidimeter method. According to the results obtained from the evaluation of the removal capacity of the *Scenedesmus sp* microalgae species, in BOD and Turbidity it presents an efficient total removal greater than 90%, which can be affirmed that the application of the *Scenedesmus sp* microalgae for the treatment of domestic wastewater it presents an excellent capacity in the removal of BOD and turbidity. It is concluded that the influence of the application of the microalgae *Scenedesmus sp.* In bioremediation of domestic wastewater, it is positive because it manages to assimilate the contaminants present in the parameters evaluated.

Keywords: Bioremediation, sewage, microalgae *Scenedesmus sp.*

I. INTRODUCCIÓN

Un informe manifestado por la Food and Agriculture Organization (FAO), nos indica los principales elementos que contribuyen a la presión de un recurso renovable: el incremento demográfico, la urbanización y el ritmo del desarrollo económico, y que de alguna manera son los principales causantes de la contaminación (FAO, 2013, p.9).

El agua es necesaria para conservar la vida en el planeta, pues se ha convertido en uno de los recursos de mayor demanda y escasos. Por este motivo, las aguas residuales son aprovechadas cada vez más para la agricultura, especialmente en las zonas más pobres y países en vías de desarrollo del planeta (Candela, 2016, p. 23). En principio, la reutilización del agua genera beneficios económicos y agrícolas, pero si su uso es indiscriminado puede llegar a ocasionar graves problemas en la salud humana.

Los países desarrollados en el siglo próximo pasado, al momento de deshacerse de sus desechos, confiaban en la limpieza y dilución de contaminantes en los cuerpos acuíferos, lo cual podía mantenerse con una densidad poblacional baja. Sin embargo, luego de evidenciados los impactos generados se determinó que dichas prácticas de expulsión de efluentes debían regularse debidamente (FAO, 2013, p.14).

En la actualidad, el acelerado incremento de la población, tanto en el sector industrial y urbanístico, ocasiona el incremento de los volúmenes de efluentes residuales no tratados, que en la mayoría de las ocasiones son vertidas, sin un anterior tratamiento, a las fuentes acuáticas, provocando variaciones relevantes en los ciclos biogeoquímicos (Olarte y Valencia, 2016, p.23), teniendo como consecuencia un incremento en las concentraciones de nitrógeno, carbono y fósforo que se acumulan en los ecosistemas acuáticos y se vuelven imposibles de asimilar.

En el Perú como en otros países de América Latina, se está buscando dar soluciones a los grandes volúmenes de agua contaminada, con la finalidad de desarrollar y ampliar sistemas de depuración de los efluentes, e incentivar la investigación de nuevos métodos de tratamientos depuradores. El objetivo, es conseguir el acceso y cobertura universal de los servicios de saneamiento, aún con esta meta, aproximadamente el 50% del total de Plantas de tratamiento de agua residual no están funcionando, y la transferencia de los recursos económicos y humanos de los gobiernos locales hacia estas instituciones tampoco garantiza la sostenibilidad de este servicio de saneamiento (Infraestructura, 2017 p. 7).

Según el estudio elaborado por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) junto con la Cooperación Alemana – GIZ, se lograron identificar 204 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales -PTAR. De ese total, 172 están edificadas en el ámbito de ejecución de las EPS y su operación está realizada por éstas o se localizan en proceso de transferencia. Respecto a las otras treinta y dos sobrantes, se hallan en construcción (13 permanecen en construcción inmovilizada por un lapso de tiempo mayor de un año y 19 en proceso de edificación) (SUNASS, 2015, p. 41).

Esto demuestra que en nuestro país aún existe una pérdida de cobertura en la capacidad de procesamiento y depuración de la carga orgánica e hidráulica en más de 50% (tomando un tiempo de retención de 20 días en las PTAR de lagunas de estabilización sin contar con desinfección) (SUNASS, 2015, p. 50). Esto quiere decir que el resto se descarga directamente en una fuente hídrica, ya sea mar, río o lago. Otro porcentaje de ésta inadecuada descarga se infiltra en el suelo o, en algunas regiones este efluente se usa en la agricultura.

Actualmente, de estos proyectos no se mantienen en funcionamiento, esto se debe, en muchos casos a un mal diseño en la infraestructura o el inadecuado uso de los materiales en su construcción, al poco conocimiento y capacitación de los encargados de las Empresas Prestadoras de Servicios para desarrollar la actividades socio económicas de las aguas residuales tratadas, como el aprovechamiento de los lodos o biomasa resultante (Ávila, 2015, p.54), y sumado a ello, el poco interés y responsabilidad de protección del ambiente en la Política de las EPS.

Del mismo modo el bajo aprovechamiento de la biomasa generada, resultado del tratamiento de agua, hace que los sistemas de tratamiento convencionales no sean rentables y fracasen (Hernández y Labbé, 2014, p.104-119).

Respecto a los trabajos previos realizados concernientes a las variables de estudio se tiene a: Ballén, Hernández, Parra y Pérez (2016, p.71), en el cual desarrollaron el estudio de las aguas residuales, el elevado valor de nutrientes inorgánicos y materia orgánica presentes, como un tratamiento alternativo a estos efluentes, se formula la utilización y el cultivo de microalgas, justificada en su capacidad de eliminación de los contaminantes. En esta investigación se valoró la evolución, crecimiento y desarrollo de la microalga identificada como *Scenedesmus sp.* en tres diluciones distintas de un agua residual (20%, 50% y 100%) durante un espacio de 15 días, evaluando la eliminación de cromo hexavalente (Cr+6), nutrientes

(nitritos, nitratos, fosfatos y sulfatos) y disminución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

A modo de efecto se consiguió un crecimiento de *Scenedesmus sp.* es conveniente a la disolución del agua residual, con incremento en la producción de biomasa en el efluente sin disolver. Esta biomasa disminuyó la concentración de Cromo (>98%) del mismo modo con los nitratos (>90%) y fosfatos (>99%) que fueron captados por la microalga para su desarrollo, sumada a esta observación se determinó reducción de nitritos (>98%), sulfatos (>92%) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (>88%) lo cual se le puede atribuir a una acción compartida microalga-bacteria. Los investigadores concluyen que la microalga empleó el agua residual como un sustrato de crecimiento, optimizando la eficacia de su aplicación como un proceso de ficorremediación.

Ruiz (2011, p.123-126), en su tesis argumenta, que el desarrollo de las microalgas puede ser evaluado por distintas técnicas: como la valoración de clorofila, observación microscópica, identificación de sólidos suspendidos y otros métodos de hibridación con fluorescencia (FISH). Se concluye que el sistema propuesto facilita el crecimiento de las microalgas, debido a que éstas aumentan los números de su población separando y eliminando gran parte de los nutrientes del agua tratada.

De este modo el método planteado aprueba también la acción vinculada de un conjunto de bacterias que han manifestado existir en el cultivo, siendo facilitadoras en la depuración final, biológica y por precipitación química, como es el caso del fósforo. La identificación y cultivo de las microalgas no presenta problemas en métodos para la evaluación, ya que son diversos. De la misma forma la microalga se adapta a la presencia de otros microorganismos, sin afectar a su desarrollo o actividades asimiladoras o captadoras del sustrato.

Barrio y Marroquín (2016, p.203-214), en su investigación realizada en España, refiere que las microalgas más comunes para un cultivo heterótrofo de microalgas, son *Chlorella sp.*, *Scenedesmus sp.* o *Muriellopsis sp.*, debido a sus principales cualidades como: buena supervivencia durante el cultivo, la tolerancia que presenta a los cambios ambientales, bajos costes del cultivo y la generación de subproductos para valores económicos.

El aumento de las microalgas heterótrofas se mantiene constante mientras haya carbono y nutrientes disponibles, sin embargo, el desarrollo de las microalgas autótrofas incrementa con la luz del día y se reduce en la noche. La especie de microalga es importante, cada especie presenta una característica diferente según el porcentaje lipídico, por lo tanto, una

asimilación de sustrato distinta. Los más importantes atractivos del enfoque de crecimiento y desarrollo heterótrofo son la eficacia del proceso de depuración, un fácil mantenimiento y la relativa simplicidad que conlleva.

Dávila (2016, p.98), en su investigación, adaptó la microalga *Scenedesmus obliquus* para su crecimiento en agua residual, los cuales se estuvo monitoreando la densidad y presencia de nutrientes nitrogenados en el agua residual y carbohidratos totales en la biomasa durante las fases de crecimiento de las microalgas. Se alcanzaron remociones del 97.91%, 80.00% y 93.10% de nitrógeno amoniacal, nitratos y ortofosfatos, respectivamente.

La especie de microalga *Scenedesmus sp.* presenta su crecimiento en agua dulce, y el estudio manifiesta su adaptabilidad para crecer en aguas residuales domésticas y que además mediante el cultivo de la microalga *Scenedesmus obliquus* en efluentes domésticos tiene una elevada remoción de nitrógeno amoniacal, nitratos y ortofosfatos, por lo tanto, es técnicamente aplicable como biotratamiento de aguas residuales de dichos parámetros químicos.

García (2015, p.105), en su investigación, establece que los factores influyentes en el desarrollo y evolución de un cultivo de microalgas se ve determinado por la temperatura, intensidad de luz, es importante indicar que García (2015, p.174) no ejecutó cambios en este factor puesto que los ensayos se realizaron con la idéntica intensidad de luz y de la turbidez del medio de cultivo.

También sugiere que la coexistencia de nutrientes como el nitrógeno y fósforo son un factor a tomar en consideración en el cultivo de microalgas, ya que ambos compuestos inorgánicos son dos nutrientes útiles, hasta indispensables, en gran parte de los escenarios de crecimiento, correspondiendo la existencia de una correspondencia fuerte, directa y continua entre ambas concentraciones de nutrientes y parámetros cinéticos de desarrollo. Otro factor limitante del desarrollo microalgal que puede influenciar, es la presencia de oligoelementos, pero al referir al agua residual forma parte de una matriz muy complicada a estudiar, comparándola con los medios sintéticos, por ello la investigación considera que los medios conservan micronutrientes en diluciones no restrictivas.

Acevedo, Piño y Peñuela (2016, p.46-50), en su investigación, argumentan que el tratamiento biológico de aguas residuales aplicando microalgas fotosintéticas suministra aireación, disminuye el riesgo de volatilización de los contaminantes, reduce los costos de operación y suministra oxígeno a las bacterias que favorecen en la degradación de

compuestos orgánicos. Realizaron su esta investigación mediante el aislamiento de la microalga *Scenedesmus sp.* Ejecutaron un diseño experimental empleando agua residual, cada prueba se inoculó con hasta 16 horas de irradiación lumínica a $50\text{-}\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ durante 7 días a 120 rpm.

Se realizaron muestras a 0, 3, 5 y 7 días para determinar el desarrollo de microalgas y la concentración de nitratos, nitritos, fósforo y amonio. Las aguas residuales de media y baja concentración asumieron un mayor porcentaje de remoción, entre 60-70% para nitrógeno y fósforo, con un crecimiento máximo de 1×10^7 células/ml. Así también indican los parámetros ambientales como el potencial de Hidrógeno, grados de temperatura y la luz pueden influir en el incremento de la población de microalgas y la capacidad de asimilar nutrientes. En este estudio, el dióxido de carbono (CO_2) no fue suministrado durante el tiempo de incubación; lo que podría representar un factor restrictivo para la evolución de microalgas y explicar la baja producción de biomasa.

Estos resultados apuntan que *Scenedesmus sp.* podría ser manejada para tratar agua residual doméstica, mejorando la separación y eliminación de nutrientes, finalmente obteniendo biomasa para otros fines.

Vásquez y Zavaleta (2017, p.46-71), en el estudio realizada en la Universidad del Santa – Perú, sostiene que las microalgas requieren de los factores ambientales apropiados como la dirección de la luz, CO_2 , temperatura, pH y cantidad de nutrientes para su crecimiento, con el propósito de poder adquirir lípidos, carbohidratos y proteínas en grandes cantidades y espacios de tiempo relativamente breves.

El incremento poblacional de *Scenedesmus Acutus* es provocado debido a que esta microalga aprovecha los nutrientes presentes en el cultivo del agua residual municipal (nitritos, nitratos, amonio y fosfatos) en adición de la existencia de nitrógeno y carbono orgánicos originarios de la desintegración de la materia orgánica, facilitando así las circunstancias de desarrollo heterotróficas, con lo se mejora la absorción y asimilación de los nutrientes presentes en el agua residual.

Malgas (2013, p.20) en su estudio, argumenta que los factores en el desarrollo de las microalgas son habituales, sin embargo, las distintas especies de microalga presentan sus características propias en las situaciones ideales de crecimiento. La eficiencia de las microalgas está determinada por los factores ambientales como pH del medio, la concentración y accesibilidad de nutrientes, el tipo y la intensidad de luz, la temperatura, la

consistencia celular del medio y la alteración o la posible depredación por terceros organismos (patógenos y parásitos) presentes en el medio de cultivo.

En la región de Lambayeque se realizó una investigación por Chapilliquen (2016, p.37-39) referido a Diseño convencional de una Planta de tratamiento de aguas residuales para el Sector Cusupe - Distrito de Monsefú, en el cual concluye que los microorganismos más resaltantes en el procedimiento de tratamiento biológico del efluente doméstico son: los microorganismos procariotas (eubacterias y arqueobacterias) a los que denominamos simplemente bacterias, y son básicos en el tratamiento biológico.

El grupo de los microorganismos eucariotas es más amplio, contiene a las plantas, animales, hongos, protozoos, rotíferos y algas. Las poblaciones mixtas e interrelacionadas de microorganismos, componen un tratamiento biológico complejo, así cada microorganismo traza su propia curva de crecimiento en una escala de tiempo determinada, dependiendo de factores tanto externos como internos, como la disponibilidad del alimento, nutrientes y también de los factores ambientales que son la disponibilidad de luz, grados de temperatura y el pH. Las bacterias desempeñan un rol importante en la estabilización de desechos orgánicos, pero también existen organismos que realizan dichas funciones metabolizadoras.

Para dar sustento científico a las variables de la presente investigación se ha consultado diversa bibliografía que presentan las nociones técnicas que se argumentan a continuación:

Con respecto a las aguas residuales, está conceptualizada como “la mezcla de los residuos líquidos o sólidos que son acarreados por el agua” (Pellón, 2014), Por su parte, Pérez (2009, p.29) define las aguas domesticas como “una combinación de excretas animales y humanas con aguas grises resultantes del lavado, bañado y cocinado”.

Los llamados nutrientes existentes en aguas residuales son los compuestos orgánicos que pueden ser asimilados por los microorganismos como los nutrientes orgánicos, mismos que están presentes proporcionalmente como fracciones de la materia orgánica disuelta. Los llamados compuestos que no tienen carbono son los conformados con nitrógeno y fósforo que sirven como medio nutritivo para los microorganismos involucrados son los nutrientes inorgánicos. Entre los principales tenemos al carbono (Pérez, 2009, p.46), que se presenta en medios con las siguientes características; condiciones contaminadas con la existencia de gérmenes, patógenos y posibles parásitos, reducción del OD, agua oscura de olor desagradable y alteración de pH.

La presencia del Nitrógeno es encontrada en forma orgánica, es decir como Nitrógeno orgánico, nitrato, nitrito y amonio (Vásquez y Zavaleta, 2017, p.94), sus características en el efluente son la toxicidad a animales acuáticos, agotamiento del oxígeno disuelto, eutrofización de aguas superficiales, efecto corrosivo en el sistema acuífero y efecto mutagénico y carcinogénico. El Fósforo también es relevante, que principalmente se encuentra como fosfato, ocasionando eutrofización, disminución en la biodiversidad debido a los efectos tóxicos que genera (Peña, 2007, p.125).

La autodepuración y los procesos que esta incluye son propios a los recursos hídricos, sucede debido a la existencia de distintos microorganismos tales como bacterias y algas, las que se encargan de descomponer y sintetizar los residuos, metabolizándolos y transformándolos en sustancias menos complejas como CO₂ o N, adicionalmente, la captación de sustancias inorgánicas presentes. En este contexto, al verter sustancias extrañas al cuerpo hídrico, si esta se ubica en determinadas concentraciones límites, se iniciará el transcurso de autodepuración, en esta fase se dedica a sustancias orgánicas tales como detergentes, fenoles y algunas sustancias inorgánicas. Por otro lado, si las concentraciones sobrepasan los límites deberá iniciarse un tratamiento para que luego pueda empezar la autodepuración natural (OEFA, 2016, p.38).

En el diseño adecuado, eficiente y económico de una PTAR, es indispensable requerir de un minucioso estudio establecido en factores como: caudal (m³/seg), el empleo final del recurso (agua tratada), la viabilidad económica, área útil para la instalación, particularidades meteorológicas (precipitación, clima). Sumado a ello que la solución tecnológica más apropiada es la que perfecciona técnicas más simples y menos costosas, haciendo uso de los recursos disponibles del país. Es importante recalcar que la elección de las tecnologías, procesos y/o el tipo de planta estarán implementadas para cada caso específico (FONAM, 2010, p.56).

No obstante, el proceso habitual de la depuración de aguas residuales domésticas se divide en las siguientes fases (FONAM, 2010, p.63):

El Pre Tratamiento, en esta fase no altera a la materia orgánica (MO) comprendida en el efluente residual. Se procura con el pretratamiento la separación de materiales gruesos y arenas que su apariencia en el efluente turbaría el tratamiento general y la actividad eficaz de los mecanismos e infraestructuras de la planta depuradora. Se desarrolla mediante un

desbaste (rejas) que retienen las sustancias de excedente dimensión y un tamizado para la eliminación de las partículas en suspensión.

El tratamiento primario que toma los efluentes residuales radica primariamente en la separación de sólidos suspendidos floculantes, a través de la sedimentación o floculación y en la remoción de compuestos inorgánicos empleando la precipitación química.

Tratamiento Secundario, en ese proceso la finalidad es la disminución de la MO existente en el efluente luego de atravesadas las etapas de pretratamiento y tratamiento primario. Para el tratamiento secundario o también llamado biológico se ha considerado como guía el proceso propio de autodepuración, previamente señalado, que sucede consecuentemente a su propia naturaleza. En esta etapa la materia orgánica biodegradable del efluente opera como sustrato de un consorcio microbiano al cual se le suministra oxígeno y escenarios controlados, en pocas palabras, el tratamiento biológico es un método de oxidación de MO biodegradable con intervención de microorganismos que coexisten y se relacionan para apresurar una causa natural e impedir consecutivamente la existencia de contaminantes y el abandono de O₂ en el recurso hídrico.

La finalidad del tratamiento terciario es descartar la carga orgánica restante del tratamiento secundario, eliminando así microorganismos patógenos, presencia de color y olores indeseables, y nitratos restantes, que producen burbujeo y eutrofización correspondientemente (FONAM, 2010, p.65).

Simultáneamente, según los datos expuestos por la SUNASS en la Conferencia Peruana de Saneamiento-PERUSAN (2017, p.15), el repertorio tecnológico del sector saneamiento muestra que las PTAR que existen actualmente en Perú cuentan con las siguientes instalaciones: 132 cuentan con Lagunas eficientemente utilizables, 5 Filtros Percoladores, Lodos Activados, Tanques Imhoff1 RAFA (UASB)

Los ECA son los Estándares de Calidad Ambiental, se argumentan como la concentración de los parámetros físicos, químicos y biológicos en el agua en su posición de cuerpo aceptante, que no constituye peligro específico para la salud de los humanos ni del ambiente. Para el diseño el proyecto de las PTAR la categorización del ECA aplicable es elemental para determinar la clase de uso que se indicará al recurso hídrico (SUNASS, 2008, p.46). La presente investigación considera la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales y la Subcategoría D1: Riego de vegetales, definiendo a las aguas empleadas para la irrigación

de los cultivos vegetales, las cuales, considerando elementos como el tipo de riego utilizado y el tipo de consumo (crudo o cocido).

Agua para riego no restringido, donde la calidad consiente su manejo en el riego de: cultivos que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo), donde el fruto o porciones comestibles están en contacto inmediato con el agua de irrigación; parques públicos, áreas verdes y plantas ornamentales (DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM).

Agua para riego restringido, dicha calidad admite su manejo en la irrigación de: cultivos que se consumen cocidos, siembras de tallo alto donde el agua de irrigación no tiene contacto con el fruto, cultivos a ser industrializados, pasturajes o equivalentes (DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM).

Tabla 1. *Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales*

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido
FÍSICO-QUÍMICOS			
Conductividad	(μ S/cm)	2 500	5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15	15
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Temperatura	°C	$\Delta 3$	$\Delta 3$
Salinidad (valor incluido)	(PSU)	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. 2017.

Por lo que se refiere a los Límites Máximos Permisibles (LMP) se precisan como la concentración de los parámetros físicos, químicos y biológicos que identifican un efluente,

que al ser excedido causa o puede causar perjuicios para la salud de las personas y al ambiente (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM)

Tabla 2. *Límites Máximos Permisibles para efluentes vertidos a cuerpos de aguas*

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales	mg/L	1500
Temperatura	°C	<35

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

El concepto de biorremediación incluye al estudio de la biotecnología de microalgas como una técnica de tratamiento a efluentes residuales domésticos, comprendiendo la depuración de aguas contaminadas, que es el procesamiento de residuos líquidos con el fin de producir un efluente final que no comprometa la salud pública o los ecosistemas naturales donde esta sea depositada (Forero, 2017, p.46).

Expertos concuerdan que el término “alga” es muy básico en términos de taxonomía y además que no corresponde en una categoría de nomenclatura, resumiendo que este es solo un término utilizado por el colectivo para referirse a un grupo heterogéneo de individuos, así mismo el término “microalga” hace referencia al mismo tipo de individuos con la diferencia que este estos son microscópicos. (citado por Cáceres, 2009, p.98-102)

Las microalgas son microorganismos fotosintéticos, pueden ser autótrofos o heterótrofos, con la aptitud de convertir la energía solar expuesta y reducir compuestos de carbono a través de la biofijación del Dióxido de carbono (Guamán y Gonzales, 2016, p.46-49).

La presencia de estos microorganismos no expone grandes limitaciones, ya que están presentes ampliamente en todas las fuentes hídricas, como lagos, ríos, estanques, lagunas, mares e incluso en ambientes terrestres (Gómez, Escudero, Morales, Figueroa y Fernández, 2013, p.13), aunque, la superioridad de algunas especies de microalgas en la fitodepuración llega a estar influenciada por factores como los grados de temperatura, la luz (natural o artificial), el pH, composición y densidad de nutrientes y los factores operacionales en el proceso del cultivo como el lapso de detención hidráulica, y algunos parámetros biológicos

tales como se considera la adaptación en la presiembra, presencia de depredadores y parásitos (Cerón, Madera y Peña, 2015, p.35)

La ventaja del uso de microalgas como tratamiento de depuración es que los costes de construcción y, sobre todo, de operación son mucho más bajos que los convencionales (Tafur y Estrada, 2015, p.94). Como valor adicional, estos sistemas no generan residuos sino biomasa de alto valor para otras actividades, como la generación de energía, biocombustibles o biofertilizantes. Las microalgas poseen una gran capacidad biorremediadora, ya que tienen una gran capacidad de asimilación de nutrientes (Roa y Cañizares, 2012, p.33). Un medio de aguas residuales contiene los nutrientes precisos para el desarrollo de un cultivo de microalgas, concentraciones adecuadas de nitrógeno, fósforo y micronutrientes. Quizás el único sustrato limitante sea el carbono que puede ser añadido por medio de difusores de CO₂ (Cabrera y candela, 2014, p.15-17).

En el proceso de la nutrición gran parte de los grupos de algas y microalgas son fotoautótrofos (Yoshihico, 2009, p.25-32), lo cual significa que su metabolismo está determinado por su aparato fotosintético, usando como primordial sustento de energía la luz solar y el Dióxido de Carbono como medio de obtención de carbono para la elaboración de carbohidratos. Así también el uso de nitrógeno, fósforo y hierro como nutrientes principales (Olarte y Valencia, 2016, p.86) (Insuasty, 2017, p.91), que contribuyen al desarrollo de las microalgas. La tolerancia a cultivos con excedente concentración en nutrientes de aguas residuales domésticas o municipales varía dependiendo de cada especie microalgal.

Entre estas especies las microalgas con mayor tolerancia, según los estudios, son *Chlorella* (ej. *Chlorella vulgaris*, *Chlorella stigmatophora*, etc) y *Scenedesmus* (ej. *Scenedesmus obliquus*) (Malgas, 2013, p.112-136).

La reproducción según Tsaloglou (2016, p.106), la reproducción de las microalgas puede ser mediante la fragmentación de una colonia, o vegetativa dada la división de una sola célula, llamada célula madre. También de manera asexual a través de fabricación de esporas, también sexualmente por la coalición de gametos. El periodo del periodo celular involucra el crecimiento y la fragmentación de células madres, lo cual varía en cada especie microalgal y las condiciones a las que estén expuestas, principalmente de luz, pH, nutrientes y el tamaño celular. Así para el picoplancton *Synechococcus sp.*, el ciclo puede llegar a durar aproximadamente dos horas. Por otro lado, el periodo de microalgas nanoplanctónicas como

Chlamydomonas sp. y *Chlorella sp.* tarda aproximadamente seis horas (Guamán y Gonzales, 2016, p.85).

Según Bellinger y Sigee (2010, p.10-23), la clasificación celular de los microorganismos algales es de cuatro tipos en función de sus dimensiones: las Picoplancton (0,2 - 2 μm), con una tasa ágil y veloz de desarrollo en hábitats acuáticos. Los Nanoplancton (2 - 20 μm), son microorganismos eucariotas unicelulares flagelados y constituyen el suplemento como fuente de alimento del macro y micro zooplancton. Presentan una elevada tasa de desarrollo, debido a ello estas especies de microalgas están involucradas en el desarrollo de grandes florecimientos de algas, a esta clasificación pertenecen las algas de la presente investigación, *Scenedemus sp.*. Microplancton (20 - 200 μm), pertenecen a la cadena alimenticia de crustáceos, así también como de peces omnívoros.

La tasa de crecimiento es moderada a baja. El Macroplancton (> 200 μm), poseen características biológicas poco diferenciadas al microplancton y están simbolizadas por las microalgas verde azuladas coloniales.

Un total del 99.9% de la biomasa de las microalgas está formada por carbono, calcio, oxígeno, fósforo, azufre, nitrógeno e hidrógeno. En sus componentes traza se identifican el calcio, sodio, potasio, silicio, hierro, magnesio y cloro, por razones que su utilidad únicamente es requerida en cantidades catalíticas. Estos elementos llegan a formar parte de las microalgas mediante la captación y asimilación, lo que concluye en gran importancia para el ciclo biogeoquímico de los elementos químicos (Guamán y Gonzales, 2016, p.87).

El cultivo y producción de microalgas requiere considerar la taxonomía y factores de crecimiento microalgal, las microalgas son reconocidos por ser microorganismos fotoautótrofos, lo que significa que son organismos que consiguen la energía de la irradiación procedente del sol y crecen en relación a los compuestos inorgánicos presentes (Malgas, 2013, p. 6). Según esto, la producción de la microalga *Scenedemus sp.* se clasifica en fotoautótrofas y presentan mayor rentabilidad económica y técnica en una producción a grandes escalas (Ruiz, 2011, p. 24).

El contenido en lípidos, carbohidratos y proteínas en cada compuesto de las microalgas es versátil y hasta se permite ser alterada modificando algunos parámetros o factores determinantes durante su transcurso de crecimiento, considerando de igual importancia la especie elegida. En datos generales, el grupo de microalgas y cianobacterias poseen un

contenido lipídico de hasta un 20%, por ello el cultivo y aplicaciones de microalgas es una actividad que se ido desarrollando décadas atrás.

Por más de sesenta años se han realizado investigaciones en ficología aplicada garantizando una comprensión efectiva respecto a la generación intensiva de microalgas, lo que ha facilitado su aplicación en la depuración de efluentes residuales, como alimento en el sector de la acuicultura (para variedades en especies marinas), y con mayores estándares, la obtención de compuestos útiles para sectores la cosmética y la dietética. Todos ellos son productos en donde el valor de mercado facilita trabajar e invertir de manera rentable esta clase de actividad económica. Los inicios de la producción en grandes escalas de microalgas se llevaron a cabo en Alemania al transcurrir la II Guerra Mundial, empleada para la elaboración de lípidos (Malgas, 2013, p.105-107).

El uso de microalgas actualmente se desarrolla en numerosas partes del mundo con distintos fines, una parte para la depuración de aguas residuales, en pequeña o mediana escala. La alta capacidad que poseen las microalgas de reducir del agua tanto fósforo como nitrógeno, entre otros elementos, las garantiza como una oportunidad para la eliminación de gran parte de los nutrientes de los efluentes domésticos, manifestándose, por consiguiente, que en la reducción del fósforo los resultados llegan a ser tan eficaces como cualquier otro procedimiento químico convencional (Malgas, 2013, p. 5). Entre sus más resaltantes ventajas tenemos el mínimo coste, debido a que no necesitan productos químicos, por otra parte, el recobro de los nutrientes asimilados como biomasa que está disponible para ser utilizada como fertilizante (Ruiz, 2011, p.8-10).

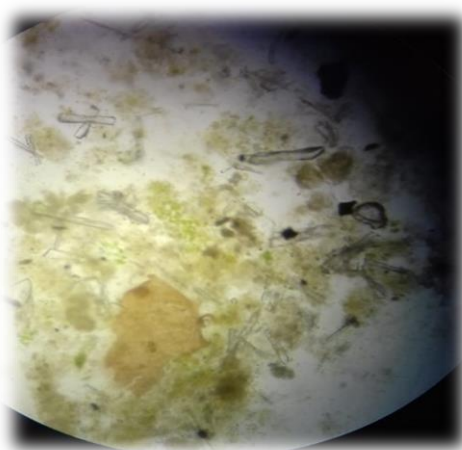


Figura 01. Imágenes obtenidas del microscopio, se puede observar en tono verde a las microalgas *Scenedesmus* sp. así como materia orgánica presente propia del efluente residual.

Es importante seleccionar especies o géneros de microalgas que tengan la capacidad de depurar aguas residuales que posean diferentes características y carga contaminante, que además deban hacerlo de forma constante y eficiente, además que no muestren inhabilitación en la presencia gases tóxicos de escape emitidos como resultado de la acción microalgal (Cymbella, 2016). Con esa visión se vienen desarrollando métodos como la lipidómica, metabolómica y genómica que investigan en la exploración y perfeccionamiento de microalgas con una alta aptitud de crecimiento, tolerancia a contaminantes y adaptación al medio, así también poder obtener productos con elevado valor añadido (Malgas, 2013, p. 8).

Las condiciones físicas y químicas del ecosistema determinan la diversidad microbiana en los ambientes de agua (Parra, 2006, p.58). Los factores que interceden en el crecimiento y desarrollo de las microalgas son:

La Temperatura es significativa en la variación de cambios exteriores de la temperatura atmosférica. El descenso de la conductividad térmica y una elevada capacidad de almacenamiento de energía calórica, modifican las variaciones diurnas y estacionales en los grados de la temperatura (Guamán y Gonzales, 2016, p. 23). La temperatura del agua afecta las reacciones biológicas y la química de las especies acuáticas, así las temperaturas elevadas pueden incrementar el espesor y consistencia de organismos planctónicos y hongos no deseados. Hasta logra llegar a influir en varios parámetros fisicoquímicos como el potencial de Hidrógeno, nivel de saturación o la disolución de los gases, conductividad eléctrica y distintas maneras de alcalinidad, etc.

De igual manera, afecta la estructura de especies algales, ya que cada especie responde colectivamente al cambio de los parámetros fisicoquímicos. Relacionado, una Temperatura baja puede llegar a retardar e inhibir el crecimiento microalgal, ocasionando así la interrupción de la depuración del agua residual (Cerón, Madera y Peña, 2015, p. 107).

El Potencial de Hidrógeno (pH) es uno de los factores principales que ejerce un visible efecto referente a la agilidad y velocidad de desarrollo de las microalgas, es importante considerar que cada especie de microalga muestra un valor específico. El pH influye de forma indirecta en el desarrollo por su consecuencia sobre la solubilidad y disociación de los diferentes elementos disueltos en el medio, niveles extremos de pH pueden provocar efectos perjudiciales o inhibitorios de desarrollo (Bermeo, 2011).

El pH del medio interviene dentro de la simetría y compensación del equilibrio químico del CO₂ en el medio, que, por consiguiente, en la alcalinidad de la sustancia de cultivo,

respectivamente en la manera química en que están unos nutrientes y micronutrientes obligatorios. Para cada una de las especies, incluso género de microalga existe un nivel de pH se evidencia un desarrollo óptimo, en relación a qué sustancias químicas esté más preparada a absorber. El pH en la mayor parte de cultivos de microalgas está entre 7 y 9, presentando un óptimo entre 8,2–8,7. El registro y control del pH se logra por medio de aireación o inyección dominada de CO₂, pero además por medio de la adicción de ácidos o bases (Ayala, 2015, p.123).

La aplicación de CO₂ como fuente de carbono inorgánico es justificado por ser la manera más biodisponible en las microalgas, en contraste a bicarbonato (HCO₃) – y trióxido de carbono (CO₃), que de igual forma son empleados en la fotosíntesis a través de su conversión a CO₂ (Falkowski y Raven 2007, p.19).

El índice de tasa de incremento en microalgas denota la viabilidad biológica, si lo relacionamos con el periodo de tiempo para la reproducción, en otras palabras la cantidad de veces que cada una se fracciona al día, a partir del el inicio de un cultivo, en el momento que la concentración de la biomasa es pequeña y por lo tanto no existe insuficiencia de nutrientes o limitaciones de la incidencia de luz, hasta un límite máximo cuando las condiciones mencionadas de crecimiento poblacional se encuentran restringidas por la carencia de nutrientes y el autosombreado que se genera, el llamado efecto de sombreado desarrollado por la biomasa microalgal provoca que después de los iniciales 0,15m no penetre la luz utilizable, dejando la parte restante del estanque en oscuridad (Cerón, Madera y Peña, 2015, p. 107).

La disponibilidad de luz es el primordial factor limitante de los cultivos fotoautótrofos de microalgas. El desarrollo de los organismos fotosintéticos es conforme a la irradiación de la luz aceptada durante el periodo que esta permanezca debajo de un cierto valor más alto. Desde este valor más alto, el desarrollo se ve fotolimitado dado que los sistemas fotosintéticos recibidores resultan afectados y la fotosíntesis, por consiguiente, inhabilitada. En la mayor parte de las microalgas el proceso de la fotosíntesis se ve obstaculizada a escenarios lumínicos que actúan sobre el 30% de la radiación total del sol, lo que implica unos 1.700 a 2.000 $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$. (Malgas, 2013, p.47).

Las microalgas son organismos fotosintéticos por lo que requieren de la presencia de luz para realizar su metabolismo, estudios demuestran que las microalgas sostienen gran eficiencia en la bioconversión de luz-biomasa, en sistemas cerrados como fotobiorreactores

su eficiencia suele ser mayor que en los sistemas abiertos, expertos demuestran que las microalgas sólo usan una fracción del espectro de luz, que es fotosintéticamente activa (350 y 700 nm.) esta constituye un 40% de la radiación total del sol (Ardila 2012, p.17).

Los Nutrientes presentes en el medio son indispensables para el crecimiento y supervivencia de las microalgas, ya que éstas de la misma forma de necesitar luz, también utilizan fuentes inorgánicas como los elementos de nitrógeno, azufre y fósforo para poder tener los recursos y lograr la biosíntesis (Ayala, 2015, p.46). Los principales nutrientes del medio tomados por las microalgas son: Compuestos de carbono: Las microalgas autótrofas emplean como sustento de carbono el Dióxido de Carbono (CO₂) presente naturalmente en la atmósfera o también en gases de escape.

Una gran parte de la materia orgánica ofrece la energía y a su vez la fuente de carbono, de esta forma, las microalgas mixotróficas tienen la capacidad de desarrollarse ya sea en procesos autótrofos o heterótrofos, así que tanto la luz como los compuestos orgánicos forman parte de la fuente de energía (Malgas, 2013, p.29).

Nitrógeno: es uno más de los macronutrientes fundamentales en el desarrollo de los organismos microalgales. La composición de nitrógeno en la biomasa algal alcanza por encima de un 1% incluso valores de más del 10%, en funcionalidad de la composición en la fuente de nitrógeno y la disponibilidad (Ávila, 2015, p.65). Las microalgas consiguen obtener el nitrógeno del cultivo en formas compuestas del nitrógeno como: nitrito, amonio, nitrato, urea, nitrógeno gas y óxidos de nitrógeno (NO_x) (Mahmoud, Farahat y Fatthallah, 2016, p.11).

En una investigación (Xin 2010, p.39) se señaló que la microalga *Scenedesmus sp.*, muestra un elevado incremento y exclusión de compuestos de fósforo y nitrógeno, ya que los resultados fueron más efectivos en el cultivo, cuya medida de equilibrio en la disociación está determinada por la temperatura y el pH del medio, argumentando además que los niveles excesivos de tales nutrientes pueden llegar a inhibir el desarrollo de las microalgas a causa que su elevada presencia es regularmente tóxica para organismos fotosintéticos, debido a que rivaliza con el agua en las reacciones de oxidación que forman el O₂ libre y desacopla el transporte electrónico en el fotosistema. Definido esto, la tolerancia está relacionada con la especie cultivada: de este modo, *Spirulina sp.* se ve experimentalmente contenida e inhabilitada ante concentraciones de 200 mg Amonio (NH₄) por litro, por otro lado,

Chlorella no presenta inhibición ante concentraciones de 400 mgNH₄ por litro (Xin, 2010, p.19).

Fósforo: este elemento químico es tomado del medio con aspecto de ortofosfatos, cuya concentración de manera equilibrada con las formas protonadas, que es la adición de un protón, es dependiente del pH del medio (Bermeo, 2011, p.32).

Causantes como un pH desmedidamente elevado o bajo, o la nula presencia de iones tales como sodio, potasio o magnesio, retardan la obtención de fosfatos en las microalgas. El volumen preciso de fósforo es bastante menor comparado con la de nitrógeno para una misma proporción de biomasa producida. Es importante recordar que las microalgas se ven influidas por la correlación N:P del cultivo, tal es así que se va a producir un más alto desarrollo y captación de nutrientes cuando las microalgas presenten mayor cercanía. No obstante, como las microalgas tienen la capacidad de ajustarse al medio de cultivo tienen la posibilidad de tomar, en inicio, uno de los nutrimentos en una cantidad más grande que la que se encuentra en su estructura celular.

Así mismo, los organismos microalgales necesitan, para su desarrollo, de la misma forma de otros macro- y micronutrientes, como la presencia de Carbono, Nitrógeno y Fósforo, otros elementos que son indispensables para el crecimiento de microalgas, sumados además elementos como; Azufre (S), Potasio (K), Sodio (Na), Hierro (Fe), Magnesio (Mg), Calcio (Ca) y micronutrientes o elementos traza, Boro(B), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Zinc (Zn), Vanadio (V) y Selenio (Se), de la misma forma que se aprecia en la estructura elemental de las células microalgales.

De la misma manera que el Fósforo, estos iones traza detallan alguna preferencia por otros compuestos presentes en el medio y se precipitan. Por ello, para evadir dicho inconveniente, se agregan al medio agentes quelantes o secuestrantes de metales, uno de los más usados es el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) (Richmond, 2004, p.14).

El nivel de oxígeno disuelto se presenta como un factor que precisa ser vigilado en el cultivo de microalgas, dado que mucha cantidad de oxígeno disuelto tiene la posibilidad de cortar la fijación de carbono realizada por la enzima ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (RuBisCo) (Marín, 2004, p.20). Esta abstención se ve influenciada, además, por la temperatura, deficiencia de CO₂ y por la elevada radiación solar.

De esta forma, en cultivos de alta consistencia, la obtención fotosintética de O₂ alcanza incluso los 40 mg/L, de manera que con la irradiación correcta tienen la posibilidad de presentarse radicales de oxígeno libres (López, 2016, p.14). Estos radicales son altamente nocivos para las células y causan perjuicios en la estructura de sus membranas. Como solución para disminuir la presión parcial del O₂ en el cultivo debe incrementarse la turbulencia y stripping de aire (Malgas, 2013, p.98).

La agitación posibilita la eficacia en el transporte de otros factores influyentes en el crecimiento de microalgas, homogeniza el pH, afirma la organización de los gases y de la luz e imposibilita la precipitación de las microalgas y su adherencia a los lados del contenedor. Una precisa agitación conlleva a las microalgas a ciclos veloces de combinado, que en términos de milisegundos transitan de una región poco luminosa u oscura a una más iluminada. No obstante, sólo algunas de las especies soportan una oscilación dinámica que pretenda un óptimo mezclado en el reactor, dado que pueden presentar sensibilidad al estrés hidrodinámico (Malgas, 2013, p.45).

En el desarrollo de las microalgas, el grado de la temperatura es un indicador ambiental a tener en cuenta, ya que interviene en las capacidades de agilidad de las reacciones biosintéticas. La correlación entre temperatura y velocidad de desarrollo incrementa de forma exponencial hasta que se consigue la temperatura ideal. Una extensa diversidad de microalgas son capaces de crecer en un extenso nivel de temperaturas, como el género de *Chlorella* que es capaz de desarrollarse entre 5 y 42 °C, todas ellas muestran un rango de actividad, que al excederse se ven afectadas o hasta puedan llegar a morir.

Además, hay una incertidumbre muy extensa entre el nivel de temperatura máxima y mínima, es equivalente al calentamiento a lo largo de las horas del día con poca luz como la refrigeración a lo largo de las horas de más iluminación. De este modo, es más conveniente cuando sea viable la ocupación de frío o calor regenerado del propio crecimiento o de un crecimiento alterno industrial incorporado, para sostener un equilibrio neto conveniente de energía.

En el contexto el proceso de refrigeración puede ser obviada por medio de la utilización de sistemas que regularicen la proporción de luz que impacta en el reactor, como técnicas de sombra, disipación de la luz, etc. Distintos autores demostraron que en la situación de que el CO₂ o la incidencia de luz sean restrictivos en el cultivo, de este modo la temperatura no implica una predominación importante. (Malgas, 2013, p. 25).

En su libro *Freshwater Algae: Identification and Use as BioIndicators*, Bellinger y Sigeo (2010), Guamán y Gonzales con su Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce (2016), dan a conocer la taxonomía de la microalga que forma parte de la investigación:

La especie microalgal *Scenedesmus sp.*, de la familia *Scenedesmaceae*, presenta formaciones de colonias de hasta 32 células planas paralelas que se ubican en toda la extensión de la pared celular. La estructura de las paredes celulares es lisa y las células son elipsoidales u ovoides. La pared celular es blanda y carece de espinas. La reproducción es asexual se da por autoesporas, el desprendimiento de estas esporas se ocasiona por el rompimiento de la pared celular de los padres (Barsanti y Gualtieri, 2006). Los factores ambientales más significativos que determinan el crecimiento de la microalga *Scenedesmus sp.* son, calidad y cantidad de nutrientes, pH, turbulencia, luz, salinidad y temperatura. La microalga *Scenedesmus sp.* crece en medios ligeramente ácidos (Bermeo, 2011, p.18)

La biomasa depende directamente del suministro de nutrientes, así esta biomasa se considera como una alternativa fuente de proteínas que podría complementar la producción actual de los alimentos, ayudando a minimizar el déficit proteico existente en algunos países de América latina y África. La recolección y el secado suave de la biomasa dan como resultado una materia prima similar a la harina utilizada para la producción y / o bioenergía (Griep y Stalljohann, 2014, p.07).

Para la determinación de la calidad de dicha biomasa influye la no existencia de tejidos y órganos, uniéndose a ellos el mínimo en materiales estructurales, siendo más relevante en su composición la concentración de proteínas, con valores que superan al 50 por 100 del peso seco. Principalmente la biomasa microalgal es abundante en lípidos de distintas aplicaciones, cuyos valores están relacionados a la presencia o ausencia de nitrógeno. Debido a ello, en la actualidad se investigan las distintas especies de microalgas tanto para su uso como combustibles y lípidos consumibles. Destaca también la presencia de polisacáridos con una gran variedad de aplicaciones, prioritariamente en las industrias farmacéuticas y alimentaria (Dillschneider, 2014, p.08).

El Ciclo de Calvin es la principal ruta metabólica para la producción de compuestos orgánicos a partir de CO₂. En este proceso, la energía y la capacidad reductora del ATP y ADP, es oxidado rápidamente para la obtención de energía, combinados en polisacáridos de mínimo peso molecular para realizar las funciones de transporte en la microalga, o almacenados- excretados en largas cadenas de polisacáridos (Montenegro, 2009, p.15).

Muchas especies de microalgas provocan como resultado de su metabolismo distintos compuestos de uso industrial, que agregan como fracciones de su biomasa o, en ciertos casos, desprenden al exterior. Algunas microalgas excretan polímeros carbonados al medio, que en la actualidad son de gran interés en las investigaciones sobre microalgas en la composición y estructura, así como las condiciones nutricionales y ambientales que facilitan la producción de estos exopolisacáridos.

Por ejemplo, el caso de *Porphyridium*, se ha analizado la expulsión al medio de un polisacárido, que mediante las preparaciones y el aislamiento de esta microalga en niveles alimenticios, siendo descritas como potenciales activadoras de macrófagos/ monocitos humanos, "Immulina" de *Spirulina platensis* y *Scenedesmus acutus*, "Immunon" de *Aphanizomenon flos-aquae* e "Immurella" de *Chlorella pyrenoidosa*, llegando a ser entre cien y mil veces más eficientes para la activación *in vitro* de monocitos que las elaboraciones de polisacáridos que son empleados clínicamente en la actualidad para la inmunoterapia de cáncer (Abdala, Chabrilón, Pasini, 2010, p.16).

En menores trazos, pero no menos importantes, son las biomoléculas como fuente de diversas enzimas, que excretan las microalgas al medio de cultivo y son empleadas como sustancias biológicamente activas de aplicación farmacéutica, tales como toxinas y antibióticos y cuentan con el potencial para resolver problemas de energía. En las microalgas, hay enzimas especiales que contienen metales involucrados en transformaciones químicas complejas y transducción de señales en el metabolismo energético, además los investigadores descubrieron un mecanismo que podría hacer económicamente viable la producción biocatalítica de hidrógeno (Hemschemeier y Happe, 2017, p.21).

En las cantidades excretadas resultado del metabolismo algal, un estudio que tomó como organismo de estudio a *Scenedesmus Oblicus*, refiere que no son representativas, ya que, en los resultados con normalmente medidos sin detectar ninguna alteración biológica, como el ácido glicólico, fosfatasas alcalinas y un grupo amplio de exudados orgánicos (Montenegro, 2009, p.56). Distintas microalgas excretan carbohidratos y distintos compuestos orgánicos complejos que poseen la aptitud de adsorber cationes, convirtiéndolas prioritariamente atractivas en la eliminación de metales pesados originados en los efluentes de actividades industriales como metalurgia y minería, impidiendo su esparcimiento y amontonamiento en el ambiente y en la cadena trófica con el consecuente riesgo para las personas (McHenry, 2013, p.14; Orandi y Lewis, 2013, p.09).

En lo referente a usos de la biomasa de las microalgas verde-azuladas en los distintos países, podemos constatar que, en países como Chile, México, Perú y Filipinas son usadas para la alimentación humana, empleándose también como fertilizante verde en el Lejano Oriente, que han llegado a aislar cepas mutantes de microalgas verde-azuladas fijadoras de N, que son resistentes a pesticidas, que sugieren ventajas para su uso como fertilizante agrícola. Por otro lado, utilizando las microalgas se ha conseguido la fotoproducción efectiva y estable de amoníaco, composición de excepcional interés agrícola e industrial (Buchert, 2014, p.21).

Finalmente, algunas especies de microalgas llegan a ser inmovilizadas en diferentes clases de matrices naturales (alginato, carrageno, esponjas de lufa) o artificiales (acrilamida, poliuretano) facilitando un ambiente estable y protector que admite unas tasas de crecimiento elevadas, así como disposición para recuperar los posibles productos excretados al medio (Moreno-Garrido, 2008, p.37).

Para entender de mejor forma los sistemas de cultivo, es necesario entender la cinética de crecimiento de la microalga *Scenedesmus sp.*, inicialmente se deben conocer la valoración del ciclo de crecimiento y desarrollo de las microalgas, distinguido por mostrar diferentes fases como (Romo 2002, p.50):

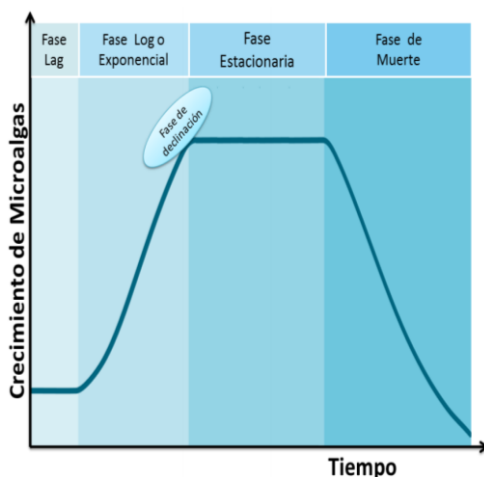


Figura 02. Cinética de crecimiento de las microalgas.

Fase lag o fase de adaptación: no presenta aumento en las cifras de células logrando inclusive llegar a reducir en número en proporción al inóculo inicial, esta fase ocurre en las primeras 24 horas.

Fase log o fase exponencial: luego de adaptadas al nuevo medio de cultivo, las microalgas empiezan a multiplicarse, debido a que la división celular provee nuevas células que tienen

la capacidad de volver a dividirse, aumentando así constantemente el número de microalgas de manera exponencial. De igual manera, acorde el cultivo va incrementándose se da la recesión de nutrientes, alteraciones de pH y cambios de otros factores como resultado del aumento de la población, sino existen mayores suministros de nutrientes la microalga disminuye su tasa de división celular. Transcurre entre el segundo al sexto día.

Fase estacionaria: en esta etapa se identifica por la ausencia de apreciación de la división celular, debido a que el número de células no tiene cambios significativos y se mantiene constante durante un periodo de tiempo, ocurre debido al equilibrio entre la natalidad y la mortalidad existente en el cultivo.

Fase de muerte: las células microalgales pueden permanecer en la fase estacionaria desde semanas hasta meses, sin embargo, lo más probable es que empiecen a morir, es cuando se presenta esta fase.

La productividad (o rendimiento) de las microalgas está fijada por el número neto de células de microalgas de un cultivo cosechadas diariamente. De este modo los cultivos con iluminación interna tienen una vida más prolongada; entre las especies más resistentes tenemos *Tetraselmis suecica*, *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutherii*, *Scenedesmus sp.* y *Chlorella vulgaris*, viven durante más de 100 días (Helm y Bourne, 2006).

En la conservación de la cepa *Scenedesmus sp.* se emplea el medio de cultivo Heusster-Merino, así como para el control durante la experiencia de investigación. Composición química del medio HM para 1000 ml de nutriente:

Tabla 3. *Composición y concentración del medio de cultivo Heusster- Merino.*

COMPOSICIÓN	CONCENTRACIÓN
UREA	352 gramos
Cloruro de Potasio (KCL)	330 gramos
Limadura de Hierro	5 gramos
Ácido Fosfórico (H3PO)	35 mililitros

Fuente: elaboración propia

Luego de haber descrito la realidad problemática, algunos estudios previos y las teorías relacionadas al tema, se formula el siguiente problema:

¿Cómo influye la aplicación de la microalga *Scenedesmus sp.* en la biorremediación de aguas residuales domésticas?

Para ello considero que la presente investigación se justifica porque actualmente en nuestro país se presenta una enorme deficiencia de tratamientos biológicos efectivos y de bajo costo. Un alto porcentaje de los efluentes residuales no son sometidas a ningún tipo de tratamiento. Consecuencia de estas carencias, gran parte de ecosistemas acuáticos, tanto marinos como continentales, están seriamente contaminados y muchos de ellos están en peligro de la extinción de especies debido a los altos índices acumulativos de contaminantes. En este sentido, la aplicación de microalgas como un procedimiento de tratamiento de efluentes domésticos es una opción ecológica, responsable y sostenible.

La contaminación de los cuerpos hídricos se ve reflejada en la eutrofización, lo que llega a ocasionar graves daños en las especies dependientes de este medio. En este argumento, el desarrollo e innovación de métodos y procesos tecnológicos orientados al cuidado del ambiente, la generación de energías limpias que sean de bajo costo y la reutilización de los residuos generados se ha tornado indispensable. La aplicación de este tipo de sistemas, además de aportar sostenibilidad ambiental y de mantenimiento, la implementación y manejo es de bajo costo, generando además ingresos económicos y puestos de trabajo.

En tal sentido la investigación logró proporcionar métodos que conlleven a la protección de los recursos y los ecosistemas que nos brinda la naturaleza, como es el caso, el uso de la microalga *Scenedesmus sp.*, es un método práctico, cómodo y amigable con el ambiente, además, la biomasa de esta microalga tiene un alto contenido en proteínas de las que se puede obtener una disolución de aminoácidos comercializable como puede ser empleada en distintas elaboraciones industriales y ser parte de una innovadora fuente de progreso económico y social. Por lo tanto, se hace preciso crear y fomentar procesos que contribuyan a mitigar los impactos nocivos que se producen por la inadecuada disposición de aguas residuales domésticas.

Una adecuada gestión y tratamiento de las aguas residuales domésticas antes de ser vertidas en las masas hídricas, en su depuración con técnicas biorremediadoras además de beneficiar social, ambiental y económicamente, aporta al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible acatados por la Food and Agriculture Organization (FAO, 2017, p.13).

El resultado de la investigación aceptará una hipótesis y descartará la otra, se presentan las siguientes:

H_a: La aplicación de la microalga *Scenedesmus sp.* sí influye en la biorremediación de aguas residuales domésticas.

H₀: La aplicación de la microalga *Scenedesmus sp.* no influye en la biorremediación de aguas residuales domésticas.

Como objetivo general se plantea: **determinar la influencia de la aplicación de la microalga *Scenedesmus sp.* en la biorremediación de aguas residuales domésticas.**

Como objetivos específicos se tienen los siguientes:

- Distribuir el agua residual doméstica en diluciones de 0%, 30%, 50% y 70%.
- Analizar el agua residual doméstica en los parámetros físicos y químicos antes de iniciar el tratamiento.
- Analizar el agua residual doméstica en los parámetros físicos y químicos después del tratamiento.
- Evaluar la capacidad de remoción de DBO5 y turbidez de la microalga *Scenedesmus sp.* en aguas residuales domésticas.

II. MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo de investigación es de carácter experimental, al contar con teoría, hipótesis, recolección y análisis de datos, descripción e interpretación de resultados, con el propósito de determinar la importancia de la variación de los factores fisicoquímicos en la biorremediación de la microalga *Scenedesmus sp.* cultivada en aguas residuales domésticas.

El tipo de estudio es de investigación cuantitativa ya que es un procedimiento de toma de decisión que pretende indicar resultados usando dimensiones numéricas (Acco, 2017, p.12).

Según su tiempo de ocurrencia la investigación es de tipo prospectivo que se apoya en la investigación mediante los métodos científicos, para ejecutar análisis en distintas áreas y establecer o tener una idea suficientemente próxima de lo que puede ocurrir en un futuro (Acco, 2017, p.13).

Diseño:

GE = O1 X O2 (Experimental)

GE = Grupo experimental

O1 = Análisis de la muestra antes de la aplicación del medio residual doméstico

X = Aplicación de diluciones de agua residual domestica

O2 = Análisis de la muestra después de la aplicación del medio residual doméstico

2.2 Operacionalización de variables

Variable(s)	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
VD Biorremediación de aguas residuales domesticas	Por biorremediación se entiende el uso y manejo de organismos vivos, pertenecientes a cualquier reino, para depurar o mitigar el impacto de ambientes contaminados. (Garzón, Rodríguez y Hernández, 2017, p.16)	La biorremediación. Es el aumento de la biomasa, en relación del espécimen vegetal que se emplee como biofiltro, adicional a las condiciones presentes de insolación, Ph, temperatura y concentraciones de nutrientes en el agua residual (Malgas, 2013, p.45).	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l) Oxígeno Disuelto (mg/l) Temperatura (°C) Conductividad Eléctrica (µS/cm) Turbidez (NTU) Solidos Totales (ml/l) pH (unidad) Salinidad (PSU)	Razón Intervalo
VI Microalga Scenedesmus sp.	La microalga <i>Scenedesmus sp.</i> es una microalga colonial, donde dos, cuatro u ocho células estiradas se unen. Frecuentemente presentan puntas espinosas en los extremos. Su presencia es común en aguas dulces y salobres en escenarios de nutrientes medio-altas, y según estudios se muestra su adaptabilidad para crecer en aguas residuales domésticas (Malgas, 201, p.3).	La selección y el control de los factores ambientales en las que se cultive esta microalga permitirá identificar los factores con mayor influencia en su crecimiento y captación de nutrientes, y así, obtener un mejor rendimiento en la reducción y posible separación de contaminantes existentes en el agua residual (Malgas, 2013, p.16).	-Nutrientes suministrados en el mantenimiento de la cepa y T0: Cloruro de Potasio, Limadura de Hierro, Ácido fosfórico y Urea. -Horas de luz solar de incidencia diarias en las Microalgas -Inyección continua de CO ₂ mediante un motor de aquarium Output 3L/min -Revoluciones manuales	Razón

2.3. Población, muestra y muestro

La población de estudio estuvo compuesta por 1 000 ml de la microalga del género *Scenedesmus sp.* por su capacidad de captación y asimilación de nutrientes presentes en el agua residual doméstica. La población de microalgas fue obtenida de la Universidad Agraria La Molina.

Para la muestra se tomaron 400 ml. de la especie de microalga *Scenedesmus sp.*

Muestro no probabilístico por conveniencia.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

La técnica e instrumentos de recolección de datos implican realizar un plan específico de procedimientos que nos lleven a reunir datos con un propósito concreto (Clesceri, Greenberg y Eaton, 1999, p.98).

Técnica de laboratorio:

Método electrométrico

Potencial de hidrógeno (pH) se realiza mediante la técnica de Electrometría, su fundamentación se basa en el registro potenciométrico de la reacción de los iones hidrógeno mediante el empleo de un electrodo de vidrio y otro de referencia, o si es posible de un electrodo combinado.

Método Winkler

Determinación de DBO₍₅₎ y Oxígeno Disuelto, se realiza mediante la técnica de Volumetría, para establecer el DBO₍₅₎ requerirá de botellas winkler oscuras, aplicando reactivos como cloruro férrico, cloruro de magnesio y cloruro de calcio, los cuales se trasladarán a incubar durante 05 días con una temperatura aproximada de 20-21 °C.

Método Gravimétrico

La determinación de los sólidos suspendidos totales (SST) está basada en el crecimiento de peso que se efectúa sobre un filtro de fibra de vidrio. El incremento de peso del filtro simboliza los sólidos totales en suspensión.

Método Inmersión de termómetro eléctrico

Determinación de Temperatura, se ejecuta mediante la técnica de Termometría, que nos indicará los grados Centígrados de temperatura que conserva dicha agua y con ello se nivelará la calidad del agua.

Método Turbidímetro

Determinación de Turbidez, realizada mediante la técnica: Turbidimetría, para determinar la turbidez se emplea 10 ml de agua residual y con el uso del turbidímetro se usará para calcular la cantidad de partículas suspendidas halladas en el agua.

Inicialmente la muestra se agita en el recipiente, luego se distribuye en las celdas evitando la formación de burbujas, con ello se coloca en el portaceldas, transcurridos unos segundos (3s -5s) se tendrán las lecturas.

Método Electrométrico

Determinación de Conductividad Eléctrica, mediante la técnica de Electrometría, para medir la conductividad se usa el conductímetro por tener mayor sensibilidad al medir las sales existentes en el agua, se requieren usa 150 ml del efluente, el tiempo de expectativa es entre 10 a 15 minutos para adquirir las lecturas.

Método Electrométrico

Determinación de Salinidad, mediante la técnica de Electrometría, el uso de un equipo portátil se presenta para proporcionar medidas fiables de la concentración de sales en el agua. Este instrumento de medición debe estar calibrado cada cierto tiempo con los patrones de salinidad conocidos, con ello se asegura la fiabilidad de las lecturas. La capacidad del agua para transportar la electricidad crece con la concentración de sales.

El siguiente trabajo de investigación requirió de las siguientes técnicas e instrumentos.

Una correcta observación y revisión documental, debe reunir dos condiciones básicas: confiabilidad y validez. El índice de validez de los instrumentos basará su confiabilidad mediante el juicio de expertos según el área donde se desarrolla el presente proyecto de tesina, los expertos consultados serán obligatoriamente los encargados (as) de los laboratorios en donde se desarrolla la investigación, estos

laboratorios son los de química y biotecnología, en su mayoría, son equipos que necesitan ser calibrados y con la debida confiabilidad del experto del laboratorio.

2.5. Procedimiento

El procedimiento que se llevó a cabo consta de las siguientes etapas:

- **Etapa Preliminar (a):** Para la recolección de la muestra de microalga *Scenedesmus sp.* se tuvo que visitar a la Universidad Nacional Agraria La Molina – La Molina, Lima, el día 25 de octubre del 2018 (realizado en la Tesina Ciclo Académico VIII), para realizar las coordinaciones a fin de adquirir el inóculo que permita realizar la investigación. Luego se tuvo que transportar la muestra en un cooler para su conservación en condiciones óptimas y evitar posible contaminación cruzada hasta la llegada a su destino en la ciudad de Chiclayo. Dichas acciones se realizaron como base de la investigación para el estudio de Tesina, en el ciclo académico 2018 II.
- **Etapa Preliminar (b):** En esta etapa se realizó el mantenimiento de la cepa de microalga *Scenedesmus sp.*. Mediante la adición de medio HM como medio de sustrato, la finalidad de esta etapa fue provocar el crecimiento microalgal hasta los niveles necesarios de la investigación, el procedimiento se llevó a cabo en 1 mes. Dichas acciones se realizaron como base de la investigación para el estudio de Tesina, en el ciclo académico 2018 II.
- **Etapa Preliminar (c):** El uso de un biorreactor se vuelve indispensable para la realización del estudio, por ello se armó un biorreactor vertical simple, que satisfaga las pautas requeridas de almacenamiento de los inóculos y posterior adición del efluente residual doméstico.
- **Etapa Preliminar (d):** En esta etapa se realizó el cuidado del inóculo y el control de la cepa, revisando la adaptación de este al biorreactor, por un periodo de una semana, con la adición del sustrato HM en dicho lapso, con la inyección continua de CO₂ mediante un motor de aquarium Output 3L/min y revoluciones manuales.
- **Primera etapa:** Se realizó el muestreo del agua residual, esto lleva a relacionarse con las nociones básicas de la toma de muestras o muestreo de los efluentes, para así poder ejecutar las determinaciones con la rigurosidad necesaria.
- **Segunda etapa:** En esta etapa se realizará el análisis del agua residual, aquí se analizará en parámetros de pH, temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno,

turbidez, Sólidos Totales, Conductividad Eléctrica y Salinidad, para obtener la línea base del grupo de control. Esta agua residual fue homogenizada y distribuida en los tres contenedores, cada uno con una capacidad de volumen de 1 litro, posteriormente se agregó la microalga en las diluciones correspondientes. Se realizó la agitación del agua de manera manual, y el seguimiento de crecimiento de las microalgas, el color y olor del agua, y el aspecto general de las microalgas, entre otros, con la finalidad que estas no presenten inhibición y se adapten a su nuevo ambiente.

Tabla 04. *Dilución del agua residual doméstica para el tratamiento de biorremediación.*

TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL				
Parámetros	T₀	T₁	T₂	T₃
(ml)	0% H-M	(30 %)	(50 %)	(70 %)
Agua residual	0	300	500	700
Agua Destilada	900	600	400	200
Inóculo	100	100	100	100
Total (ml)	1 000	1 000	1 000	1 000

Fuente: elaboración propia.

- **Sub etapa (a):** Demanda Bioquímica de Oxígeno
En esta subetapa se procedió a preparar las soluciones que se emplearán en el análisis de DBO₅ y análisis de Oxígeno Disuelto.
- **Sub etapa (b):** Turbidez
Para el análisis de la Turbidez se utilizó el turbidímetro, un equipo que mide la presencia de materia orgánica mediante un rayo de luz.
- **Sub etapa (c):** Multiparámetro
En el equipo multiparámetro se realizaron las lecturas que corresponden a Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Sólidos Totales Disueltos y Salinidad.
- **Tercera Etapa:** Durante esta etapa se evaluó, monitoreó y supervisó la evolución y adaptación de las microalgas al nuevo medio residual, cabe recalcar que cada tratamiento contenía su propia dilución.

Como se mencionó previamente el tratamiento T0, contenía 0 ml de agua residual, 900 ml de agua destilada y 100 ml de inóculo, para este tratamiento en particular que requirió una atención especial, ya que el suministro del Medio Heusster- Merino fue requerido para mantener la cepa con vida y compara los parámetros físico-químico de desarrollo con los tratamientos (T1, T2 y T3). Para ello la adición se realizó una vez a la semana, lo que quiere decir dos veces durante todo el estudio.

- **Cuarta Etapa:** Se registraron los datos referentes a los indicadores considerados para la microalga *Scenedesmus sp.*
- **Quinta Etapa:** Para conseguir una visión clara de lo que ocurría a nivel microscópico de las microalgas y el medio residual, se procedió a observar a la microalga *Scenedesmus sp.* en el microscopio del Laboratorio de Microbiología y Biotecnología de la Universidad César Vallejo, el objetivo normalmente tuvo un aumento de 4x por lo que amplifica una imagen 40 veces su tamaño normal.
- **Sexta Etapa:** Se realizó como trabajo de gabinete, se interpretaron los datos obtenidos después de los análisis proporcionados, dicho procedimiento que llevó a la comparación con otras investigaciones relacionadas, para finalmente llegar a la discusión y las conclusiones del estudio realizado.

2.6. Métodos de análisis de datos

Respecto al análisis de datos, se utilizó la estadística descriptiva. Se realizó el análisis de estadística descriptiva para cada una de las dimensiones de la matriz (ítems) y luego la variable de estudio, se registraron datos en tablas y los representaron en gráficos. Se realizaron mediante la hoja de cálculo: Excel, para lograr procesar la data cuantitativa, se ingresaron los datos para adquirir las gráficas e interpretarlas.

2.7. Aspectos éticos

El proceso de la información y datos, en su totalidad fueron conseguidos mediante la investigación propia desde la bibliografía virtual y física, asesoramiento de profesionales capacitados hasta los métodos de lectura empleados, donde se verificará la veracidad de todos los datos, siendo obtenidos de fuentes confiables, en cuanto a la confiabilidad de los datos que se conseguirán mediante el desarrollo de la presente investigación se registrará muestras fotográficas en todo el proceso. Este trabajo de investigación fue citado de acuerdo a la Norma ISO 690 tal y como lo recomienda la Universidad César Vallejo en su reglamento para su aplicación.

III. RESULTADOS

La tesis fue desarrollada en el Laboratorio de Biotecnología y el Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería Ambiental en la Universidad César Vallejo filial Chiclayo, Perú.

Respecto a la conservación de la cepa *Scenedesmus sp.* se usó el medio de cultivo Heusster- Merino para mantenimiento de cepa T0, así como para el control durante la práctica de investigación, entre otros indicadores generales del biorreactor, como horas de luz de incidencia diaria en las microalgas. Durante cada etapa y tratamiento se mantuvo la inyección de CO₂ mediante un motor de aquarium Output 3L/min totales, lo que corresponde a cada tratamiento 0.75 L/ min; así mismo con revoluciones manuales.

Como se especificará en las siguientes tablas:

Tabla 05. *Nutriente Heusster- Merino para el mantenimiento de la cepa control de tratamiento T0, composición química del medio HM para 1000 ml de nutriente.*

Composición	Concentración para 1000 ml	Total en T0
UREA	352 gramos	704 gramos
Cloruro de Potasio (KCL)	330 gramos	660 gramos
Limadura de Hierro	5 gramos	10 gramos
Ácido Fosfórico (H3PO)	35 mililitros	70 gramos

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Durante la experiencia para el tratamiento denominado T0, se suministró medio nutritivo Heusster- Merino, el que consta de componentes como UREA, Cloruro de potasio, Limadura de Hierro y Ácido fosfórico, en las concentraciones determinadas este medio provee los nutrientes necesarios para mantener viva la cepa y cumpliendo su ciclo de crecimiento. Se observan las dosis aplicadas, concluyendo en la segunda semana (total de dos aplicaciones en las fechas en el 21 de octubre y 30 de octubre), se puede señalar que se suministró un total de 704 gramos de UREA, 660 gramos de

Cloruro de potasio, 10 gramos de Limadura de Hierro y 35 mililitros de Ácido fosfórico.

Tabla 06. *Horas de luz natural en la incidencia diaria de la microalga Scenedesmus sp.*

Horas de luz de incidencia en las microalgas	
Diarias	8
Semanales	56
Total por tratamiento	112

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

La obtención de energía de la luz es indispensable para el crecimiento y desarrollo de las microalgas, por ello ésta estuvo expuesta a la luz solar, diariamente la incidencia fue de 8 horas, en una semana 56 horas y finalmente para el total del tratamiento se calcularon 112 horas de incidencia en horas de luz.

Tabla 07. *Inyección continua de CO₂ al biorreactor.*

Inyección de CO₂ con el motor Aquarium		
		Total por tratamiento
Output minuto	3 L/ min	0,75 L/min
Total en biorreactor	60 480 L	15 120 L

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

La inyección de CO₂ corresponde a un indicador en las microalgas, el motor de Aquarium facilitó la inyección de CO₂, el suministro por minuto fue en un Output de 3L/min y 0.75 L/min en cada tratamiento, durante todo el tratamiento, transcurso de dos semanas, la inyección en el biorreactor fue de 60 480 L, y por la distribución de los cuatro tratamientos fue de 15 120 L de CO₂.

Tabla 08. *Revoluciones manuales en biorreactor*

Revoluciones manuales		
Tiempo	Veces semanales	Total por tratamiento
15 segundos	3 veces	90 segundos

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Las revoluciones manuales se llevaron a cabo con la finalidad de evitar sedimentación de la microalga *Scenedesmus sp.*, y homogeneizar la presencia de sales, oligoelementos y temperatura, las revoluciones tuvieron una duración de 15 segundos por tratamiento, en un lapso de 3 veces por semana. El tratamiento total se llevó a cabo en dos semanas, por ello las revoluciones fueron de 90 segundos en cada contenedor.

El tratamiento del agua residual doméstica consistió en dejar reposar el agua por un periodo de 5 horas con la finalidad de sedimentar materiales gruesos que puedan estar presentes. En laboratorio se realizaron las diluciones correspondientes y se analizaron los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno, pH, conductividad, Oxígeno Disuelto, Temperatura, Salinidad y Turbidez, cada tratamiento se realizó en tres etapas.

Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla:

Tabla 09. *Composición inicial de DBO del agua residual doméstica.*

Primera Etapa Análisis de Demanda Bioquímica Oxígeno (mg/l)				
	T0	T1	T2	T3
OD inicial	8.09	5.46	4.95	4.56
OD final	7.89	2.44	1.26	0.12
DBO	20	302	369	444

Fuente: elaboración propia

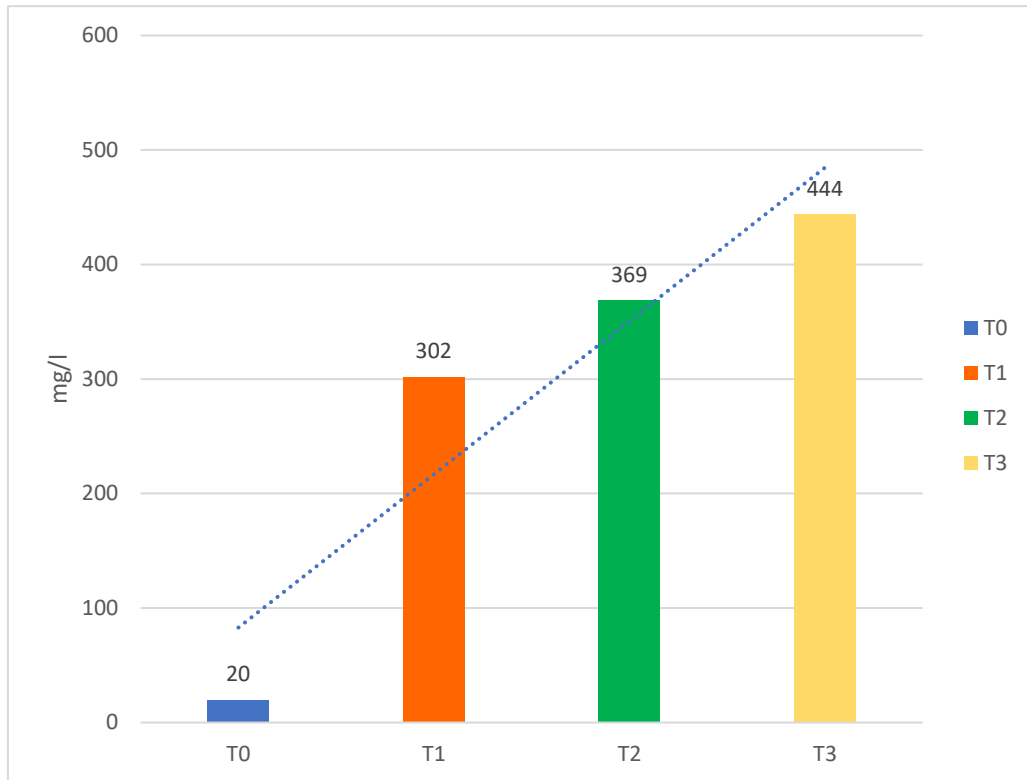


Figura 03. Resultados de la primera etapa de análisis de DBO.

Interpretación:

A excepción del Tratamiento T0 (20 mg/l), los valores de los tratamientos T1 (302 mg/l), T2 (369 mg/l) y T3 (444 mg/l), lo que indican un nivel elevado de Demanda Bioquímica de Oxígeno. La línea de tendencia está en ascenso.

Tabla 10. Composición intermedia de DBO del agua residual doméstica.

Segunda Etapa Análisis Oxígeno Disuelto				
	T0	T1	T2	T3
OD inicial	2.64	6.54	5.42	5.66
OD final	2.30	6.45	5.11	5.06
DBO	34	9	31	60

Fuente: Elaboración Propia

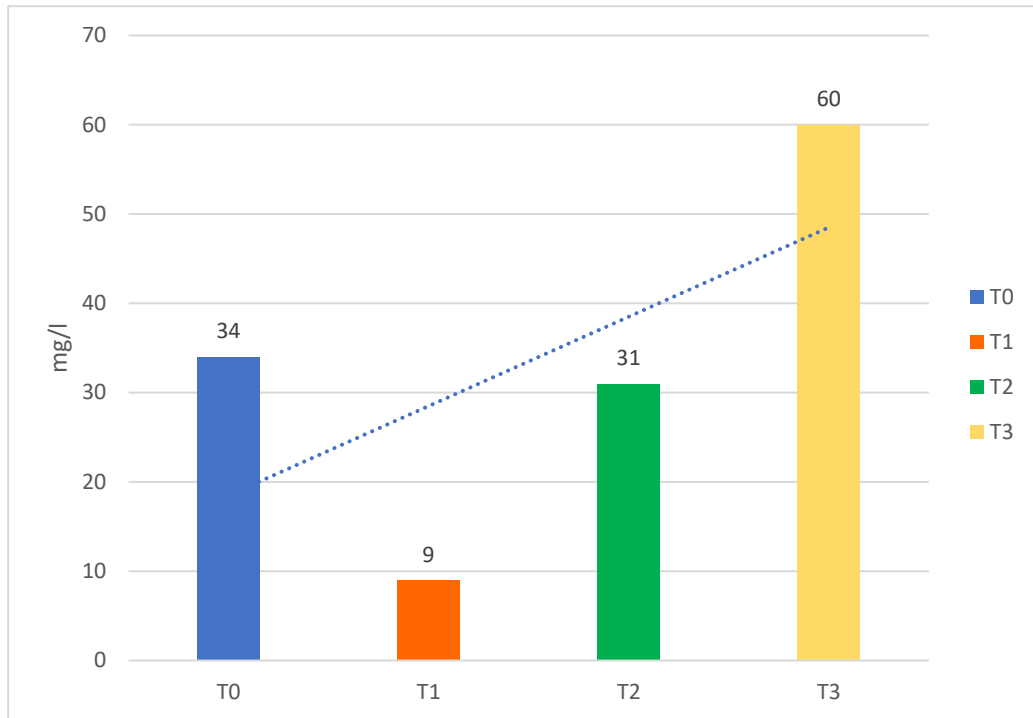


Figura 04. Resultados de la segunda etapa de análisis de DBO.

Interpretación:

Respecto a las lecturas de los tratamientos se observa que el valor más alto sigue teniendo T3 (60 mg/l), luego T0 con 34 mg/l, posteriormente T2 (31 mg/l) y el nivel más bajo es para T1 con 9 mg/l. La línea de tendencia está en ascenso.

Tabla 11. Composición final de DBO del agua residual doméstica.

Tercera Etapa Análisis Oxígeno Disuelto				
	T0	T1	T2	T3
OD inicial	7.02	6.90	6.86	5.83
OD final	6.97	6.81	6.75	5.69
DBO	5	9	11	14

Fuente: Elaboración Propia.

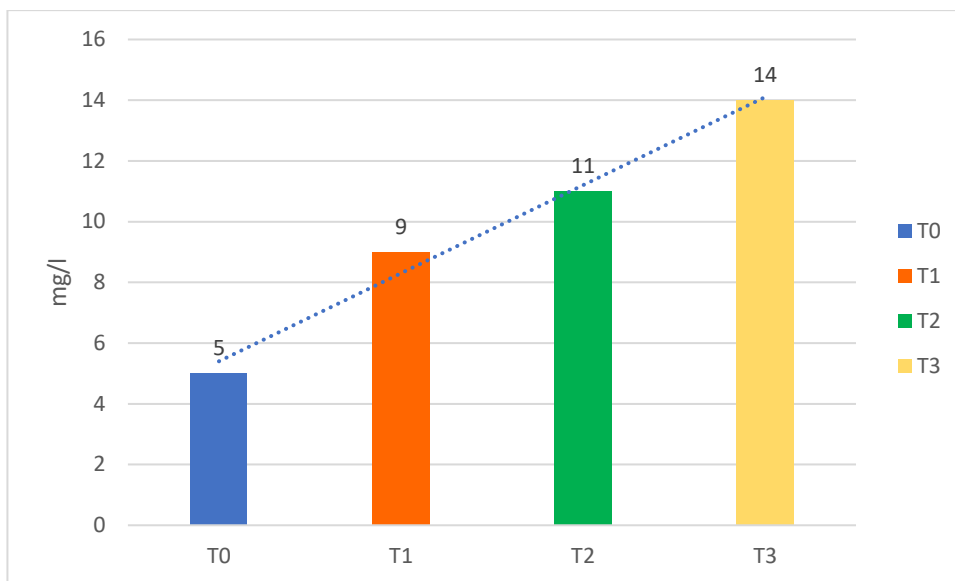


Figura 05. Resultados de la tercera etapa de análisis de DBO

Interpretación:

Los niveles de disminución de DBO5, son visibles en las lecturas, en el T0 se obtuvo 5 mg/l, en T1 9 mg/l, T2 11 mg/l y T3 14 mg/l. Como se observa en la línea de tendencia que va en incremento desde el primer tratamiento (T0) hasta T3. La línea de tendencia está en ascenso.

Para la facilidad en la denotación visual comparativa, se presentan una serie de tablas y figuras representativas de cada parámetro y etapa evaluada por grupo de tratamiento respecto a Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Tabla 12. Composición de DBO del agua residual doméstica.

Demanda Bioquímica De Oxígeno (mg/l)	Etapas	T0	T1	T2	T3
	Primera Etapa DBO5	20	302	369	444
	Segunda Etapa DBO5	34	9	31	60
	Tercera Etapa DBO5	5	9	11	14

Fuente: Elaboración Propia

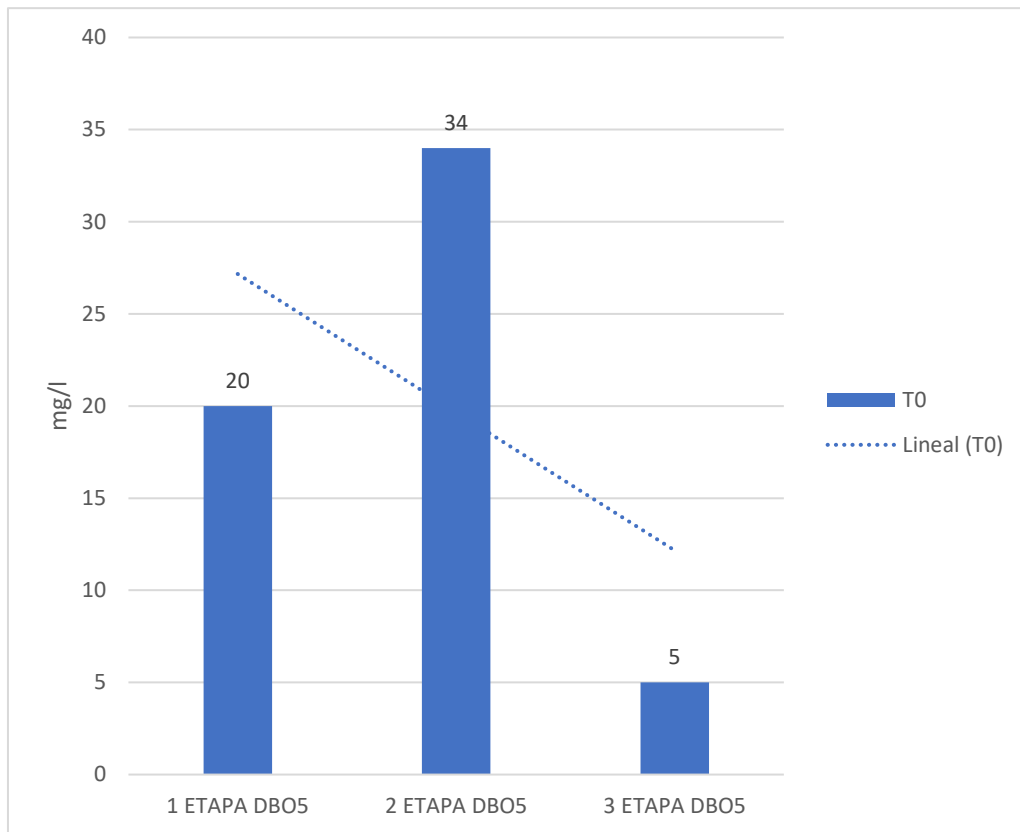


Figura 06. Resultados de análisis de DBO en tratamiento T0

Interpretación:

Durante la primera etapa de tratamiento el DBO5 para T0, los resultados muestran 20 mg/l, el transcurso a la segunda semana la lectura fue de 34 mg/l, hasta la etapa final llegando a una lectura de 5 mg/l. La línea de tendencia está en descenso.

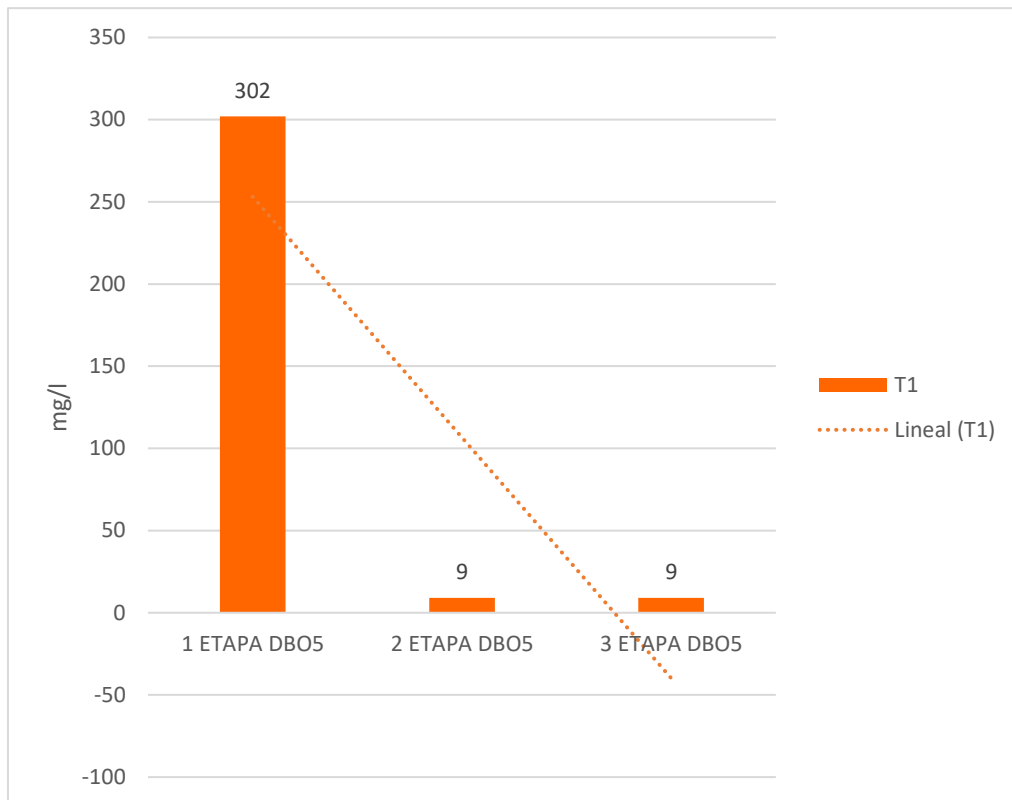


Figura 07. Resultados de análisis de DBO en tratamiento T1

Interpretación:

La primera etapa de tratamiento de Demanda Bioquímica de Oxígeno muestra una alta demanda en dicho parámetro (32 mg/l), que según abala la línea de tendencia estos valores disminuyen llegando en la segunda y tercera etapa a 9 mg/l. La línea de tendencia está en descenso.

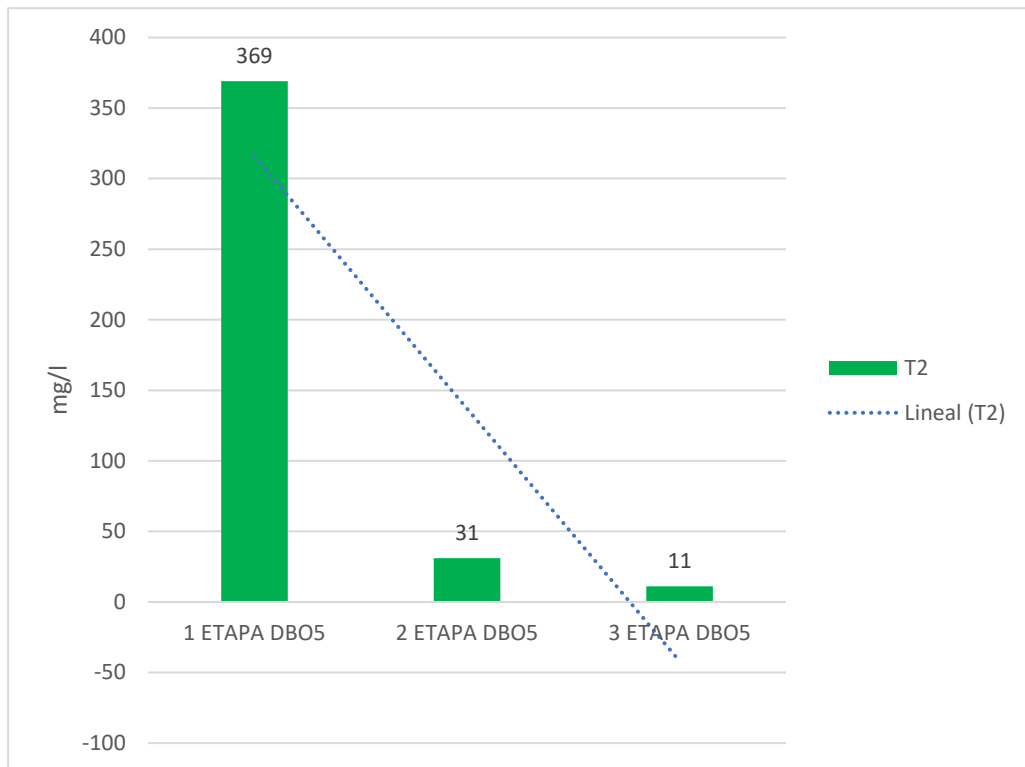


Figura 08. Resultados de análisis de DBO en tratamiento T2

Interpretación:

El resultado de la primera etapa muestra lecturas de 369 mg/l, mostrando un deceso según la línea de tendencia en la segunda etapa a 31 mg/l, llegando a la tercera etapa con 11 mg/l. La línea de tendencia está en descenso.

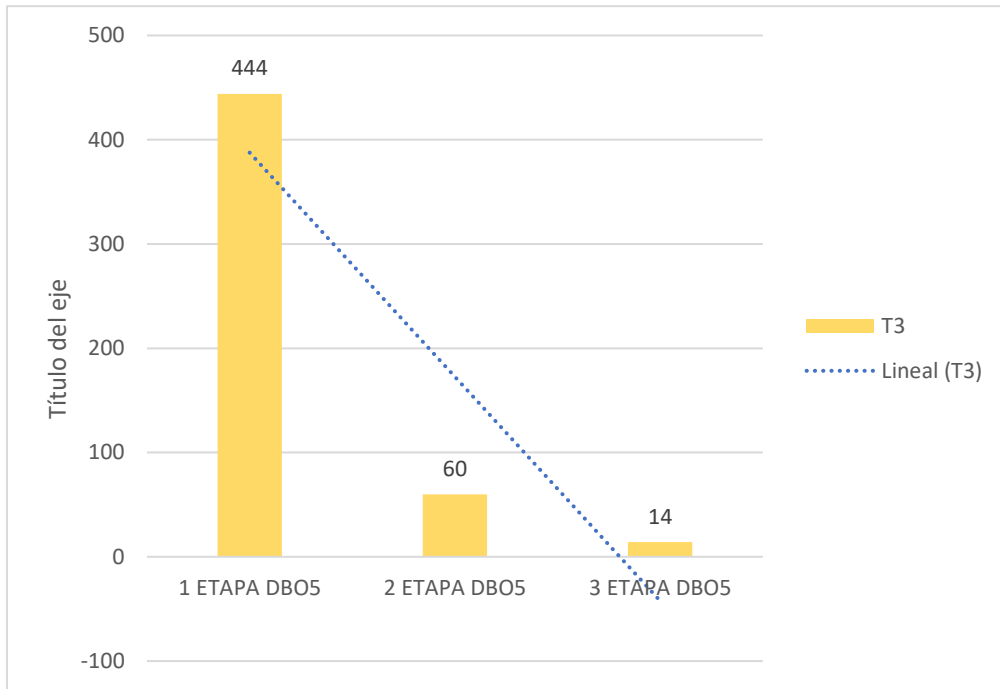


Figura 09. Resultados de análisis de DBO en tratamiento T3

Interpretación:

En el tratamiento T3, la reducción es evidente pero más pausada, ya que en la primera etapa la lectura fue de 444 mg/l, un valor muy alto, que llegó a 60 mg/l en la segunda etapa de análisis y finalmente 14 mg/l en la tercera. La línea de tendencia está en descenso.

Tabla 13. Composición inicial de Oxígeno Disuelto del agua residual doméstica.

Primera Etapa Análisis Oxígeno Disuelto				
	T0	T1	T2	T3
Oxígeno Disuelto	8.09	5.46	4.95	4.56

Fuente: Elaboración Propia

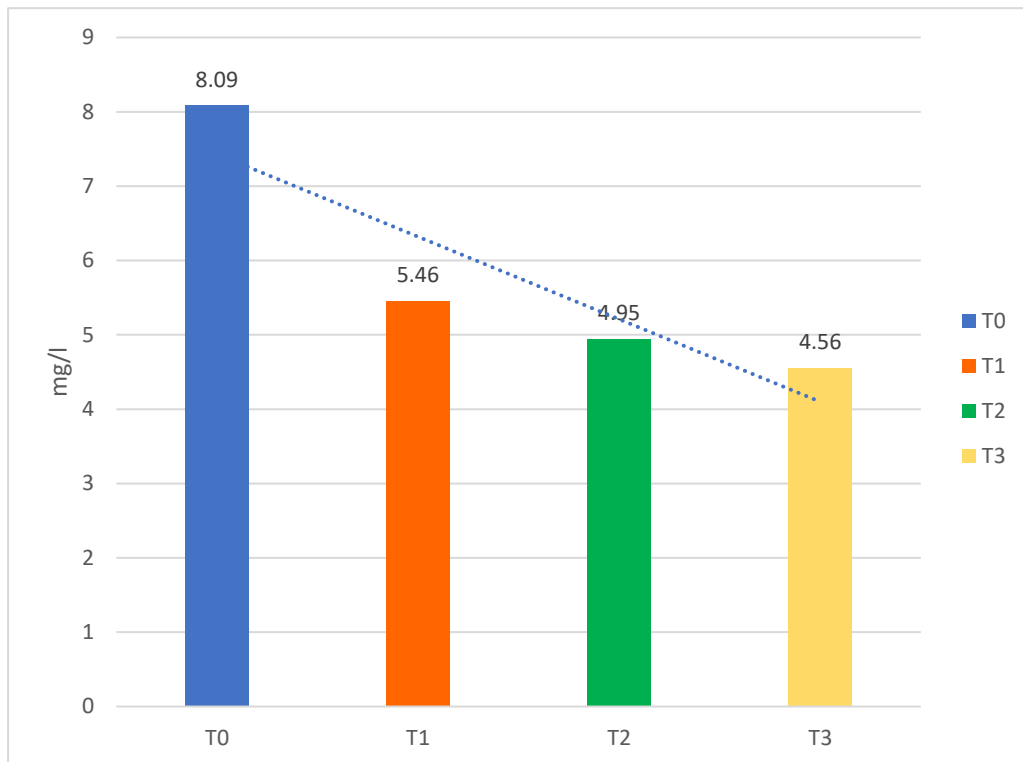


Figura 10. Resultados de la primera etapa de análisis de Oxígeno Disuelto

Interpretación:

Los valores según se muestran en la línea de tendencia van en descenso, mostrando la mayor presencia de Oxígeno Disuelto en T0 con 8.09, le sigue el tratamiento T1 con una lectura de 5.46 mg/l, y T2 con 4,95, finalmente T3 con 4,56 mg/l. La línea de tendencia está en descenso.

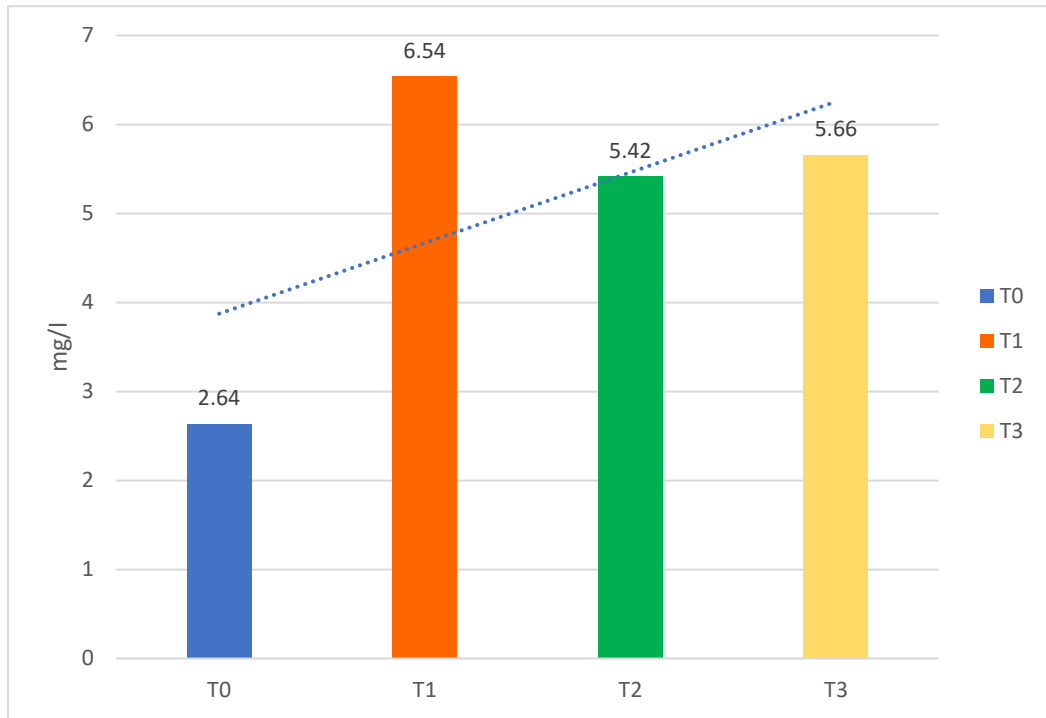


Figura 11. Resultados de la etapa intermedia de análisis de Oxígeno Disuelto

Interpretación:

En la segunda etapa de análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno, el tratamiento de T0 da lectura de 2.64 mg/l, para T1 6,54 mg/l, en T2 5,42 mg/l y T3 con 5.66 mg/l. La línea de tendencia está en ascenso.

Tabla 14. Composición intermedia de Oxígeno Disuelto del agua residual doméstica.

Segunda Etapa Análisis Oxígeno Disuelto				
	T0	T1	T2	T3
Oxígeno Disuelto	2.64	6.54	5.42	5.66

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15. Composición final de Oxígeno Disuelto del agua residual doméstica

Tercera Etapa Análisis Oxígeno Disuelto				
	T0	T1	T2	T3
Oxígeno Disuelto	7.02	6.90	6.86	5.83

Fuente: Elaboración Propia

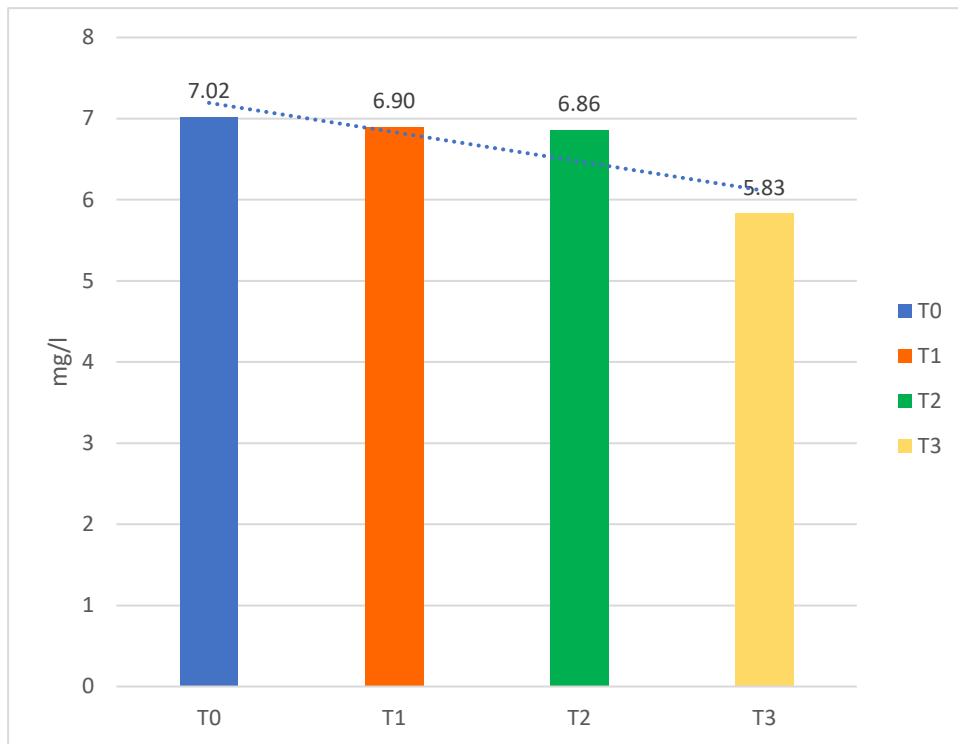


Figura 12. Resultados de la tercera etapa de análisis de Oxígeno Disuelto

Interpretación:

La tercera etapa de análisis de Oxígeno Disuelto muestra las siguientes lecturas para los tratamientos: T0 con 7,02 mg/l, T1 con 6,90 mg/l, T2 lectura de 6,86 mg/l y T3 de 5,83 mg/l. La línea de tendencia está en descenso.

Para la facilidad en la denotación visual comparativa, se presentan una serie de tablas y figuras representativas de cada parámetro y etapa evaluada por grupo de tratamiento respecto a Oxígeno Disuelto.

Tabla 16. *Composición de Oxígeno Disuelto del agua residual doméstica*

Oxígeno Disuelto (mg/l)	Etapas	T0	T1	T2	T3
	Primera Etapa	8.09	5.46	4.95	4.56
	Segunda Etapa	2.64	6.54	5.42	5.66
	Tercera Etapa	7.02	6.90	6.86	5.83

Fuente: Elaboración Propia

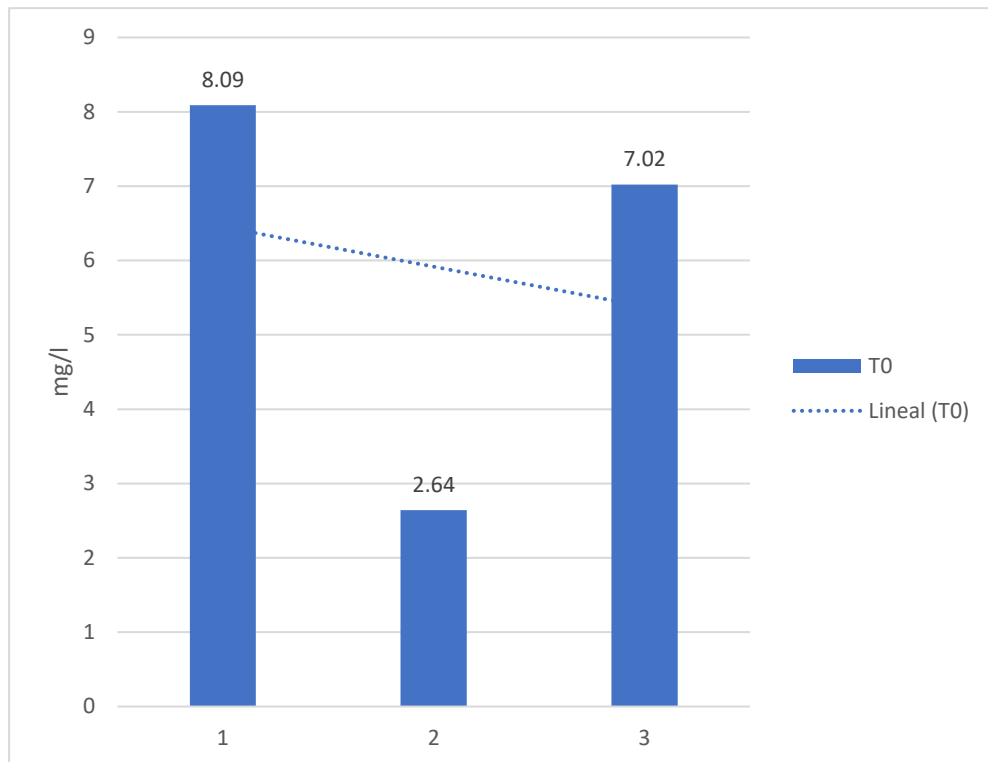


Figura 13. Resultados de análisis de Oxígeno Disuelto en tratamiento T0

Interpretación:

Durante los análisis realizados de Oxígeno Disuelto en las tres etapas al tratamiento T0, inicialmente se obtuvo un valor de 8.09 mg/l, que descendió en la segunda etapa a 2.64 mg/l, hasta finalmente en la tercera etapa llegar a 7.02 mg/l. La línea de tendencia está en descenso.

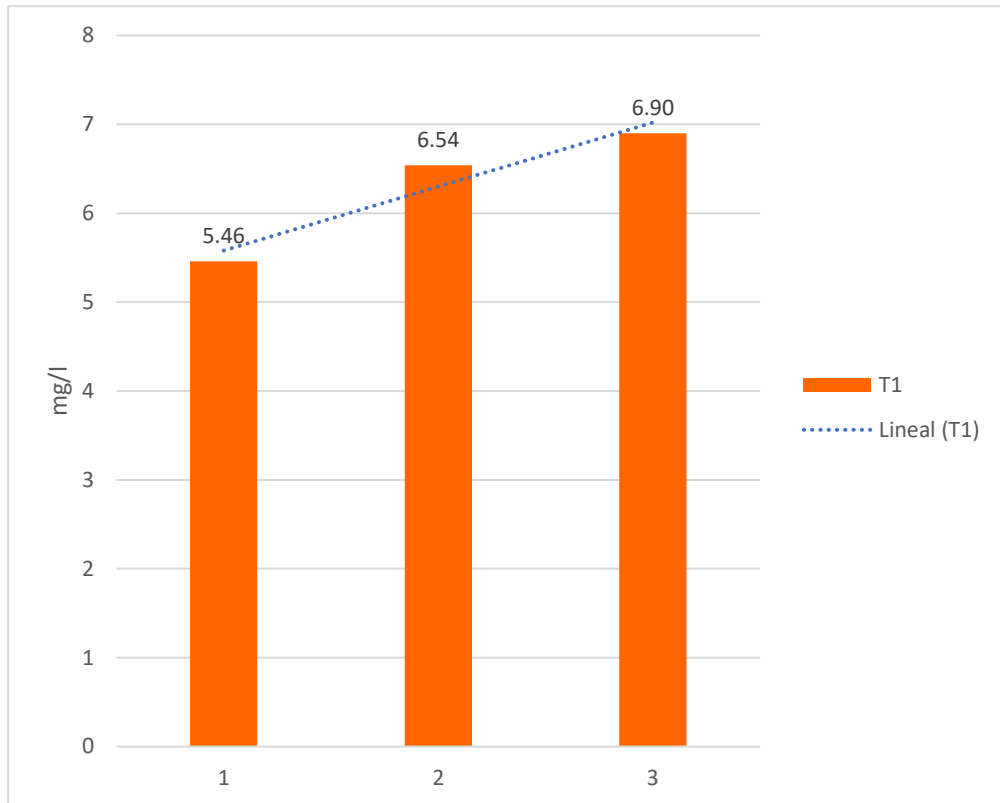


Figura 14. Resultados de análisis de Oxígeno Disuelto en tratamiento T1

Interpretación:

Se visualiza la línea de tendencia en incremento respecto al tiempo de duración del tratamiento, en la primera etapa 5.46 mg/l, para la segunda etapa 6.54 mg/l y finalmente 6.90 mg/l en la tercera etapa. La línea de tendencia está en ascenso.

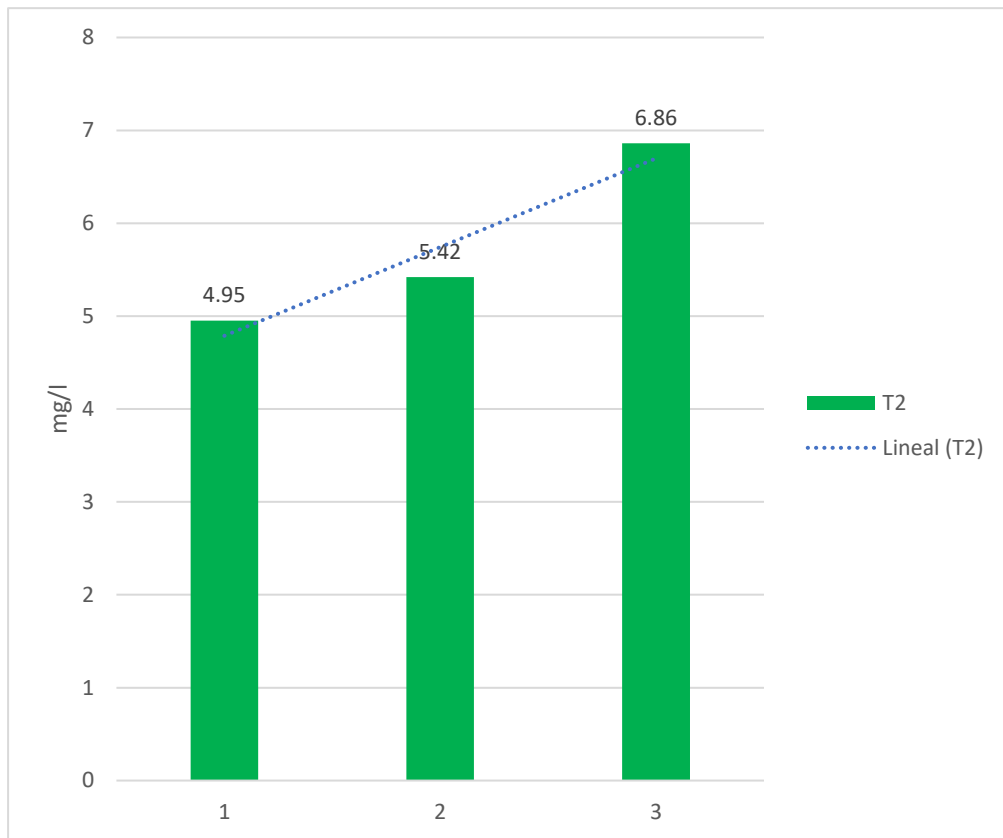


Figura 15. Resultados de análisis de Oxígeno Disuelto en tratamiento T2

Interpretación:

Las etapas de tratamiento T2, según la línea de tendencia muestran valores en ascenso, en la primera lectura 4.95 mg/l, en la segunda lectura 5.42 mg/l y en la tercera lectura 6.86 mg/l. La línea de tendencia está en ascenso.

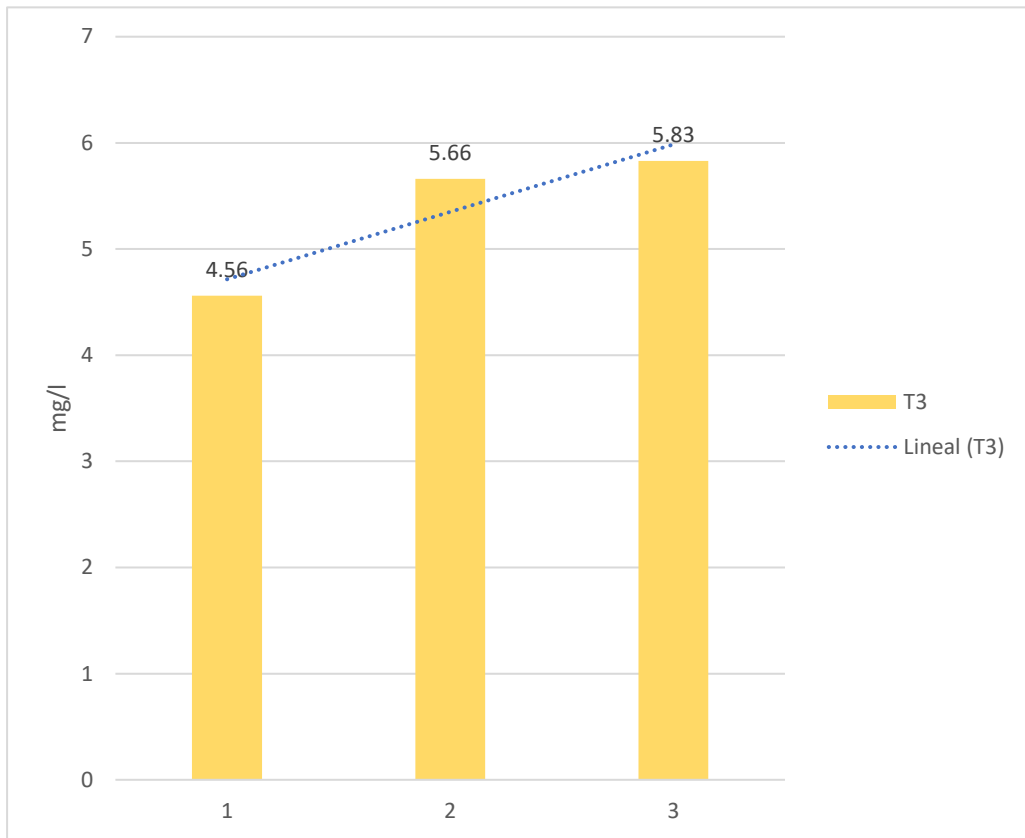


Figura 16. Resultados de análisis de Oxígeno Disuelto en tratamiento T3

Interpretación:

Los resultados del tratamiento para T3 muestran las lecturas de dicho parámetro; para la primera etapa 4.56 mg/l, para la segunda etapa 5.66 mg/l y 5.83 para la tercera etapa. La línea de tendencia está en ascenso.

Tabla 17. *Composición inicial de turbidez del agua residual doméstica.*

Primera Etapa Análisis Turbidez				
	T0	T1	T2	T3
Turbidez	8.89	92.2	116	244

Fuente: Elaboración Propia

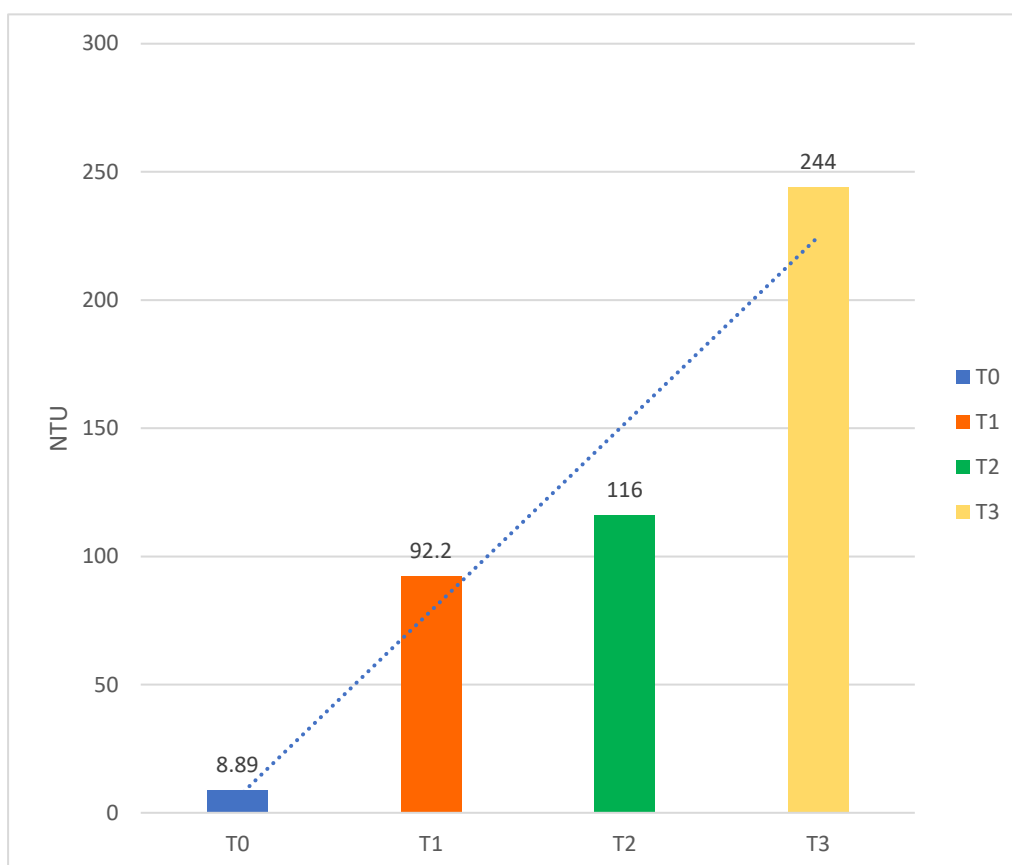


Figura 17. Resultados de primera etapa de análisis de Turbidez

Interpretación:

La turbidez en todos los tratamientos (T0, T1, T2 y T3) es representativa al nivel de dilución correspondiente, donde los valores son T0 con 8.89 NTU, T1 con 92.2 NTU, T2 con 116 NTU y T3 con 244 NTU. La línea de tendencia está en ascenso.

Tabla 18. *Composición intermedia de turbidez del agua residual doméstica.*
Segunda Etapa Análisis Turbidez

	T0	T1	T2	T3
Turbidez	12.4	10.1	18.2	43.2

Fuente: Elaboración Propia

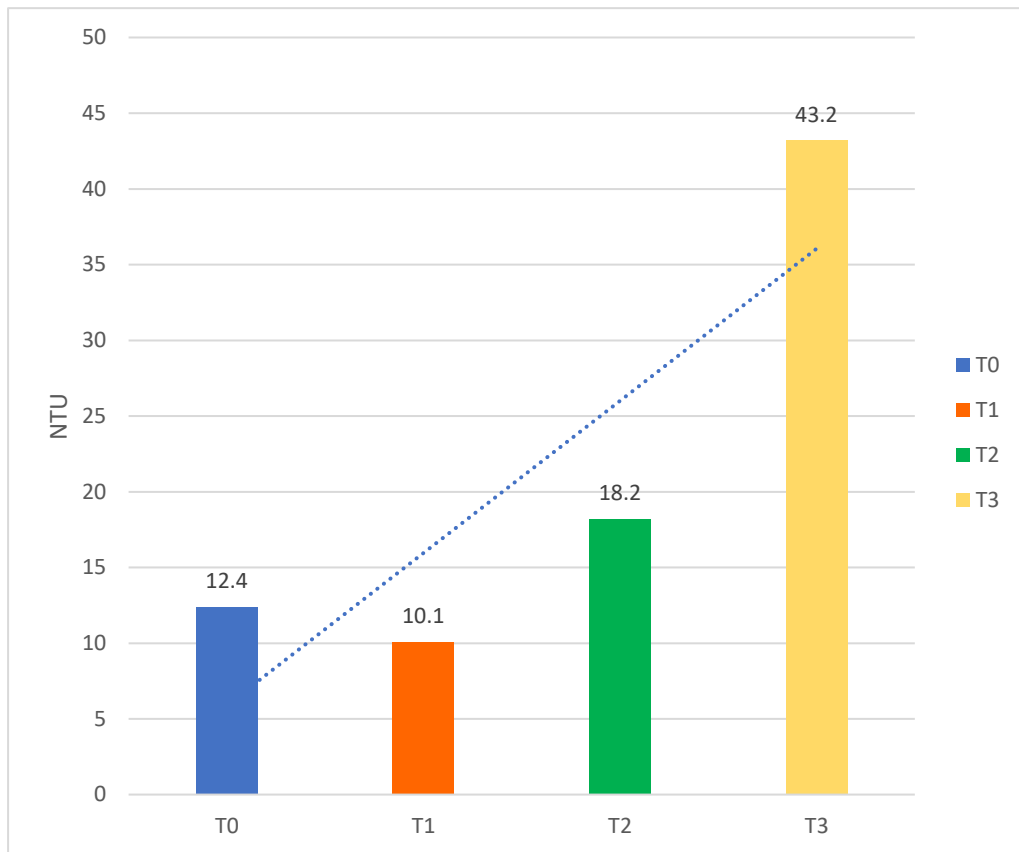


Figura 18. Resultados de segunda etapa de análisis de Turbidez

Interpretación:

La segunda etapa de los tratamientos muestra valores para T0 de 12.4 NTU, T1 de 10.1 NTU, T2 de 18.2 NTU y finalmente T3 con 43.2 NTU. La línea de tendencia está en ascenso.

Tabla 19. Composición intermedia de turbidez del agua residual doméstica.
Tercera Etapa Análisis Turbidez

	T0	T1	T2	T3
Turbidez	1.18	6.09	8.34	9.20

Fuente: Elaboración Propia

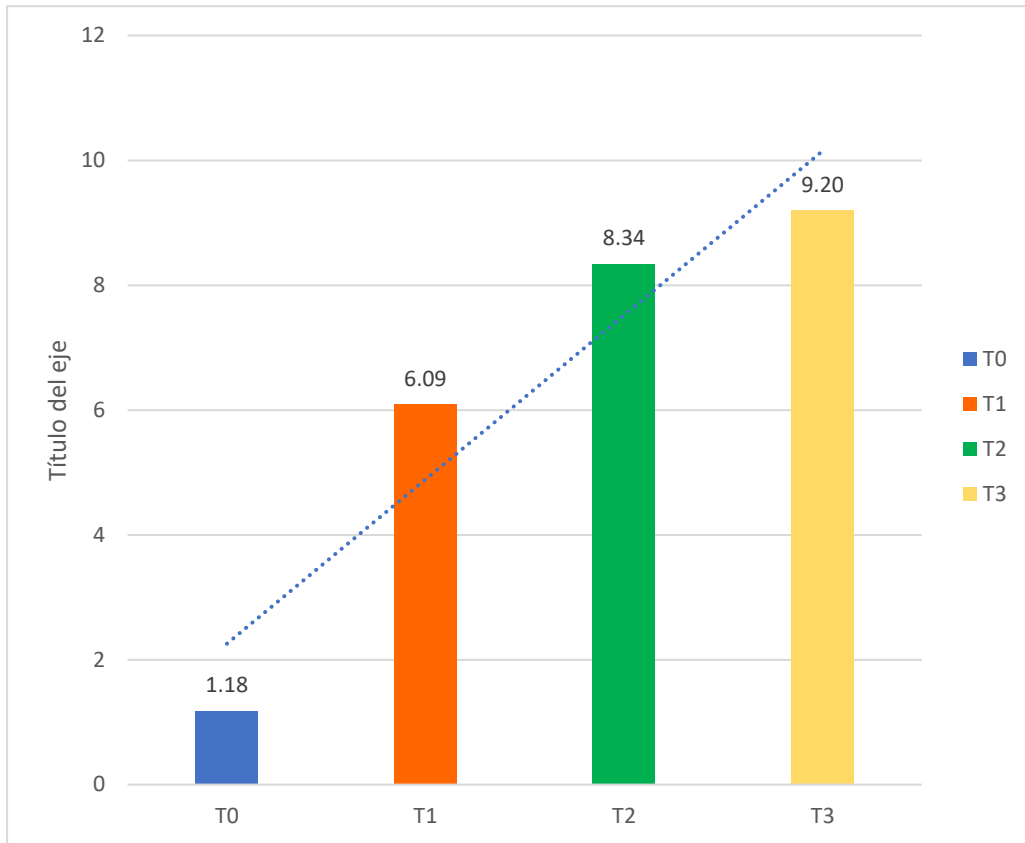


Figura 19. Resultados de tercera etapa de análisis de Turbidez

Interpretación:

Para la tercera etapa de análisis de los tratamientos analizados se muestran lecturas en incremento según la línea de tendencia, los valores menores los tiene T0 y T1 con 1.18 NTU y 6.09 NTU respectivamente, para T2 y T3, 8.34 NTU y 9.20 NTU proporcionalmente. La línea de tendencia está en ascenso.

Para la facilidad en la denotación visual comparativa, se presentan una serie de tablas y figuras representativas de cada parámetro y etapa evaluada por grupo de tratamiento respecto a Oxígeno Disuelto.

Tabla 20. Composición de Turbidez del agua residual doméstica

Turbidez (NTU)	Etapas	T0	T1	T2	T3
	Primera Etapa	8.89	92.2	116	244
	Segunda Etapa	12.4	10.1	18.2	43.2
	Tercera Etapa	1.18	6.09	8.34	9.20

Fuente: Elaboración Propia

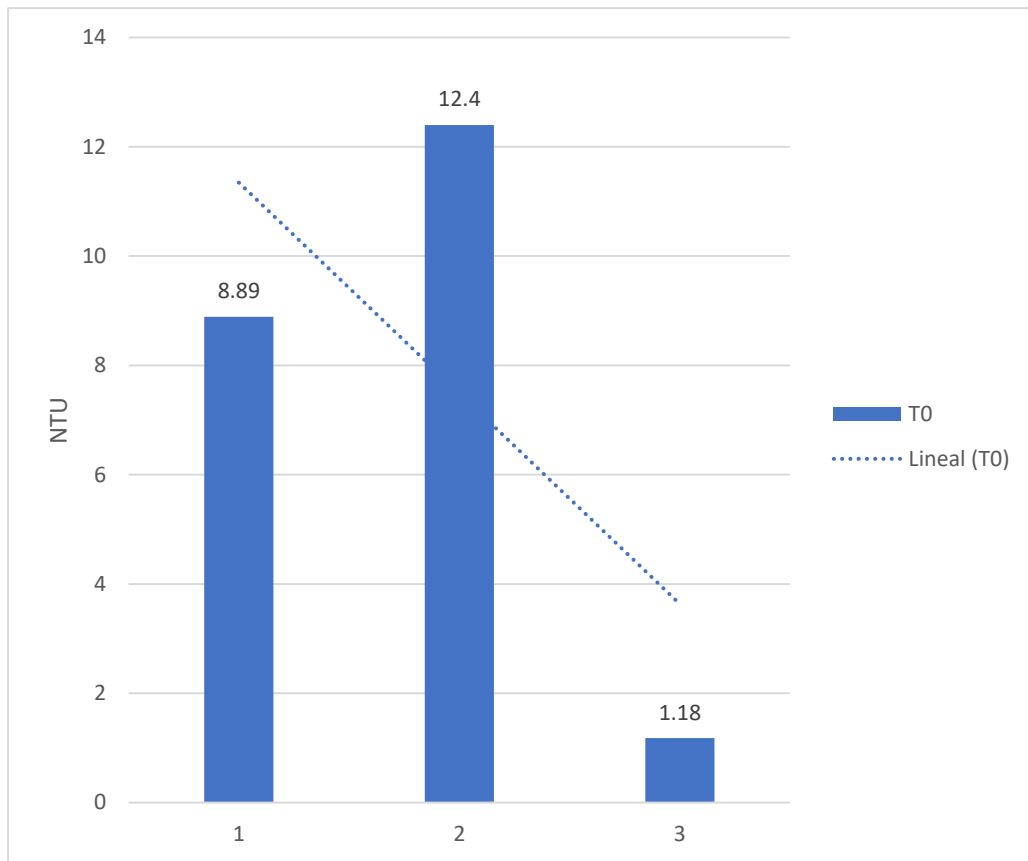


Figura 20. Resultados de análisis de Turbidez en tratamiento T0

Interpretación:

Según las lecturas de turbidez, el grado de transparencia del T0 empieza en 8.89 NTU, sin embargo, en la siguiente etapa se visualiza un notable aumento hasta 12.4 NTU, Finalmente el nivel de turbiedad disminuye hasta 1.18 NTU. La línea de tendencia está en descenso.

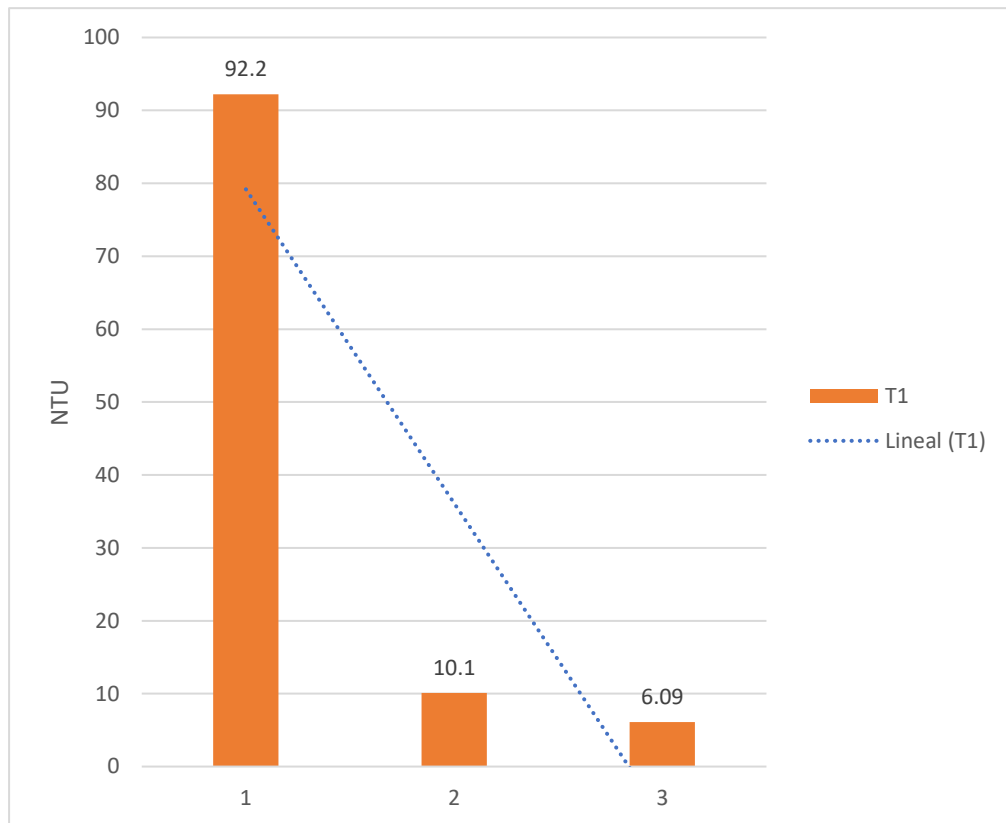


Figura 21. Resultados de análisis de Turbidez en tratamiento T1

Interpretación:

La primera etapa del tratamiento T1 representa 92.2 NTU de materia y solidos presentes, fortuitamente en la segunda etapa del tratamiento, una semana después, se observa una reducción de grandes escalas (10 NTU), finalmente en la tercera etapa la lectura es de 6.09 NTU. La línea de tendencia está en descenso.

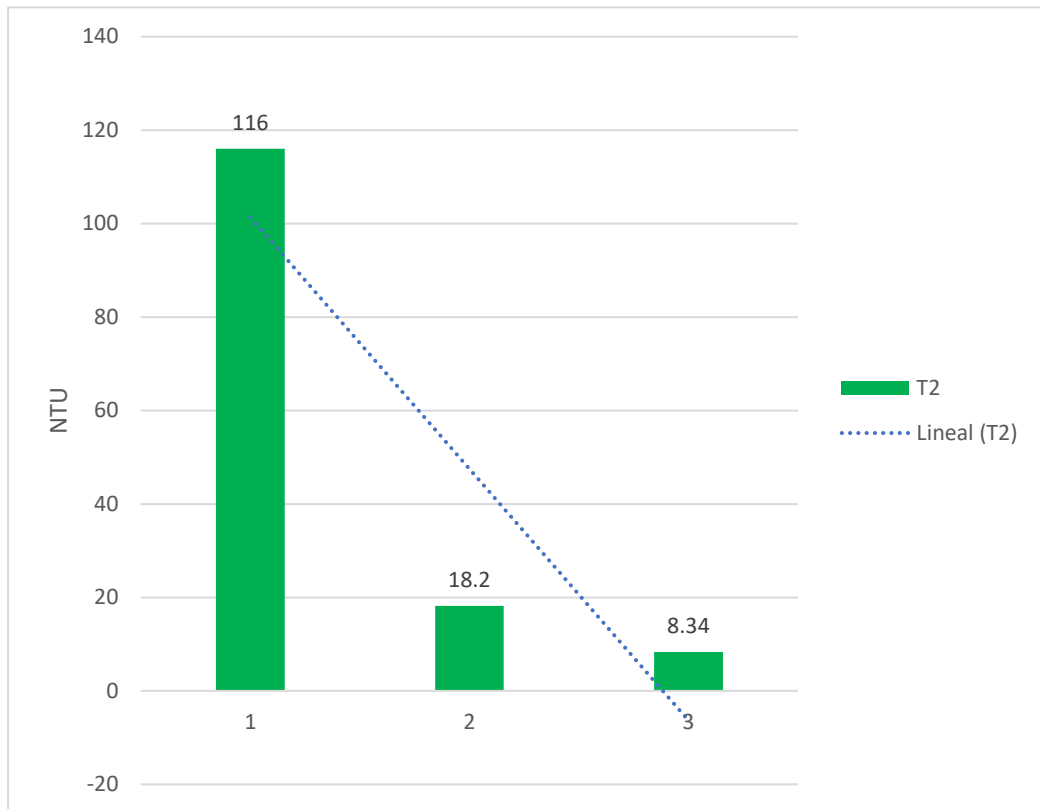


Figura 22. Resultados de análisis de Turbidez en tratamiento T2

Interpretación:

Los valores iniciales referentes a la turbidez inicial son de 116 NTU, al llegar la segunda etapa de análisis de Turbidez se obtuvieron las lecturas de 18.2 NTU, descendiendo hasta la lectura de la tercera etapa (8.34 NTU). La línea de tendencia está en descenso.

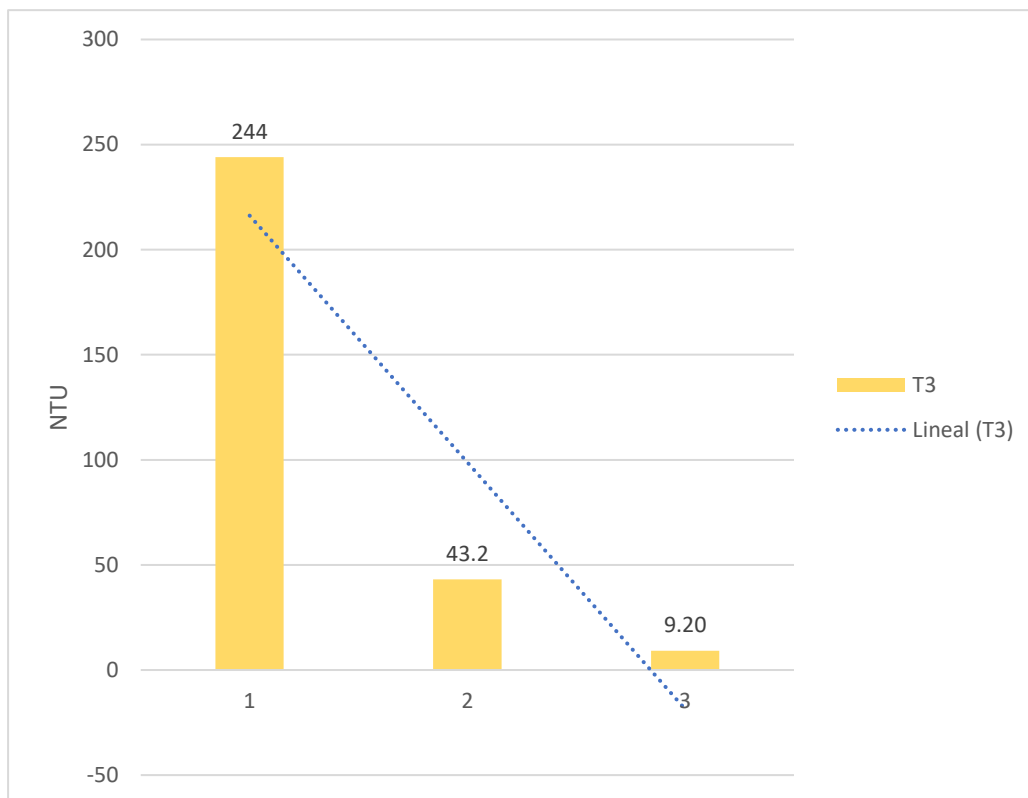


Figura 23. Resultados de análisis de Turbidez en tratamiento T3

Interpretación:

Las lecturas iniciales (224 NTU) pertenecen al primer análisis. Durante la segunda etapa el nivel de turbidez descendió a 43.2 NTU y finalmente 9.20 NTU. La línea de tendencia está en descenso.

Tabla 21. Composición inicial de temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y salinidad del agua residual doméstica.

	Primera Etapa Análisis				
	T0	T1	T2	T3	
Temperatura	24.78	21.93	22.06	21.61	°C
pH	7.00	6.88	6.46	6.70	unidad
Conductividad Eléctrica	1794	1795	1910	2157	μS/cm
Sólidos Totales Disueltos	897	897	955	1079	ml/l
Salinidad	0.91	0.91	0.97	1.11	PSU

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se detallan los resultados de los análisis de la primera etapa en los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y salinidad del agua residual doméstica.

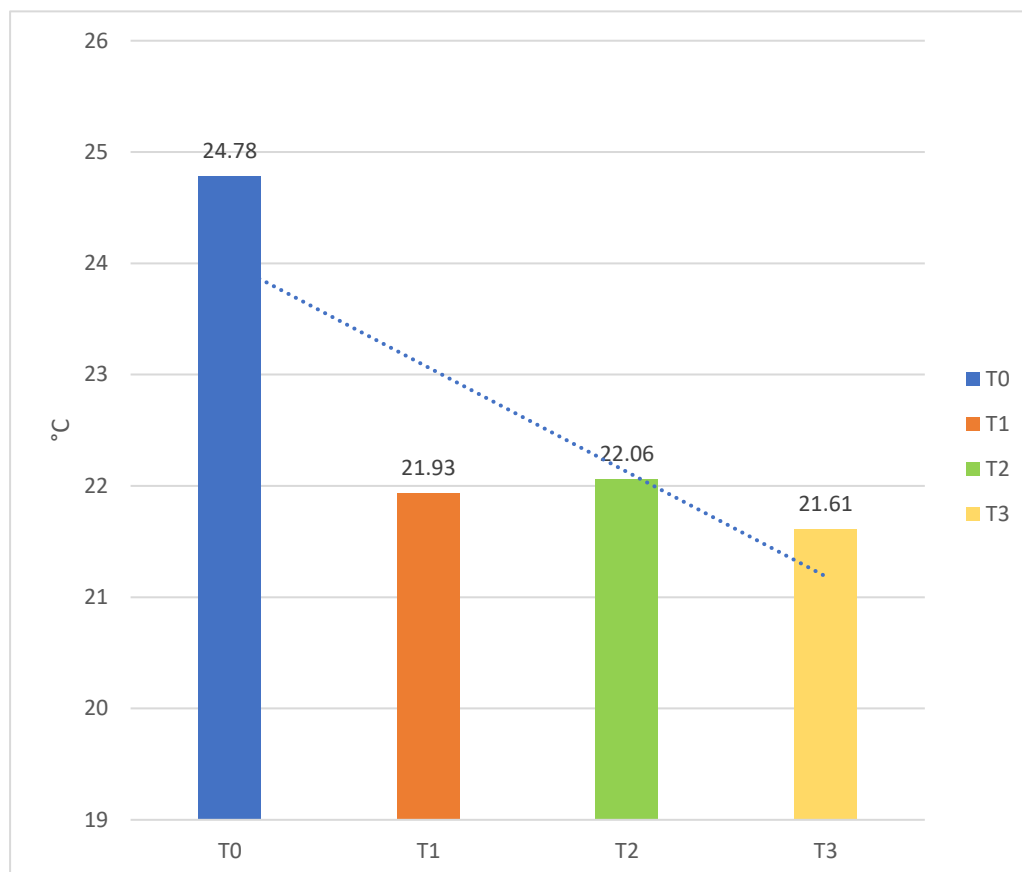


Figura 24. Resultados de primera etapa de análisis de Temperatura

Interpretación:

Los resultados de temperatura para en la primera etapa de T0 son de 24.78 °C, T1 son de 21.93 °C, en T2 son de 22.06 °C y T3 son de 21.61 °C. La línea de tendencia está en descenso.

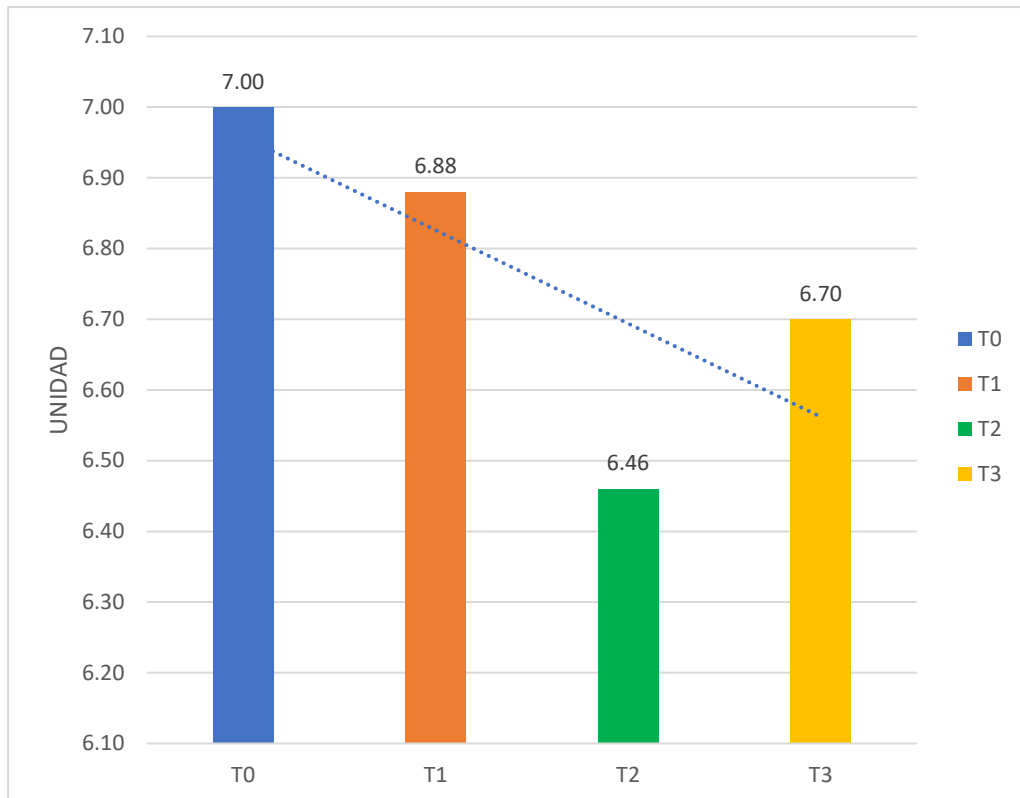


Figura 25. Resultados de primera etapa de análisis de pH

Interpretación:

La primera etapa de análisis de Potencial de Hidrógeno muestra los siguientes valores para T0 y T1, 7.00 y 6.88 unidades respectivamente, en T2 6.46 unidades y finalmente para T3 6.70 unidades. La línea de tendencia está en descenso.

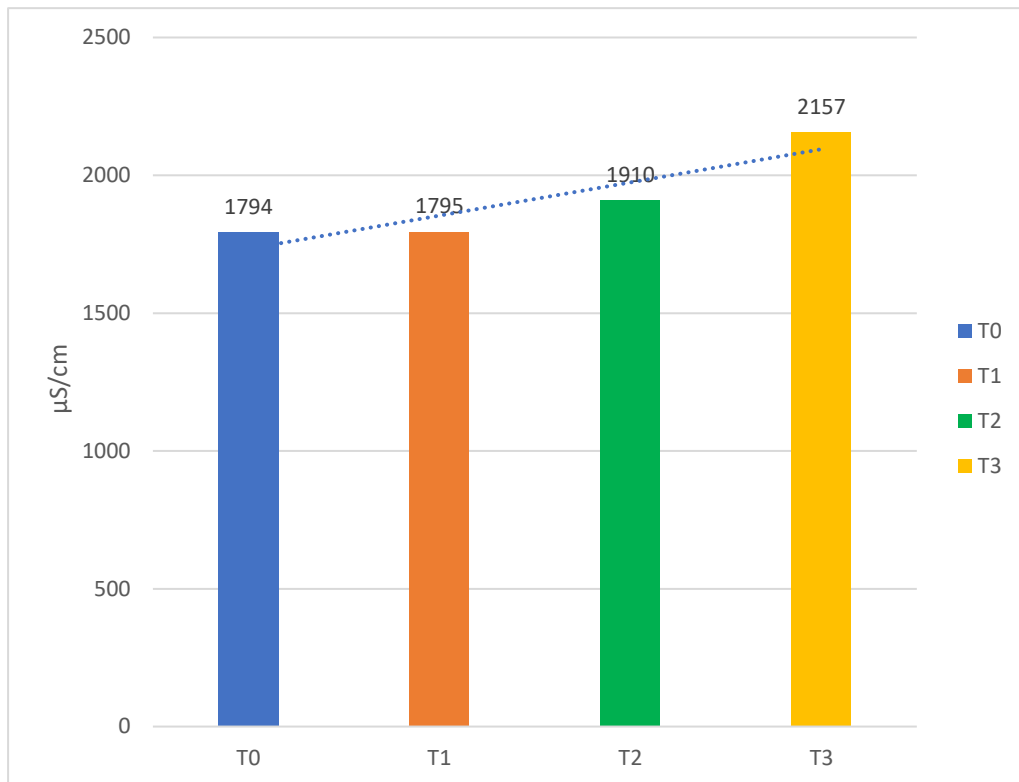


Figura 26. Resultados de primera etapa de análisis de Conductividad Eléctrica

Interpretación:

Como se observa en los tratamientos, no existe una gran diferencia entre T0, T1, T2 y T3, con los siguientes valores respectivamente 1794 μS/cm, 1795 μS/cm, 1910 μS/cm, y 2157 μS/cm. La línea de tendencia está en ascenso.

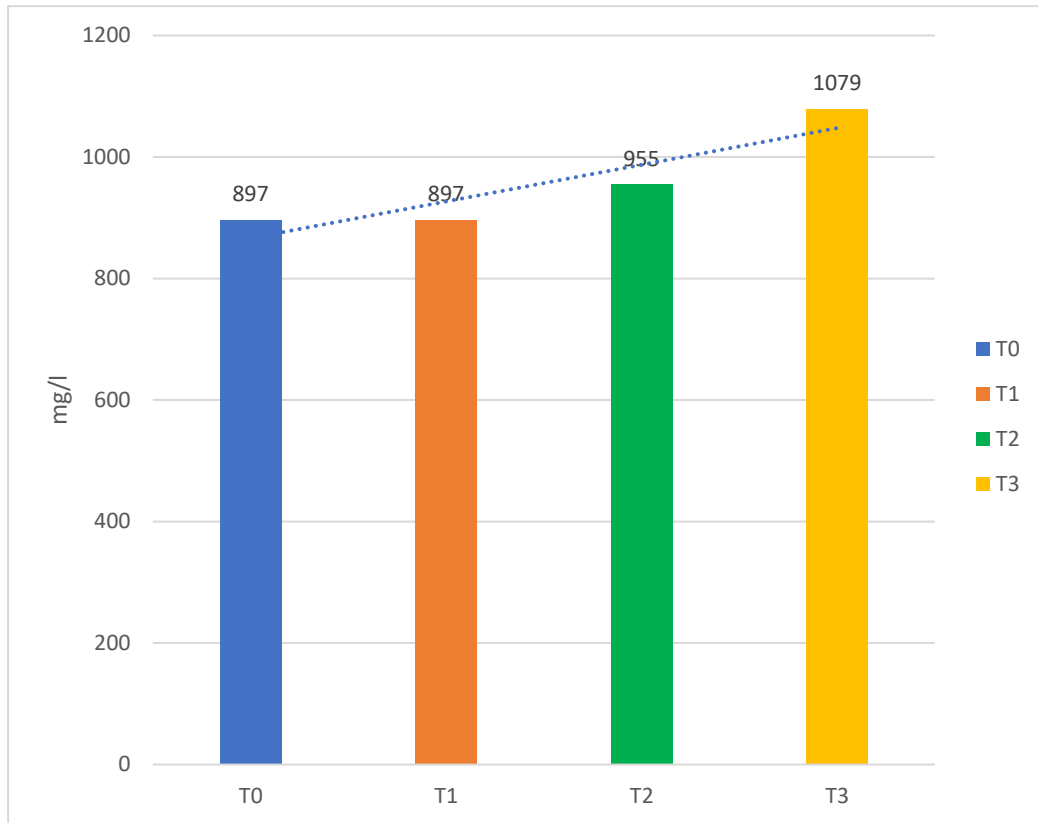


Figura 27. Resultados de primera etapa de análisis de Sólidos Totales Disueltos

Interpretación:

En la primera etapa de análisis de Sólidos Totales Disueltos se observan los siguientes valores para T0 y T1 de 897 mg/l, en T2 con 955 mg/l y en T3 con 1079 mg/l. La línea de tendencia está en ascenso.

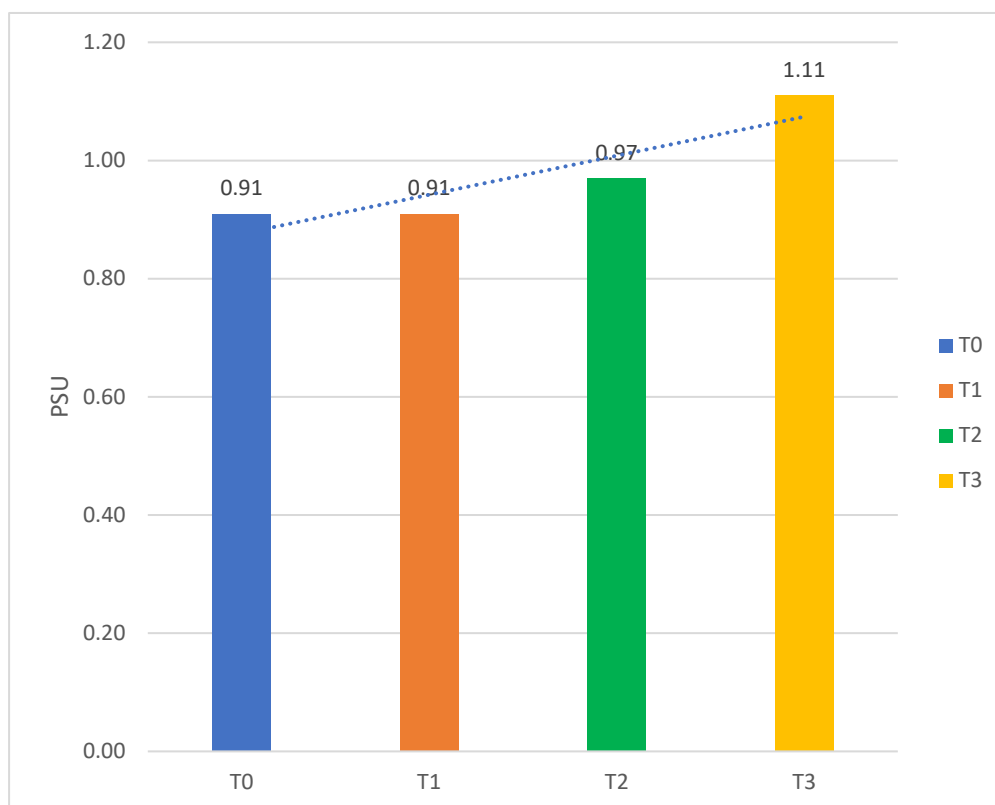


Figura 28. Resultados de primera etapa de análisis de Salinidad

Interpretación:

Como se observa en la primera etapa de análisis de salinidad en los tratamientos, no existe una gran diferencia entre T0, T1 y T2, con los valores respectivos 0.91 PSU para T0 y T1, 0.97 PSU para T2. Respecto a T3 con 1.11 PSU. La línea de tendencia está en ascenso.

Tabla 22. Composición intermedia de temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y salinidad del agua residual doméstica.

Segunda Etapa Análisis					
	T0	T1	T2	T3	
Temperatura	24.69	24.82	24.83	21.77	°C
pH	7.50	7.10	6.99	6.96	unidad
Conductividad Eléctrica	1953	2134	2125	1556	μS/cm
Sólidos Totales Disueltos	976	1067	1063	778	mg/l
Salinidad	0.99	1.09	1.08	0.78	PSU

Fuente: Elaboración Propia

Se especifican los resultados de los análisis de la segunda etapa en los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y salinidad del agua residual doméstica.

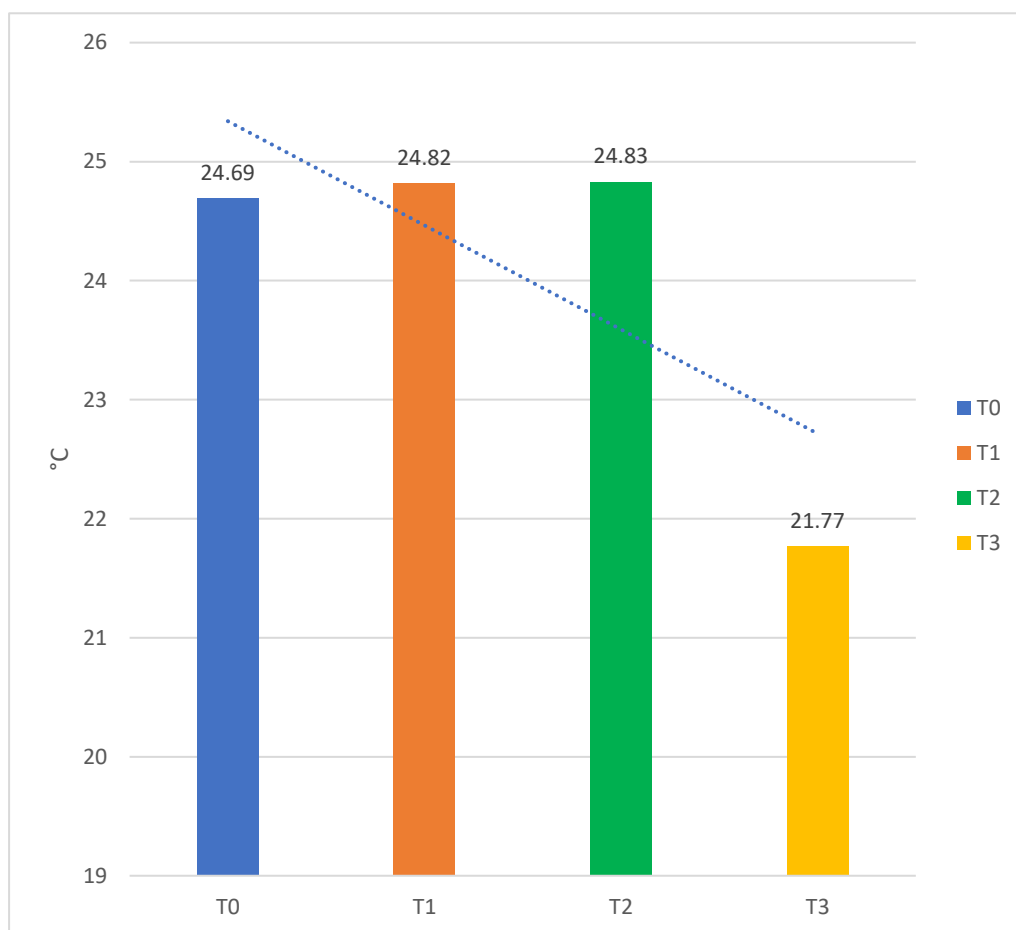


Figura 29. Resultados de segunda etapa de análisis de Temperatura

Interpretación:

En esta etapa la temperatura de los tratamientos T0 (24.69 °C), T1 (24.82 °C) y T2 (24.83 °C), alcanzan niveles similares, en tanto T3, disminuye notablemente hasta una lectura de 21.77 °C. La línea de tendencia está en descenso.

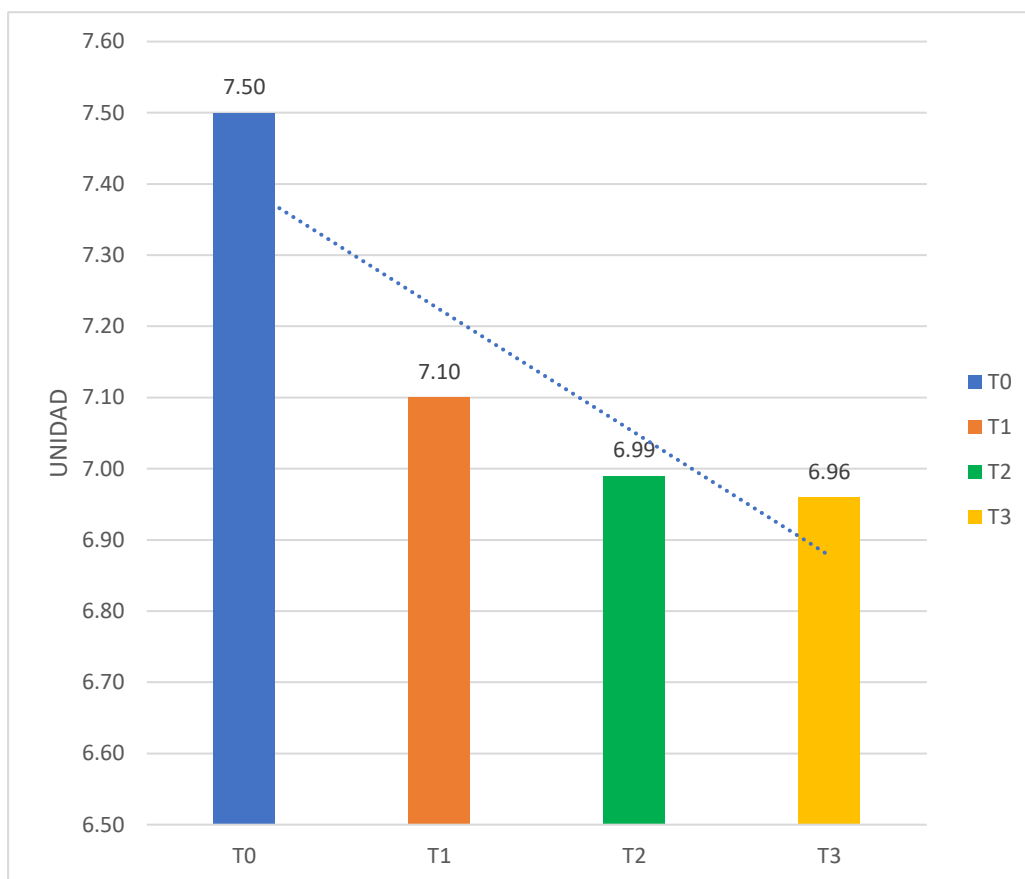


Figura 30. Resultados de segunda etapa de análisis de pH

Interpretación:

Respecto a los valores de la segunda etapa en los análisis de pH, el tratamiento T0 tiene una lectura de 7.05 unidades, para T1 7.10 unidades, T2 6.99 unidades y T3 con 6.96 unidades. La línea de tendencia está en descenso.

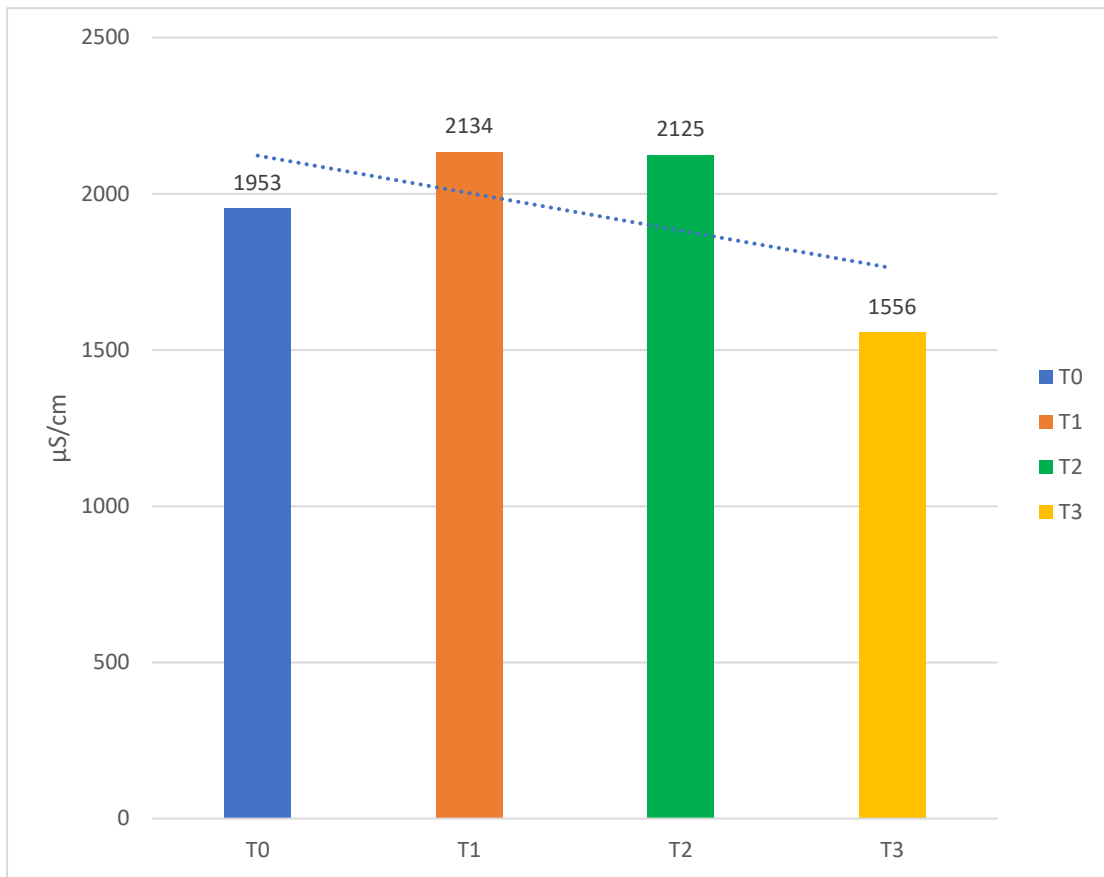


Figura 31. Resultados de segunda etapa de análisis de Conductividad Eléctrica

Interpretación:

En la presente etapa las lecturas para T1 (2134 μS/cm) y T2 (2125 μS/cm), alcanzan niveles similares, en tanto T0 (1953 μS/cm) aumenta la Conductividad Eléctrica y T3 (1556 μS/cm) muestra un deceso representativo. La línea de tendencia está en descenso.

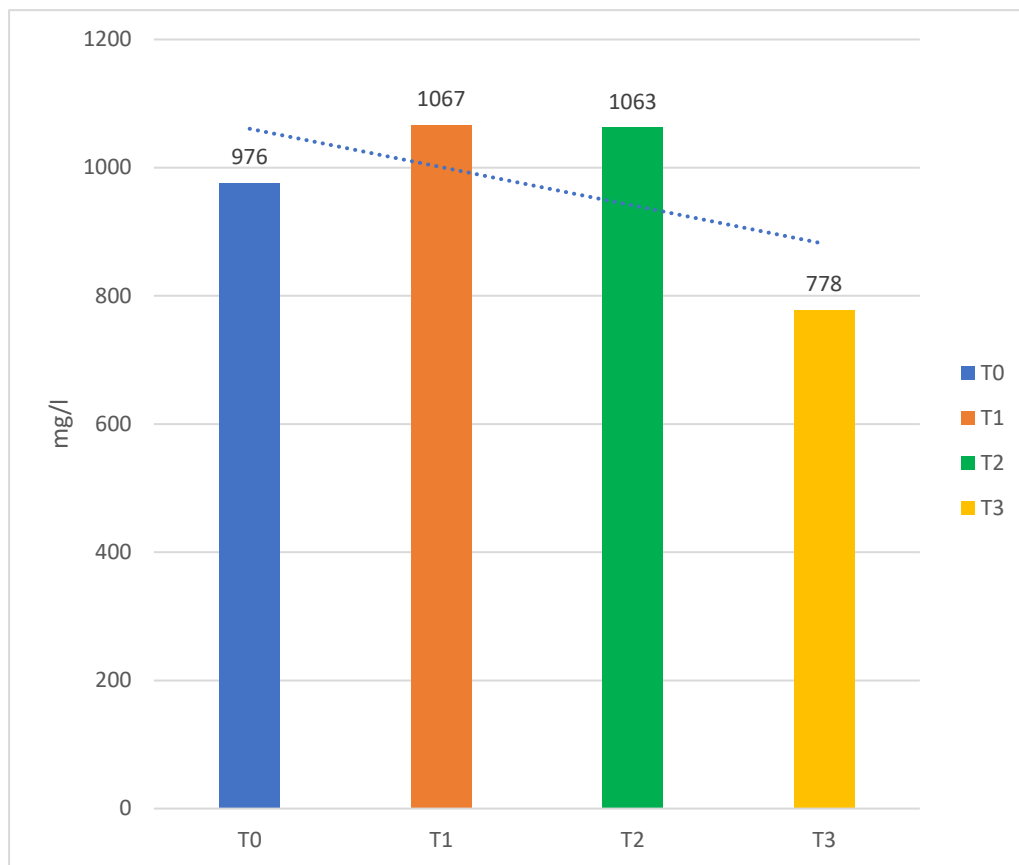


Figura 32. Resultados de segunda etapa de análisis de Solidos Totales Disueltos

Interpretación:

Se observa un descenso de STD presente en T3 respecto a las otras muestras, donde T1 y T2 con más altas (1067 y 1063 respectivamente), y T0 está con 976 mg/l. La línea de tendencia está en descenso.

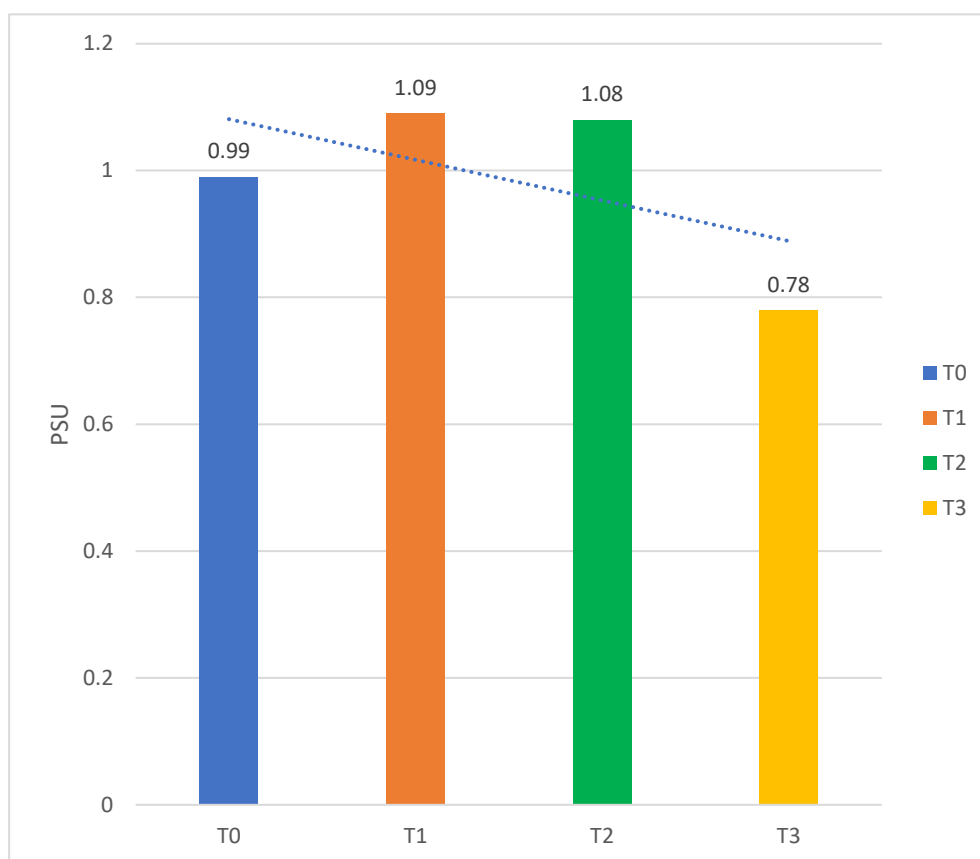


Figura 33. Resultados de segunda etapa de análisis de Salinidad

Interpretación:

Se observan valores similares de salinidad para T1 (1.09 PSU) y T2 (1.08 PSU), está T0 se ubica con 0.99 PSU, y finalmente con un menor valor T3 (0.78 PSU). La línea de tendencia está en descenso.

Tabla 23. Composición final de temperatura, pH, conductividad eléctrica, solidos totales disueltos y salinidad del agua residual doméstica.

Tercera Etapa Análisis					
	T0	T1	T2	T3	
Temperatura	21.81	24.83	24.82	24.83	°C
pH	7.31	7.03	7.08	7.07	unidad
Conductividad Eléctrica	2178	2126	2131	2130	μS/cm
Solidos Totales Disueltos	1089	1063	1066	1065	mg/l

Salinidad	1.12	1.08	1.09	1.09	PSU
------------------	------	------	------	------	-----

Fuente: Elaboración Propia

Se puntualizan los resultados de los análisis de la tercera etapa en los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, solidos totales disueltos y salinidad del agua residual doméstica.

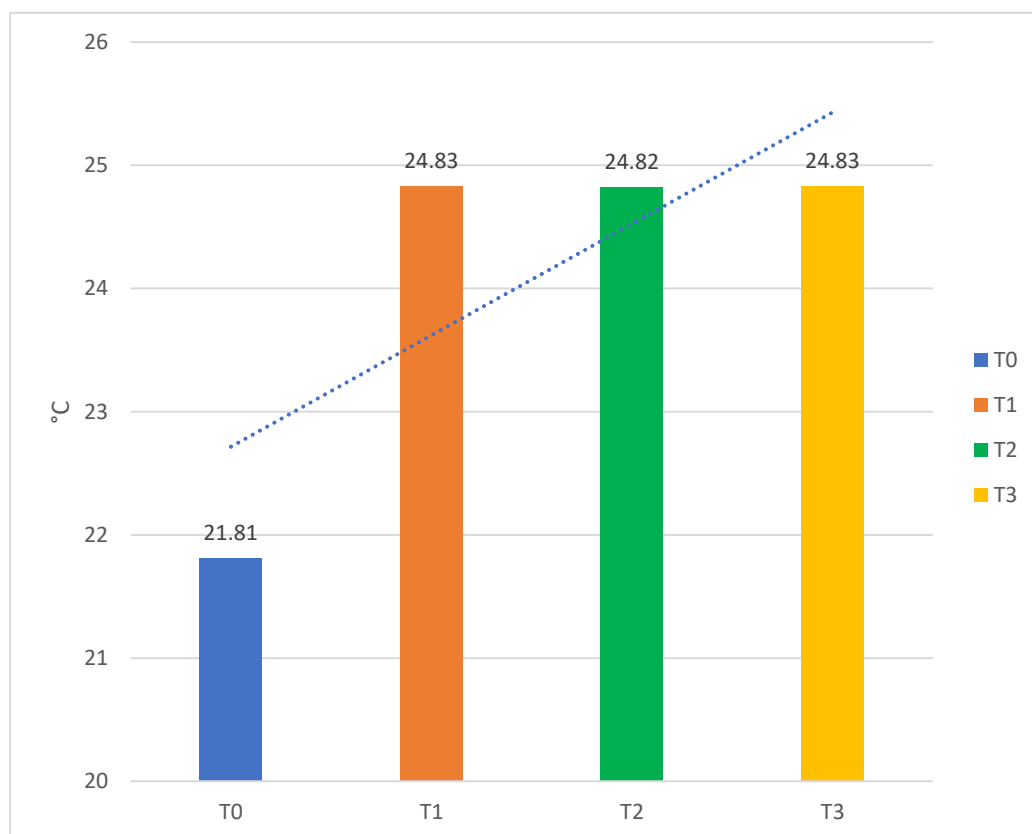


Figura 34. Resultados de tercera etapa de análisis de Temperatura

Interpretación:

La temperatura en la tercera etapa de análisis muestra las siguientes lecturas, siendo más elevada para T1 y T3 (24.83 °C), posteriormente T2 (24.82 °C), y T0 con la menor temperatura, 21.81 °C. La línea de tendencia está en ascenso.

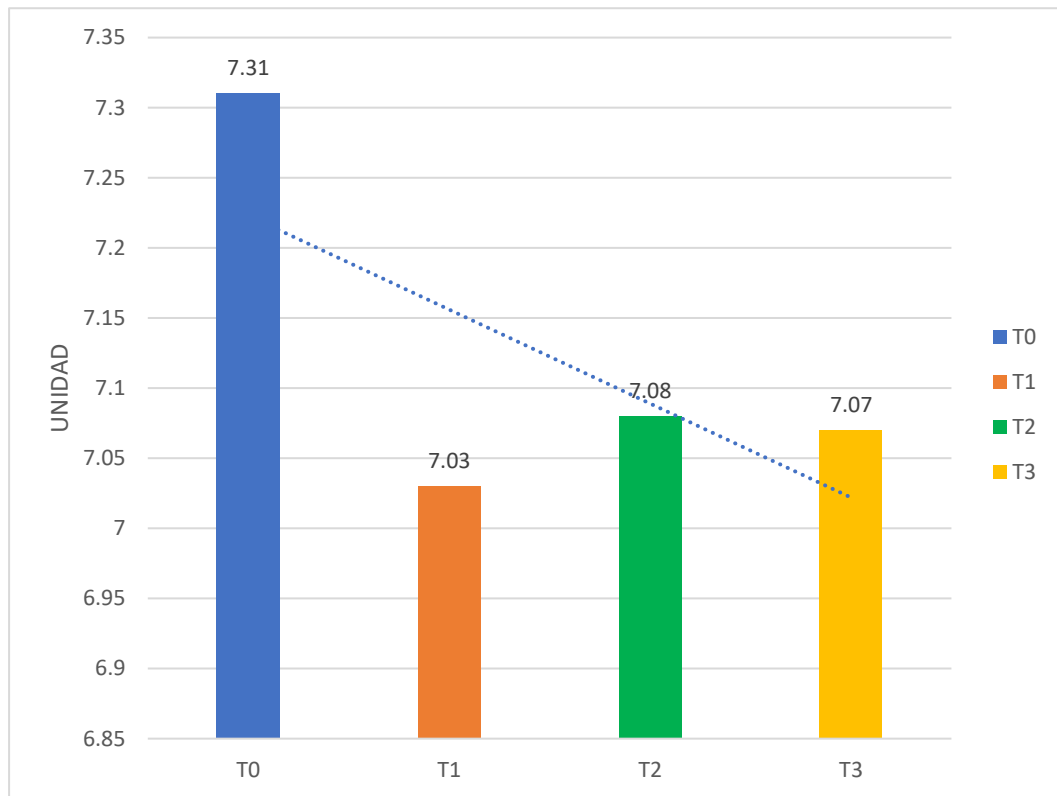


Figura 35. Resultados de tercera etapa de análisis de pH

Interpretación:

El pH de T0 (7.31 unidades), T1(7.03 unidades), T2 (7.08 unidades) y T3 (7.07 unidades) al finalizar el tratamiento se ubican en un pH neutro. La línea de tendencia está en descenso.

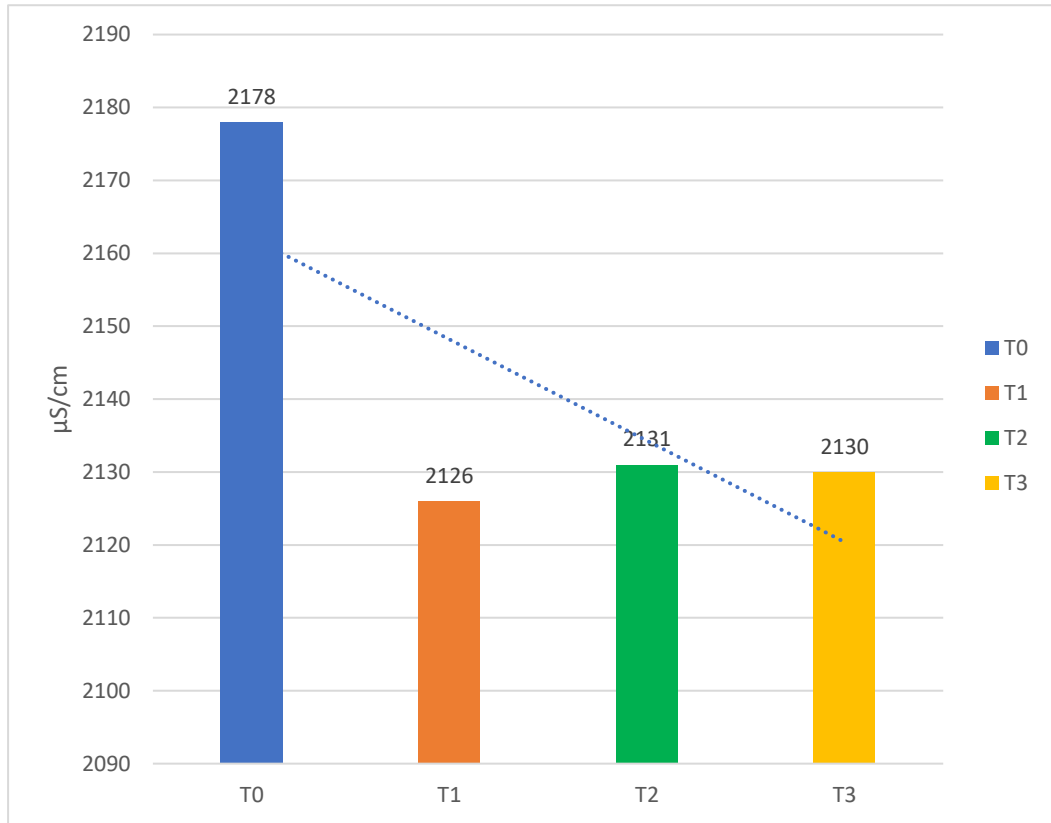


Figura 36. Resultados de tercera etapa de análisis de Conductividad Eléctrica

Interpretación:

La Conductividad Eléctrica muestra un mayor aumento en T0 (2178 μS/cm), mientras que en T1, T2 y T3, los valores son similares (2126 μS/cm, 2131 μS/cm y 2130 μS/cm respectivamente). La línea de tendencia está en descenso.

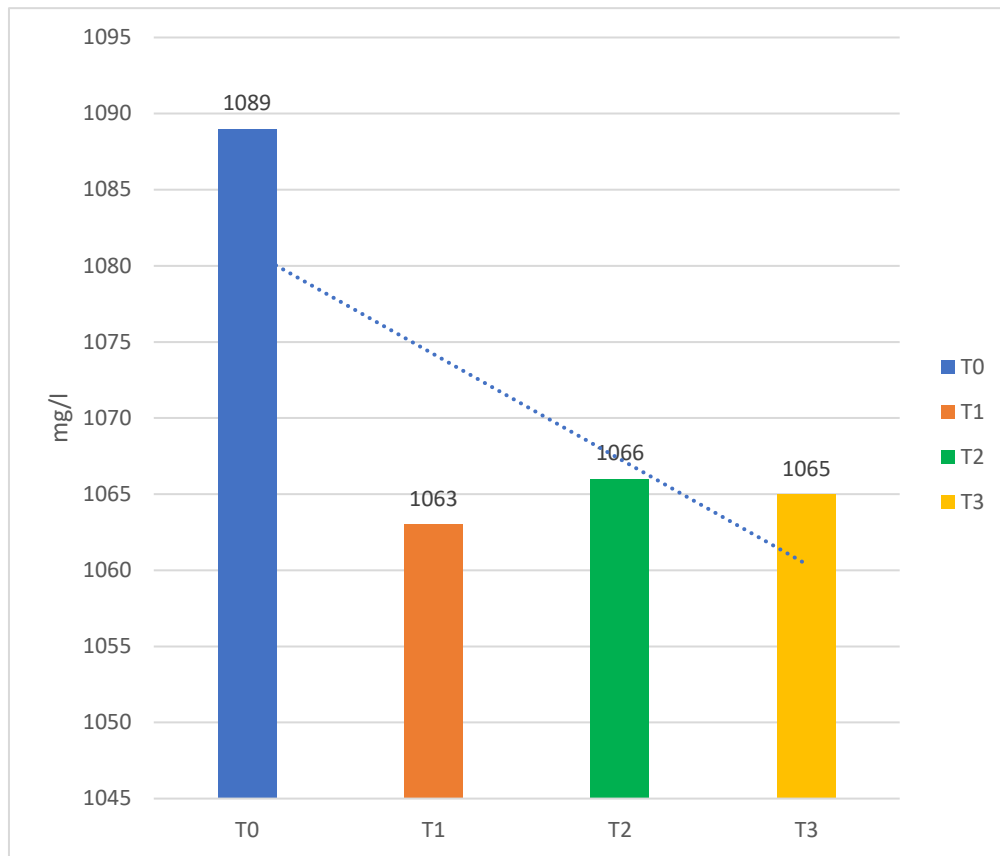


Figura 37. Resultados de tercera etapa de análisis de Solidos Totales Disueltos

Interpretación:

Según las lecturas de STD, durante la tercera etapa el valor más elevado lo obtiene T0 con 1089 mg/l, luego le sigue T2 con 1066 mg/l, 1065 mg/l para T3 y finalmente se ubica T1 con 1063 mg/l. La línea de tendencia está en descenso.

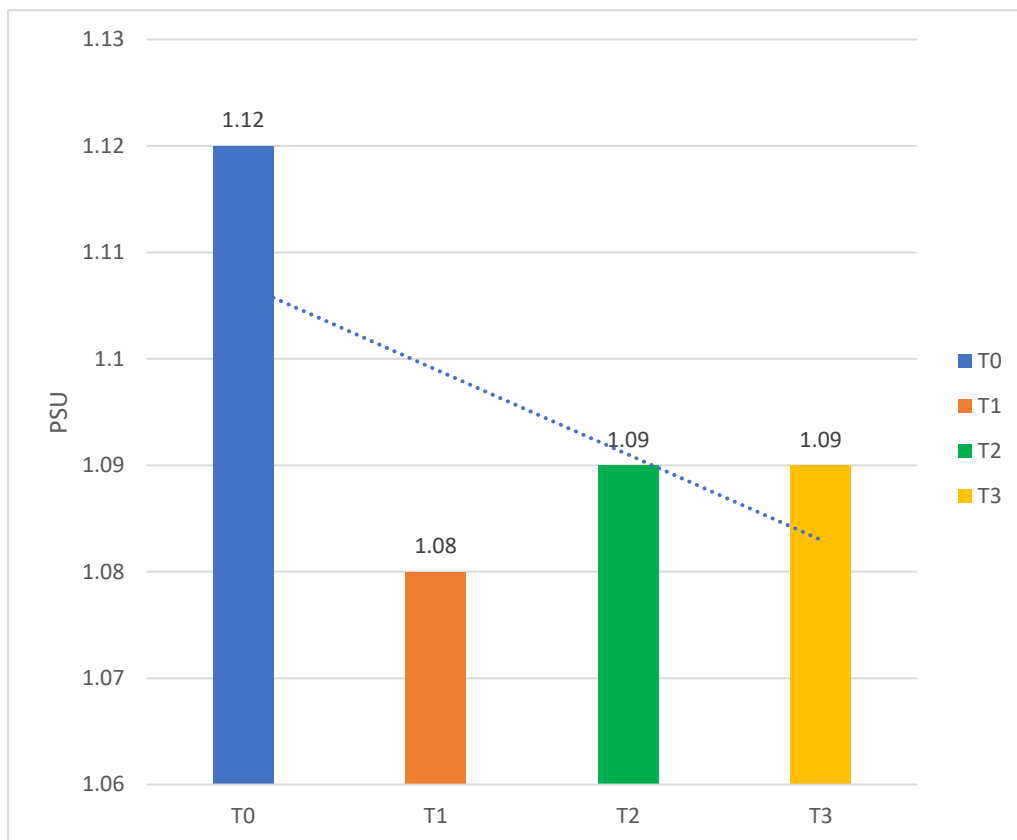


Figura 38. Resultados de tercera etapa de análisis de Salinidad

Interpretación:

Las lecturas del análisis de salinidad fueron mayores para T0 con 1.12 PSU, los tratamientos T2 y T3 con un valor de 1.09 PSU y luego T1 con 1.08. La línea de tendencia está en descenso.

Para la facilidad en la denotación visual comparativa, se presentan una serie de tablas y figuras representativas de cada parámetro y etapa evaluada por grupo de tratamiento respecto a Temperatura.

Tabla 24. *Composición de Temperatura del agua residual doméstica*

Temperatura (°C)	Etapas	T0	T1	T2	T3
	Primera Etapa	24.78	21.93	22.06	21.61
	Segunda Etapa	24.69	24.82	24.83	21.77
	Tercera Etapa	21.81	24.83	24.82	24.83

Fuente: Elaboración Propia

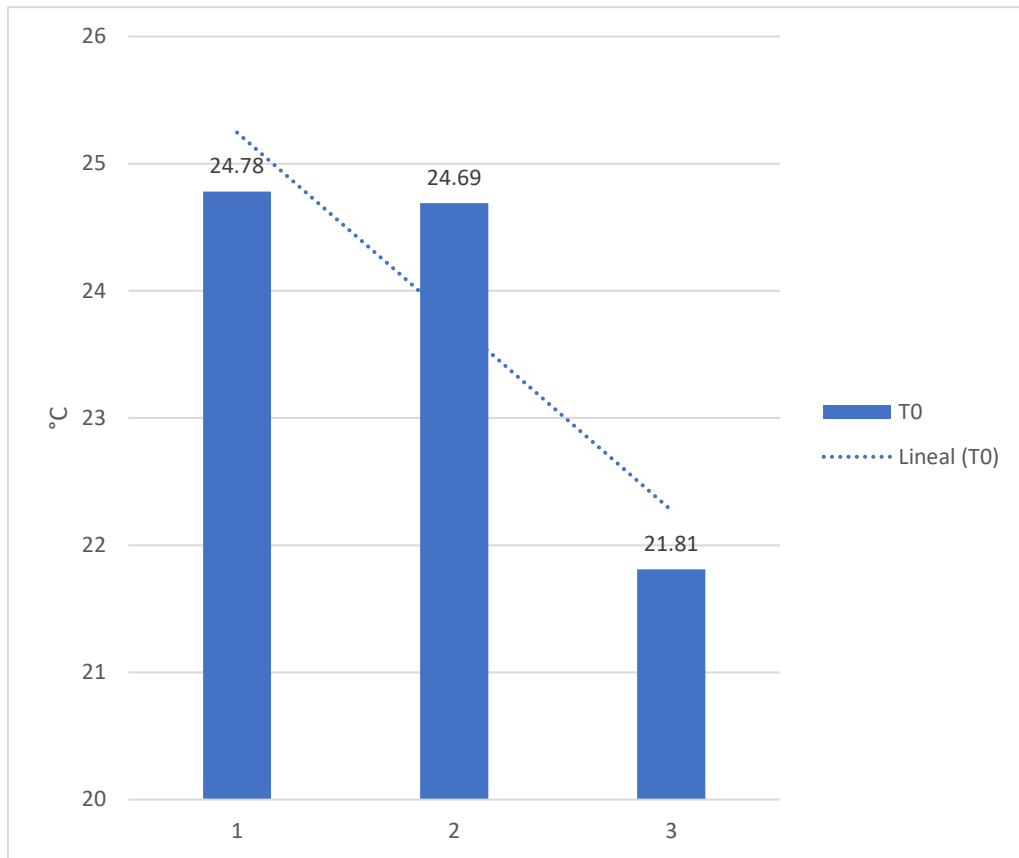


Figura 39. Resultados de análisis de Temperatura en tratamiento T0

Interpretación:

Como se logra observar en la figura, la temperatura para el tratamiento T0 muestra valores decrecientes desde la primera etapa (24.78 °C), en la segunda etapa la lectura fue de 24.69 °C y en la tercera de 21.89 °C. La línea de tendencia está en descenso.

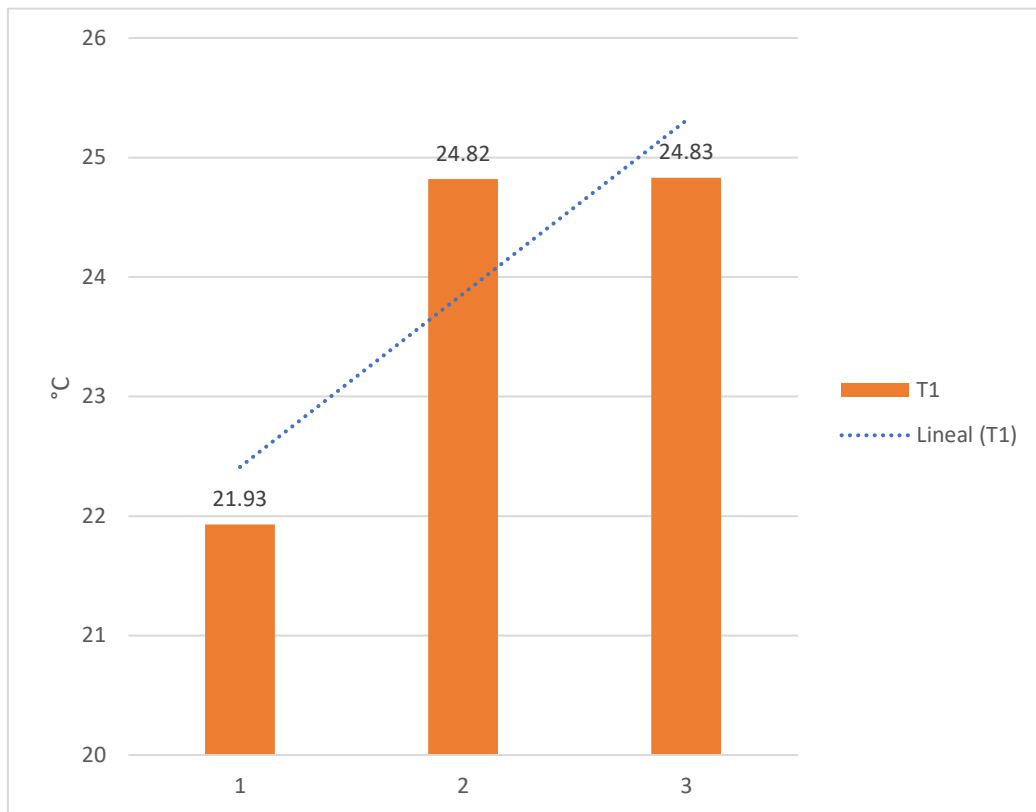


Figura 40. Resultados de análisis de Temperatura en tratamiento T1

Interpretación:

Para el caso del tratamiento T1, la línea de tendencia se muestra en ascenso partiendo de la primera etapa (21.93 °C), segunda etapa (24.82 °C) hacia la tercera etapa (24.83 °C). La línea de tendencia está en ascenso.

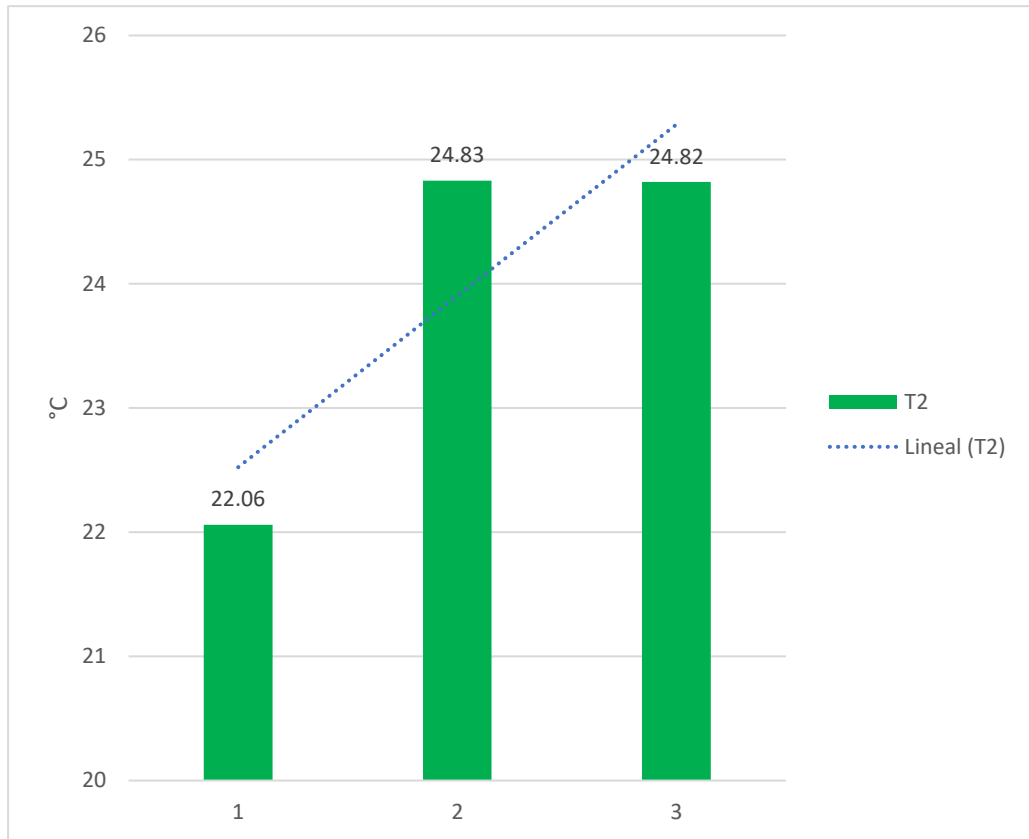


Figura 41. Resultados de análisis de Temperatura en tratamiento T2

Interpretación:

El tratamiento T2 muestra valores más regulares respecto a las lecturas de Temperatura, en un cambio de 2° C. En la primera etapa con 22.06° C, luego sube a 24.83 °C para finalmente disminuir mínimamente a 24.82 °C. La línea de tendencia está en ascenso.

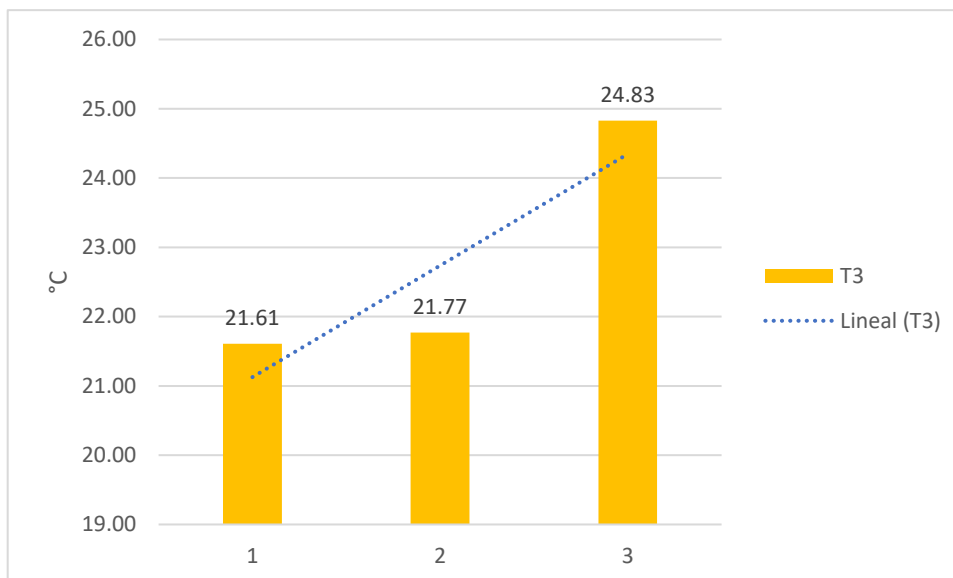


Figura 42. Resultados de análisis de Temperatura en tratamiento T3

Interpretación:

La línea de tendencia muestra un incremento de Temperatura en cambio de +3 °C, desde la primera etapa (21.61 °C), continuando incrementándose en la segunda etapa (21.77 °C) hasta la tercera etapa (24.83). La línea de tendencia está en ascenso.

Para la facilidad en la denotación visual comparativa, se presentan una serie de tablas y figuras representativas de cada parámetro y etapa evaluada por grupo de tratamiento respecto a pH.

Tabla 25. Composición de pH del agua residual doméstica

pH(unidad)	Etapas	T0	T1	T2	T3
	Primera Etapa	7.00	6.88	6.46	6.70
	Segunda Etapa	7.50	7.10	6.99	6.96
	Tercera Etapa	7.31	7.03	7.08	7.07

Fuente: Elaboración Propia

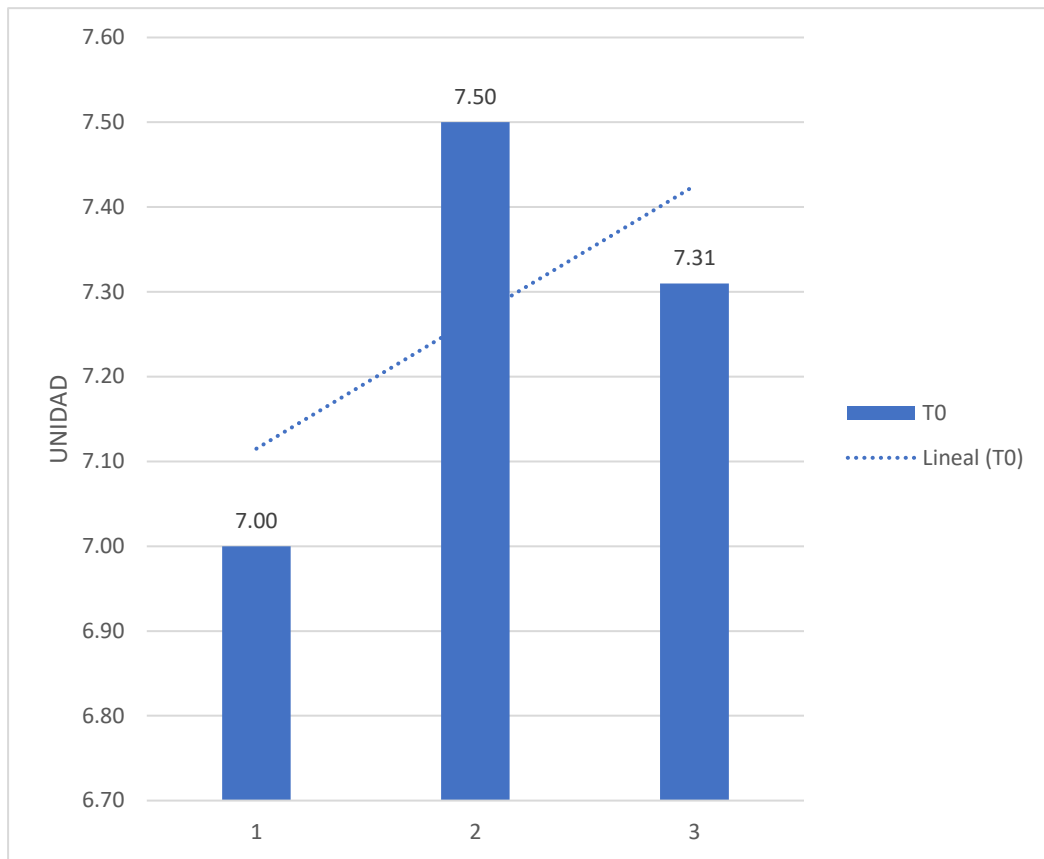


Figura 43. Resultados de análisis de pH en tratamiento T0

Interpretación:

Para todas las lecturas el tratamiento T0 muestra valores neutros, poco distantes entre las etapas, durante el análisis en la primera etapa se leyó 7.00 unidades, luego en la segunda etapa 7.50 unidades y finalmente en la tercera etapa 7.31 unidades. La línea de tendencia está en ascenso.

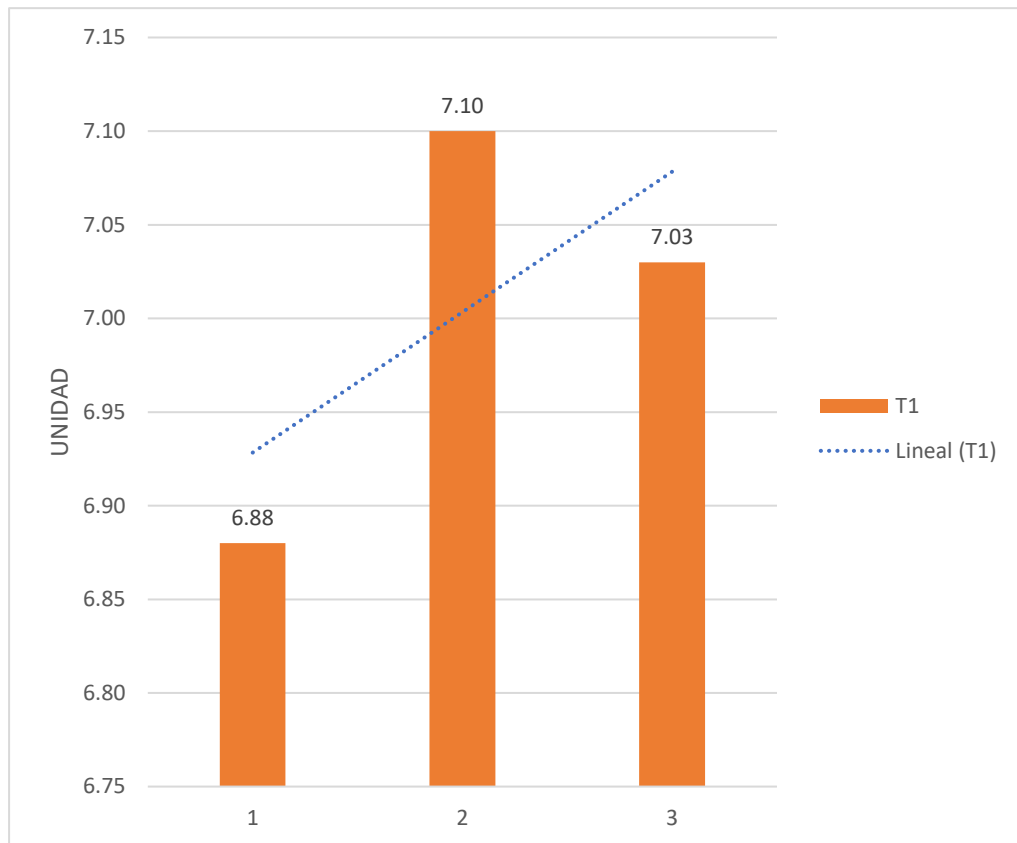


Figura 44. Resultados de análisis de pH en tratamiento T1

Interpretación:

Inicialmente el análisis de la primera etapa muestra un valor ligeramente ácido con 6.88 unidades, posteriormente se regula a un pH neutro 7.10 y 7.03 unidades, durante el segundo y tercer periodo respectivamente. La línea de tendencia está en ascenso.

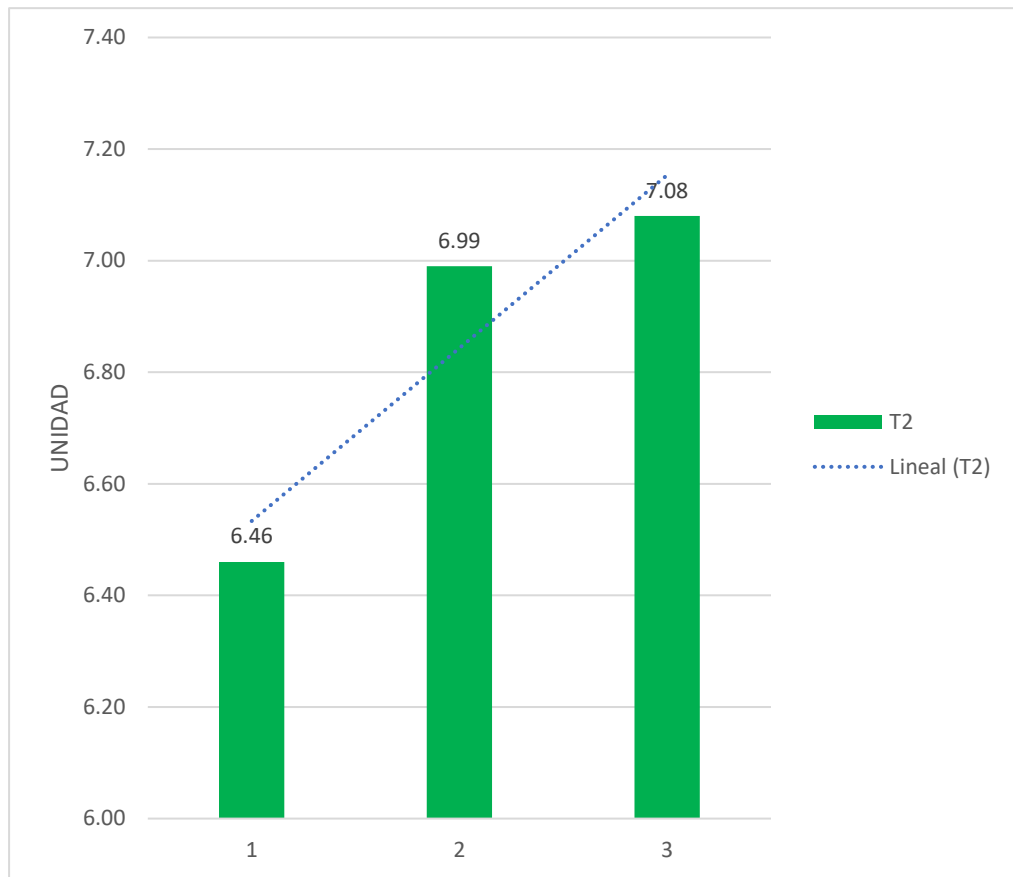


Figura 45. Resultados de análisis de pH en tratamiento T2

Interpretación:

La línea de tendencia muestra una clara elevación en las unidades de pH, en la primera etapa 6.46 unidades, en la segunda 6.99 unidades y en la tercera etapa 7.08 unidades. La línea de tendencia está en ascenso.

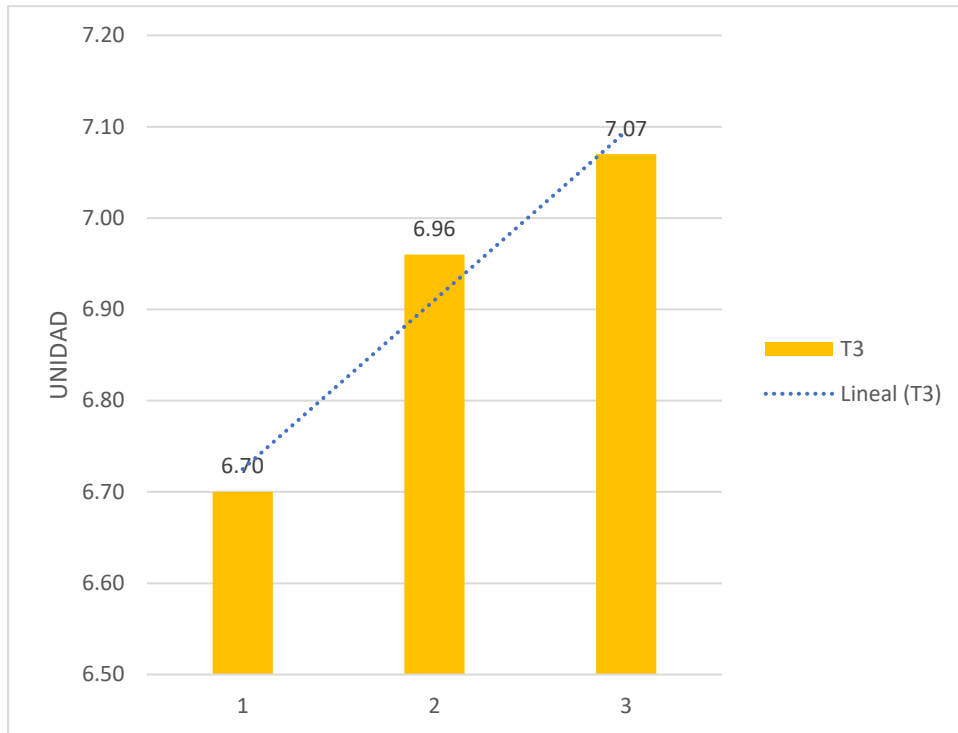


Figura 46. Resultados de análisis de pH en tratamiento T0

Interpretación:

Las lecturas del tratamiento T3, inicialmente tiene un valor ligeramente ácido (6.70 unidades), que luego llegan a ser neutras, durante la segunda etapa (6.96 unidades) y tercera etapa (7.07 unidades). La línea de tendencia está en ascenso.

Para la facilidad en la denotación visual comparativa, se presentan una serie de tablas y figuras representativas de cada parámetro y etapa evaluada por grupo de tratamiento respecto a Conductividad Eléctrica.

Tabla 26. *Composición de Conductividad Eléctrica del agua residual doméstica*

Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Etapas	T0	T1	T2	T3
	Primera Etapa	1794	1795	1910	2157
	Segunda Etapa	1953	2134	2125	1556
	Tercera Etapa	2178	2126	2131	2130

Fuente: Elaboración Propia

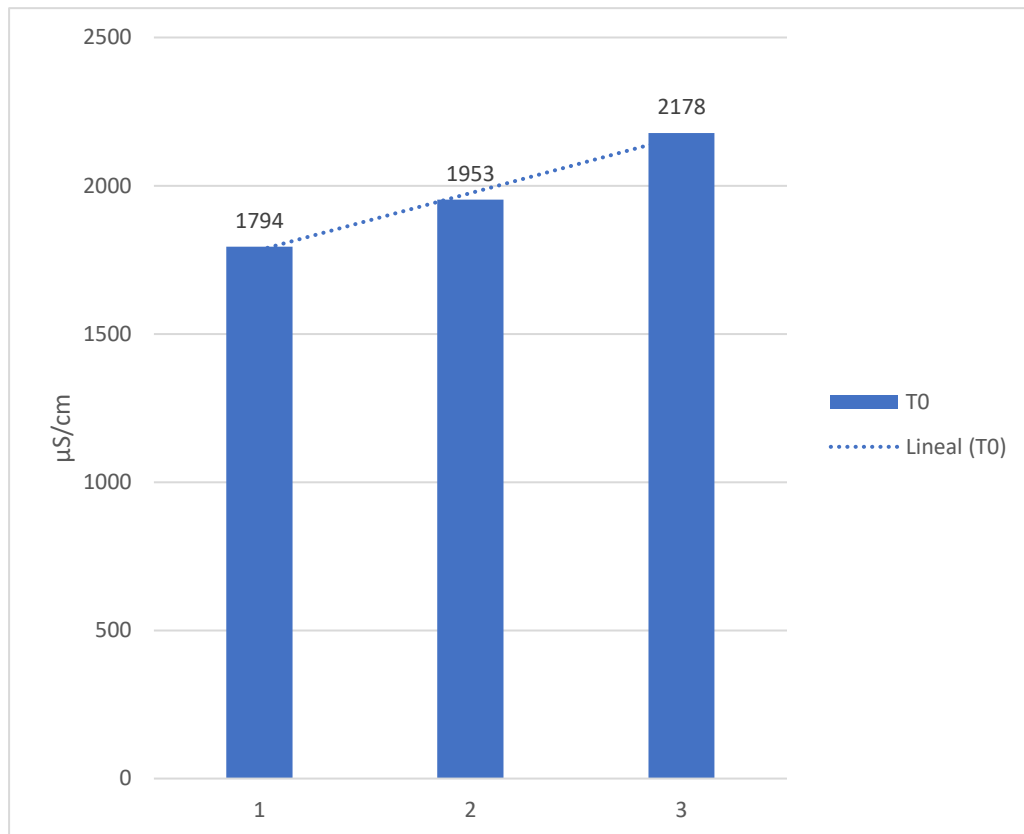


Figura 47. Resultados de análisis de Conductividad Eléctrica en tratamiento T0

Interpretación:

Durante la primera etapa la lectura dio resultados de 1794 $\mu\text{S}/\text{cm}$, elevándose en la segunda etapa con 1953 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para finalmente tomar una lectura de 2178 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La línea de tendencia está en ascenso.

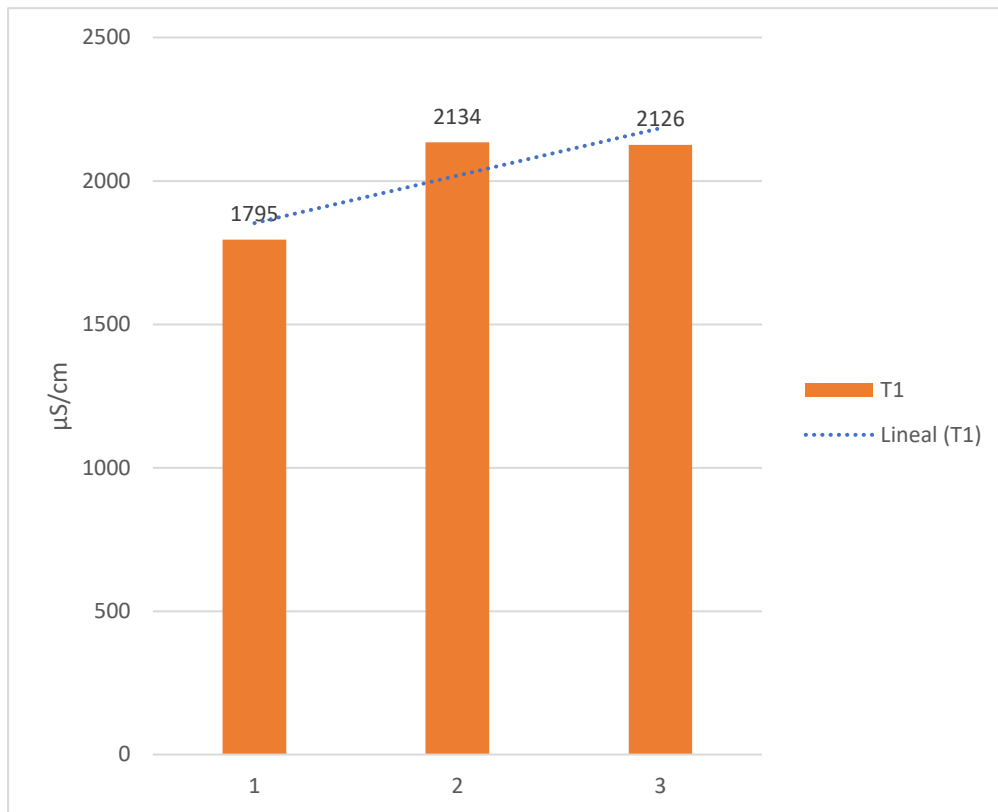


Figura 48. Resultados de análisis de Conductividad Eléctrica en tratamiento T1

Interpretación:

Las lecturas de Conductividad Eléctrica para T1 se elevan durante todas las etapas, inicialmente se obtuvieron 1795 $\mu\text{S}/\text{cm}$, durante la segunda etapa la lectura fue de 2134 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la tercera etapa de 2126 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La línea de tendencia está en ascenso.

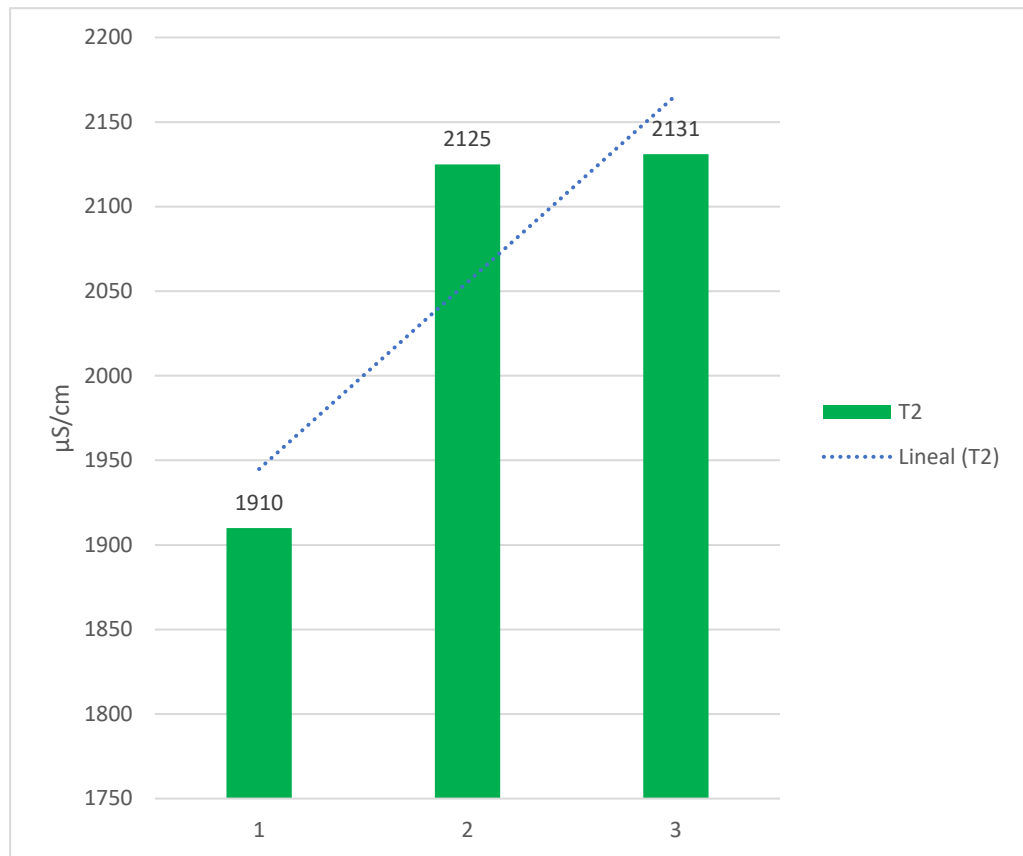


Figura 49. Resultados de análisis de Conductividad Eléctrica en tratamiento T2

Interpretación:

Igualmente, que los otros tratamientos la Conductividad Eléctrica se incrementa ligeramente, iniciando en 1910 $\mu\text{S}/\text{cm}$, posteriormente 2125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y finalmente 2131 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La línea de tendencia está en ascenso.

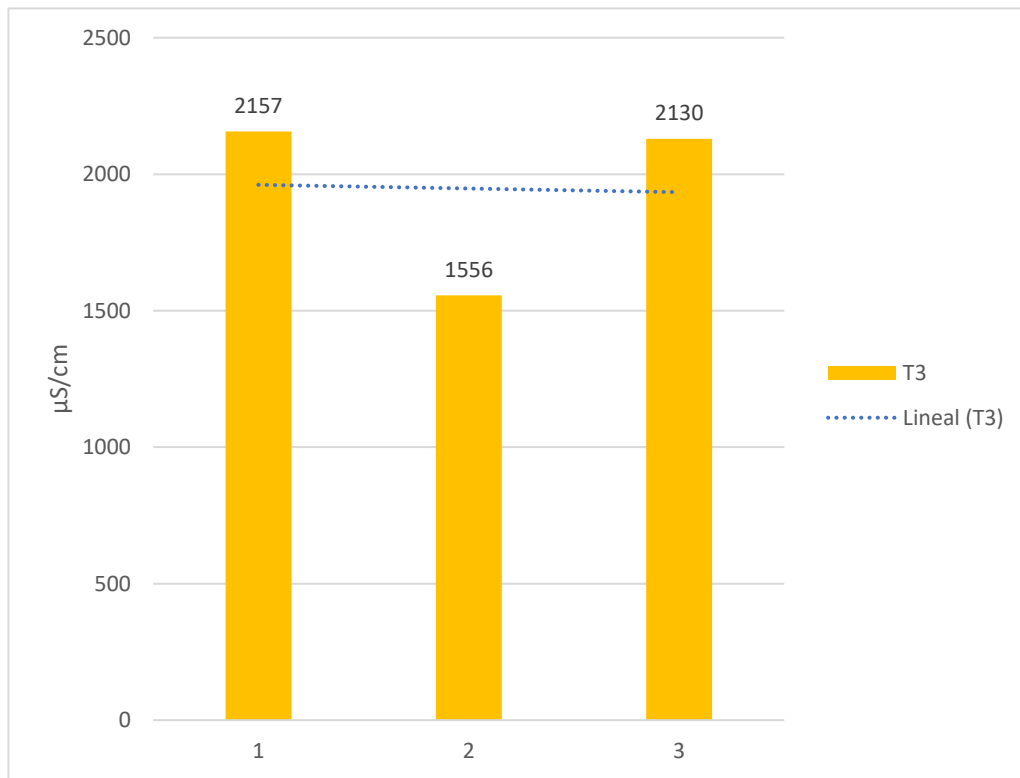


Figura 50. Resultados de análisis de Conductividad Eléctrica en tratamiento T3

Interpretación:

Si bien en el tratamiento denominado T3 se ve una ligera disminución en la Conductividad Eléctrica, esta lectura durante la segunda etapa disminuye a 1556 µS/cm, y en la primera etapa 2157 µS/cm para llegar a 2130 µS/cm en la tercera etapa. La línea de tendencia está en descenso.

Para la facilidad en la denotación visual comparativa, se presentan una serie de tablas y figuras representativas de cada parámetro y etapa evaluada por grupo de tratamiento respecto a Sólidos Totales Disueltos.

Tabla 27. *Composición de Sólidos Totales Disueltos del agua residual doméstica*

Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	Etapas	T0	T1	T2	T3
	Primera Etapa	897	897	955	1079
	Segunda Etapa	976	1067	1063	778
	Tercera Etapa	1089	1063	1066	1065

Fuente: Elaboración Propia

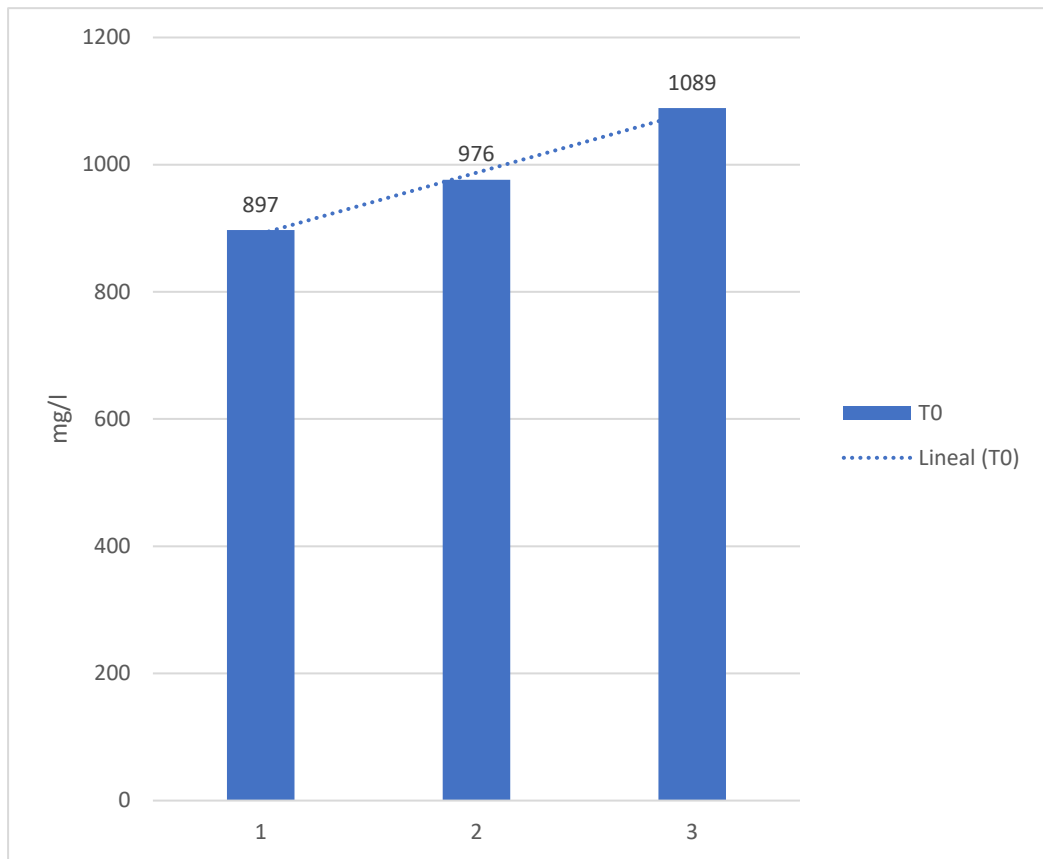


Figura 51. Resultados de análisis de Sólidos Totales Disueltos en tratamiento T0

Interpretación:

La línea de tendencia muestra una elevación en la presencia de Sólidos Totales Disueltos, la lectura inicial fue de 897 mg/l, posteriormente se elevó a 976 mg/l y finalmente con 1089 mg/l. La línea de tendencia está en ascenso.

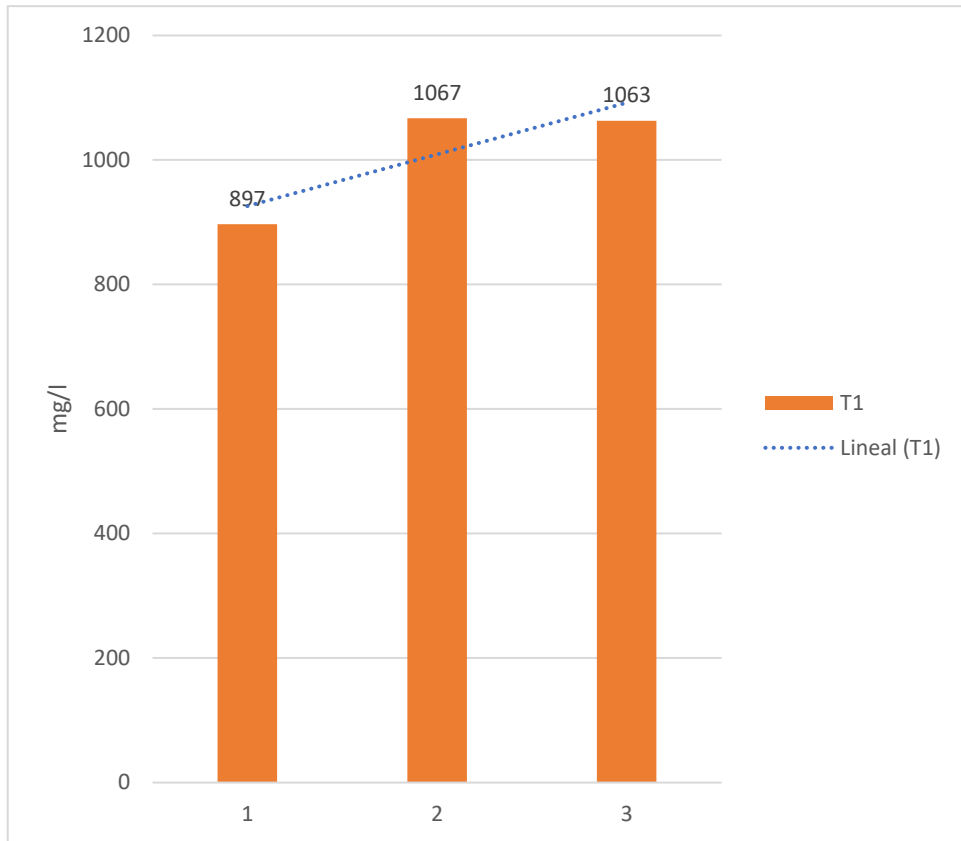


Figura 52. Resultados de análisis de Solidos Totales Disueltos en tratamiento T1

Interpretación:

Las lecturas respecto a Solidos Totales Disueltos muestran una sincronía a mostrar valores elevados, tenemos 897 mg/l, 1067 mg/l (durante la primera y segunda etapa respectivamente) y una ligera disminución a 1063 mg/l en la etapa final. La línea de tendencia está en ascenso.

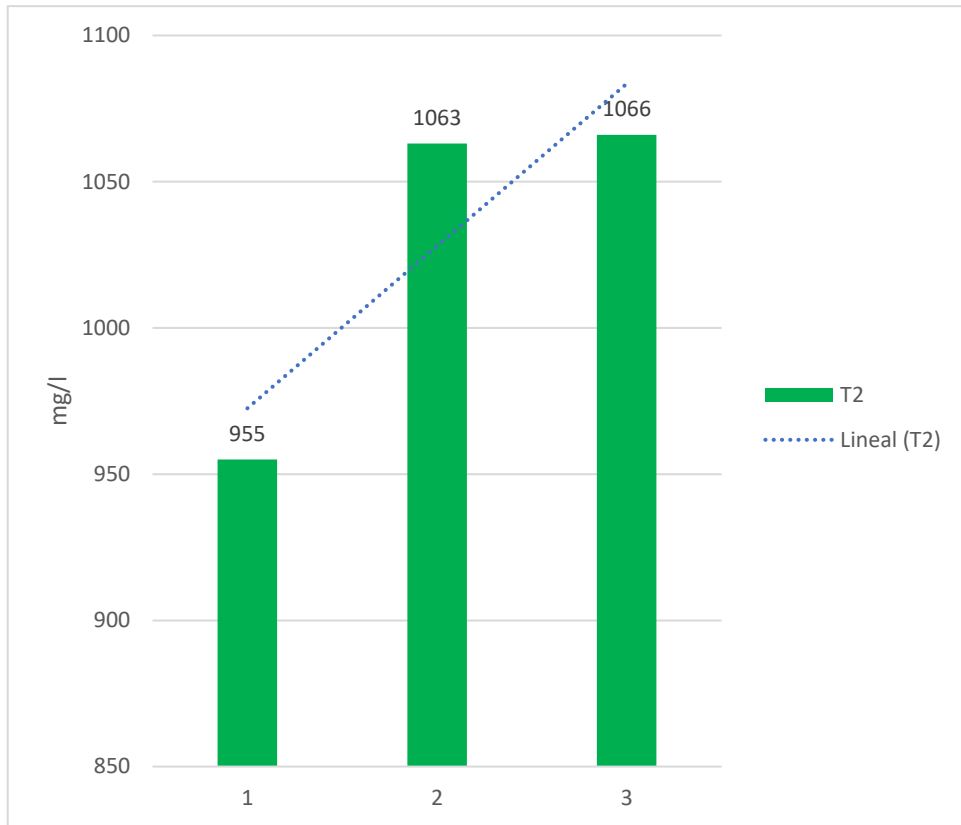


Figura 53. Resultados de análisis de Sólidos Totales Disueltos en tratamiento T2

Interpretación:

Para las lecturas de T2, la línea de tendencia se incrementa con mayor pronunciación durante la primera y segunda etapa (955 mg/l a 1063 mg/l) llegando a 1066 mg/l durante la tercera lectura. La línea de tendencia está en ascenso.

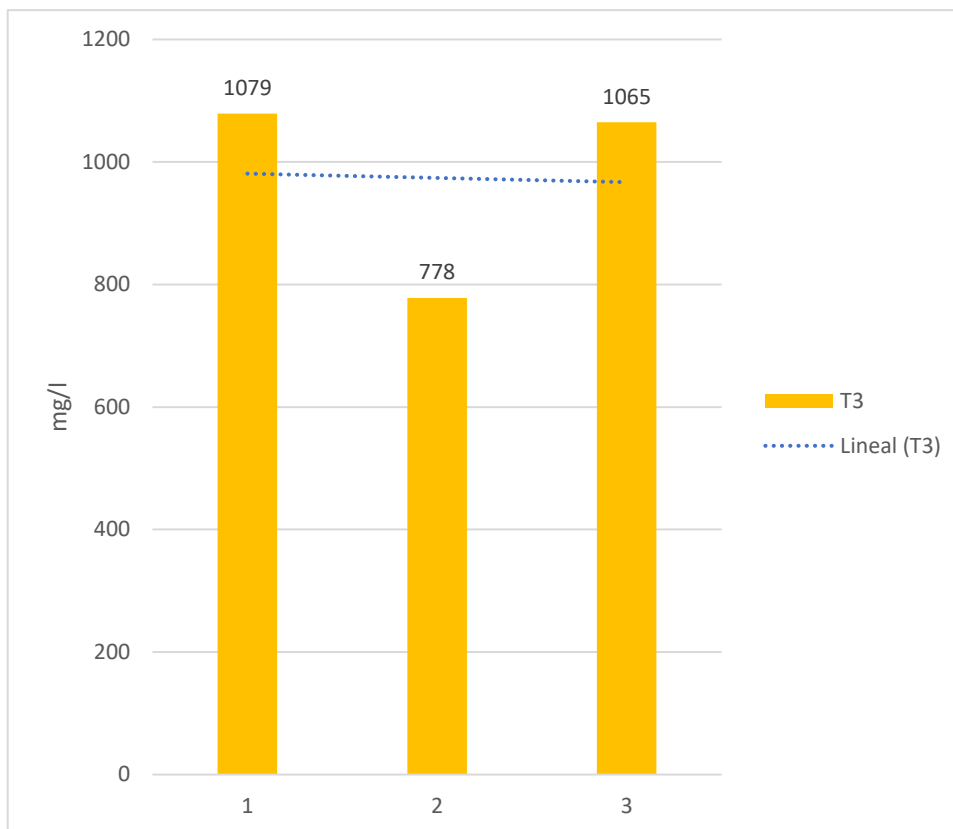


Figura 54. Resultados de análisis de Sólidos Totales Disueltos en tratamiento T3

Interpretación:

Las lecturas registradas en el tratamiento T3 muestran una baja de valores durante la segunda etapa (de 1079 mg/l en la primera etapa a 778 durante la segunda etapa), para volver a incrementarse en los análisis de la etapa final 1065 mg/l. La línea de tendencia está en descenso.

Para la facilidad en la denotación visual comparativa, se presentan una serie de tablas y figuras representativas de cada parámetro y etapa evaluada por grupo de tratamiento respecto a Salinidad.

Tabla 28. *Composición de Salinidad del agua residual doméstica*

Salinidad (PSU)	Etapas	T0	T1	T2	T3
	Primera Etapa	0.91	0.91	0.97	1.11
	Segunda Etapa	0.99	1.09	1.08	0.78
	Tercera Etapa	1.12	1.08	1.09	1.09

Fuente: Elaboración Propia

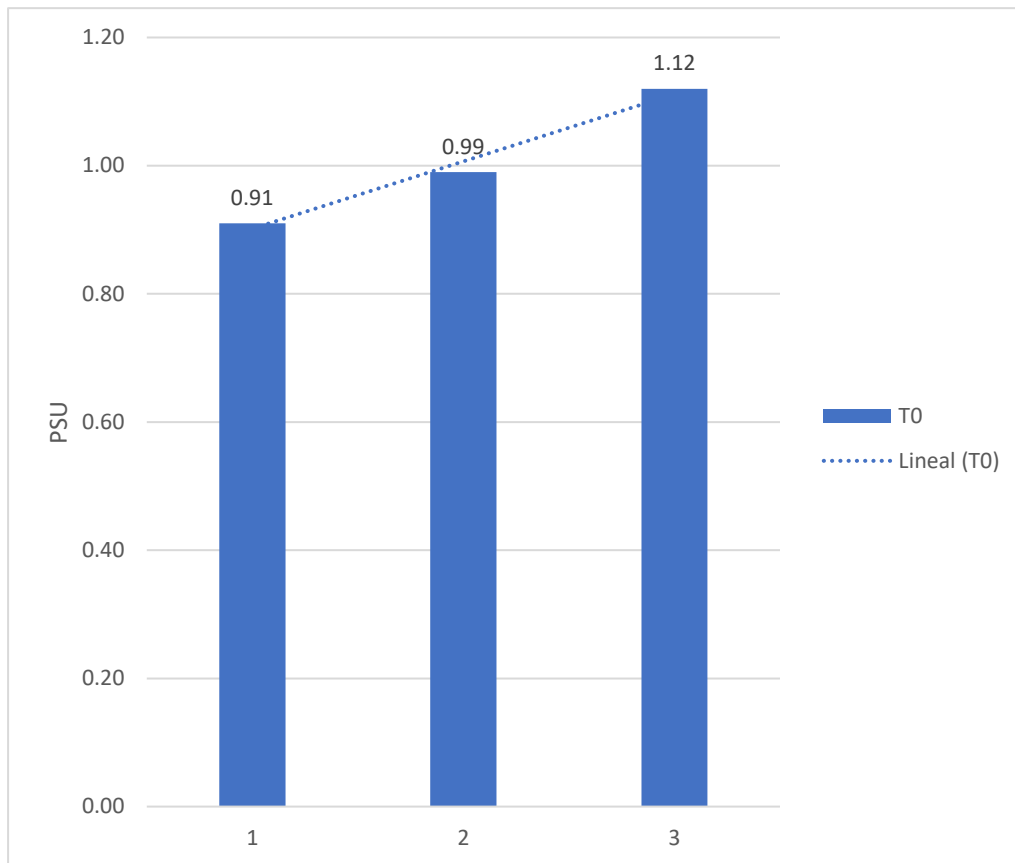


Figura 55. Resultados de análisis de Salinidad en tratamiento T0

Interpretación:

La Salinidad muestra incrementos según cada etapa, inicialmente con lecturas de 0.91 PSU, luego 0.99 PSU y finalmente 1.12 PSU. La línea de tendencia está en ascenso.

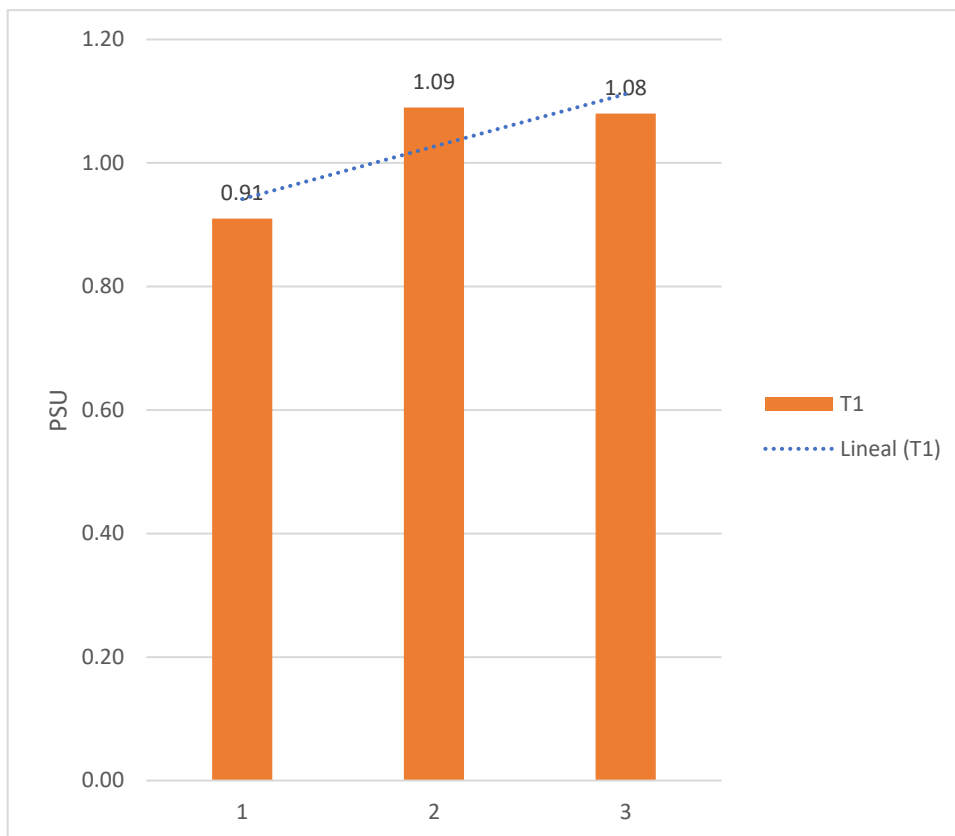


Figura 56. Resultados de análisis de Salinidad en tratamiento T1

Interpretación:

El análisis de Salinidad para la segunda etapa mostró una lectura de 1.09 PSU, más elevada respecto a la primera (0.91 PSU). Finalmente, la lectura de Salinidad del tratamiento T1 fue de 1.08 PSU. La línea de tendencia está en ascenso.

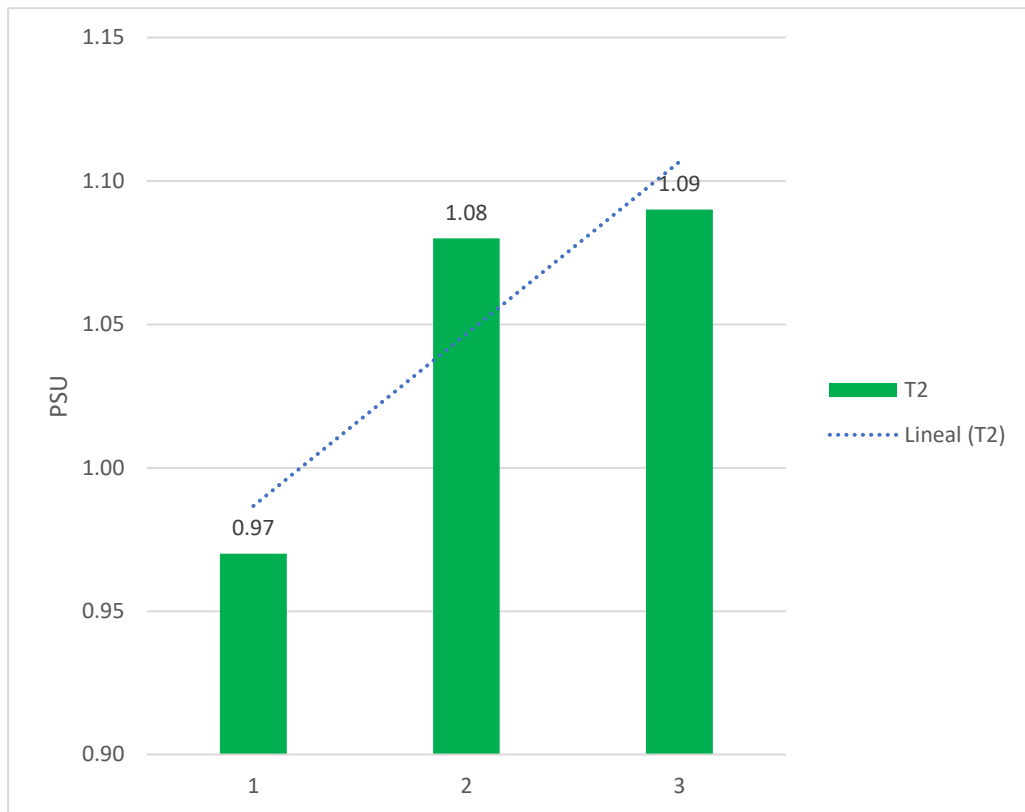


Figura 57. Resultados de análisis de Salinidad en tratamiento T2

Interpretación:

La línea de tendencia para los análisis de Salinidad se muestra en ascenso, iniciando en 0.97 PSU, luego 1.08 PSU y terminando en 1.09 PSU. La línea de tendencia está en ascenso.

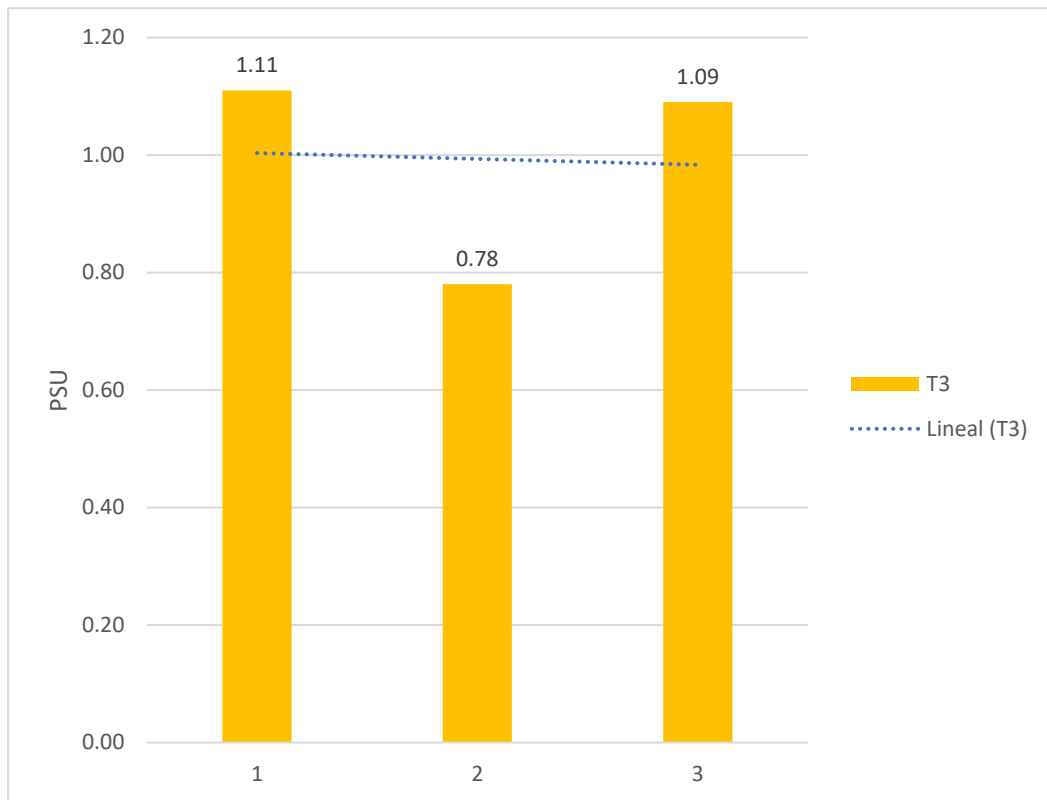


Figura 58. Resultados de análisis de Salinidad en tratamiento T3

Interpretación:

Como en parámetros anteriores se muestra un descenso y un ligero incremento durante la siguiente etapa, con lectura inicial de 1.11 PSU, lectura intermedia de 0.78 PSU y 1.09 PSU como lectura final. La línea de tendencia está en descenso.

Análisis de porcentaje de remoción de parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Turbidez

Calculando el porcentaje de remoción, el cálculo para la eficiencia de remoción del contaminante luego de ejecutado un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas se obtiene mediante la fórmula (Parra, 2006):

$$\%R = (C0 - C) / C0 \times 100$$

Donde:

%R: Porcentaje de eficiencia de remoción del tratamiento o de uno de sus componentes

C: Carga contaminante de final

C0: Carga contaminante inicial

Remoción de DBO₅

Tabla 29. Porcentaje de remoción de DBO₅ del agua residual doméstica

% Remoción de DBO₅	
% Remoción T0 (1 Etapa - 2 Etapa) =	-70.00
% Remoción T0 (1 Etapa - 3 Etapa) =	75.00
% Remoción T1 (1 Etapa - 2 Etapa) =	97.02
% Remoción T1 (1 Etapa - 3 Etapa) =	97.02
% Remoción T2 (1 Etapa - 2 Etapa) =	91.60
% Remoción T2 (1 Etapa - 3 Etapa) =	97.02
% Remoción T3 (1 Etapa - 2 Etapa) =	86.49
% Remoción T3 (1 Etapa - 3 Etapa) =	96.85

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestran las figuras para mayor representatividad en remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno.

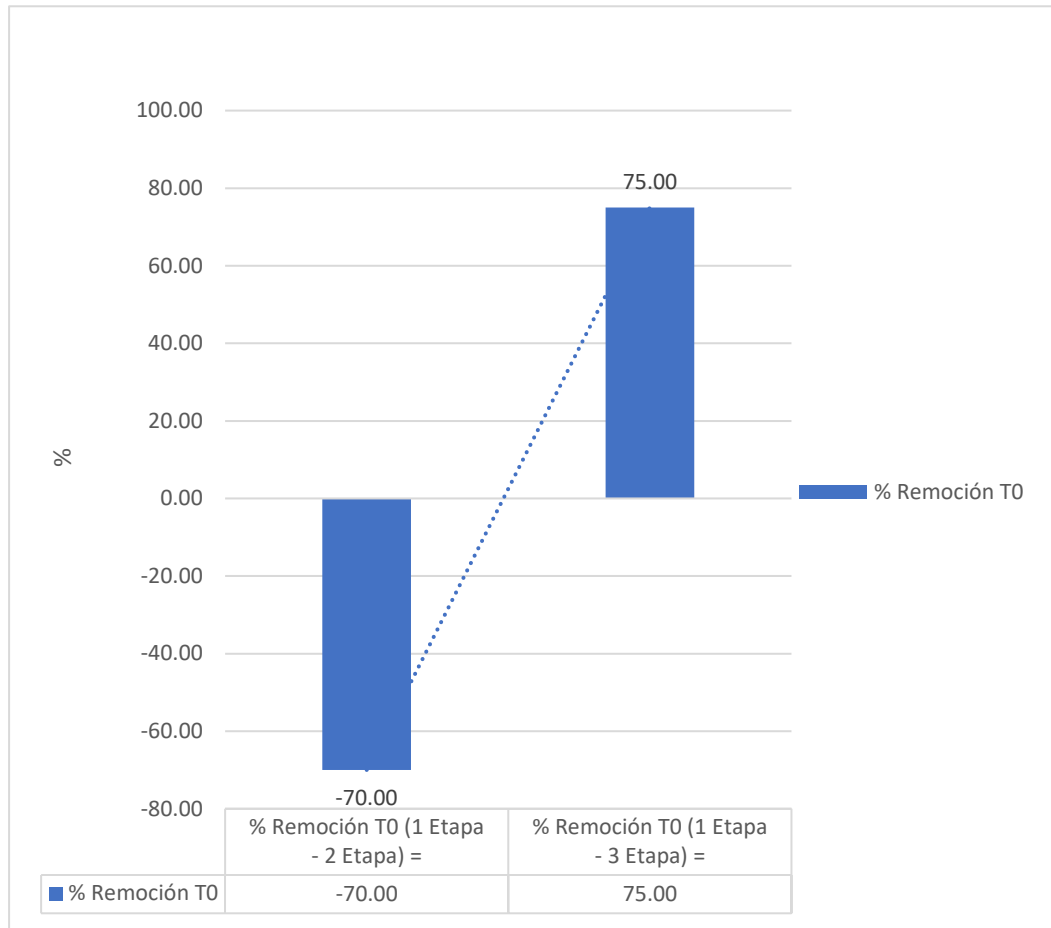


Figura 59. Resultados de análisis de remoción de DBO5 en tratamiento T0

Interpretación:

Se puede observar que durante la primera etapa hacia la segunda etapa se calculó un porcentaje de remoción negativo (-70 %) lo que indica un aumento en la demanda bioquímica de oxígeno, lo que se explicará en la Discusión. Durante la primera y tercera etapa se calcula un porcentaje de remoción de 70. La línea de tendencia está en ascenso.

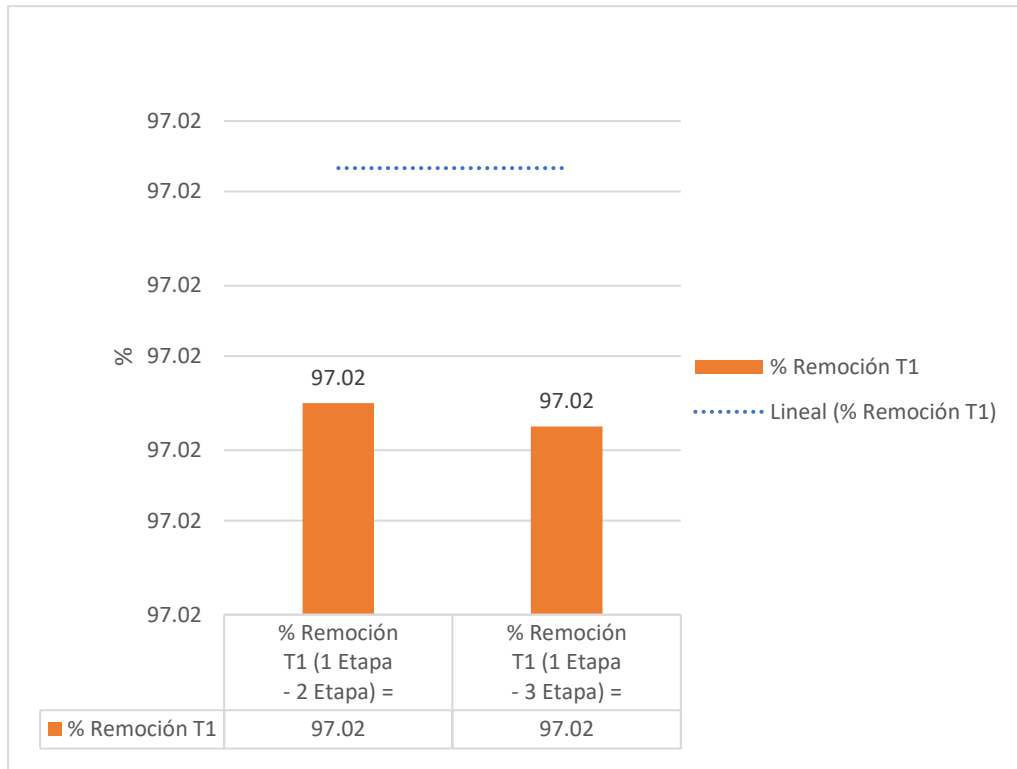


Figura 60. Resultados de análisis de remoción de DBO5 en tratamiento T1

Interpretación:

Al realizar el cálculo de porcentaje de remoción se determinó que tanto la primera etapa hacia la segunda (97.02 %) como la primera etapa hacia la tercera (97.02%), resultan en el mismo porcentaje. La línea de tendencia está paralela.

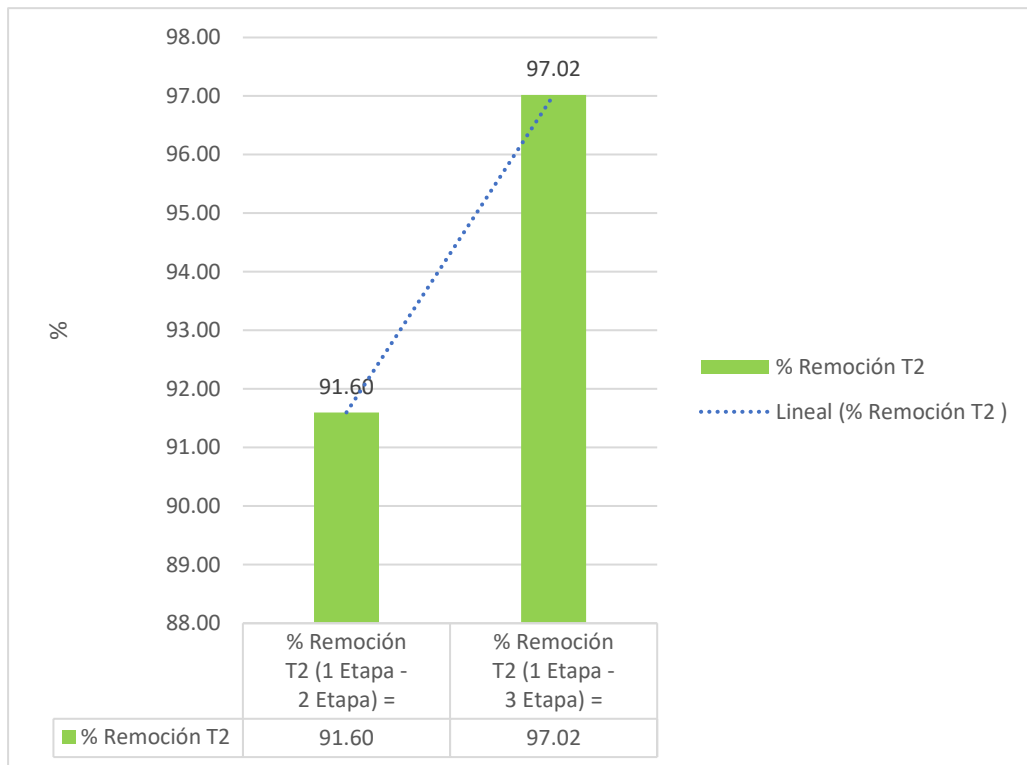


Figura 61. Resultados de análisis de remoción de DBO5 en tratamiento T2

Interpretación:

En los cálculos de porcentaje de remoción del tratamiento denominado T2, durante la primera etapa hacia la segunda etapa se obtuvo 91.60 % de remoción, mientras que durante la primera etapa hacia la tercera etapa un 97.02 % de remoción. La línea de tendencia está en ascenso.

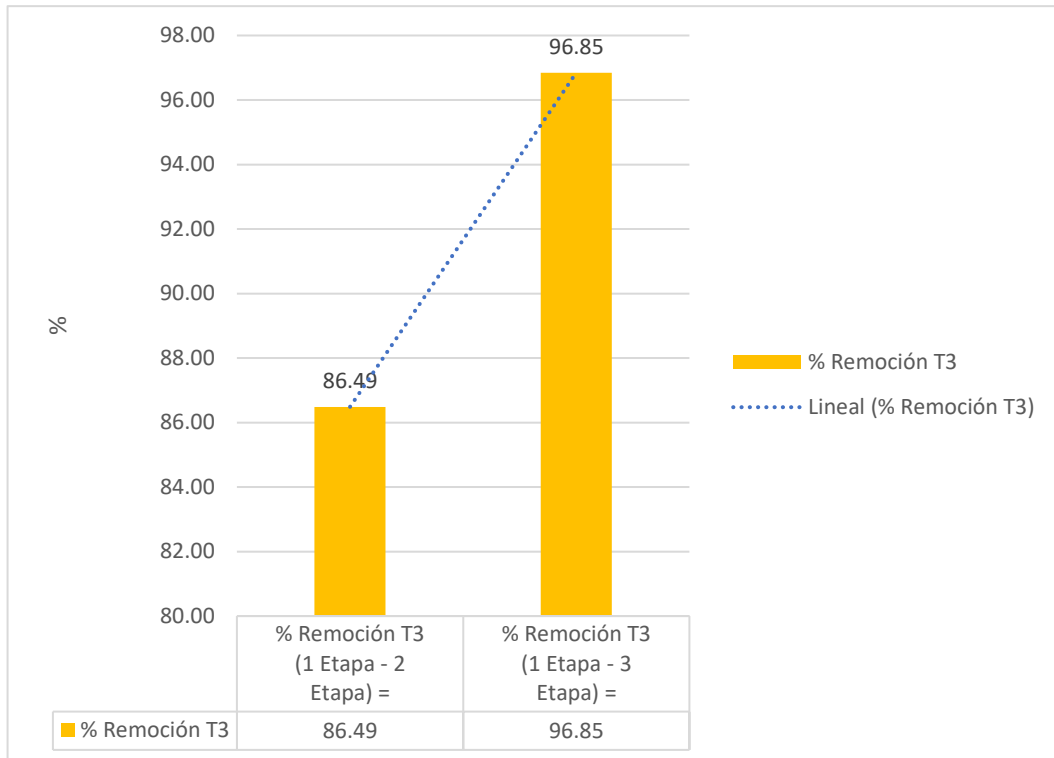


Figura 62. Resultados de análisis de remoción de DBO5 en tratamiento T3

Interpretación:

El cálculo de porcentaje de remoción de DBO5 para el tercer tratamiento reveló los siguientes porcentajes para la primera etapa hacia la segunda etapa con 86.49 % y de la primera etapa hacia la tercera etapa con 96.85 % de remoción. La línea de tendencia está en ascenso.

Tabla 30. *Porcentaje de remoción de Turbidez del agua residual doméstica*

% Remoción de Turbidez	
% Remoción T0 (1 Etapa - 2 Etapa) =	-
	39.48
% Remoción T0 (1 Etapa - 3 Etapa) =	86.73
<hr/>	
% Remoción T1 (1 Etapa - 2 Etapa) =	89.05
% Remoción T1 (1 Etapa - 3 Etapa) =	93.39
<hr/>	
% Remoción T2 (1 Etapa - 2 Etapa) =	84.31
% Remoción T2 (1 Etapa - 3 Etapa) =	92.81
<hr/>	
% Remoción T3 (1 Etapa - 2 Etapa) =	82.30
% Remoción T3 (1 Etapa - 3 Etapa) =	96.23

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestran las figuras para mayor representatividad en remoción de la Turbidez.

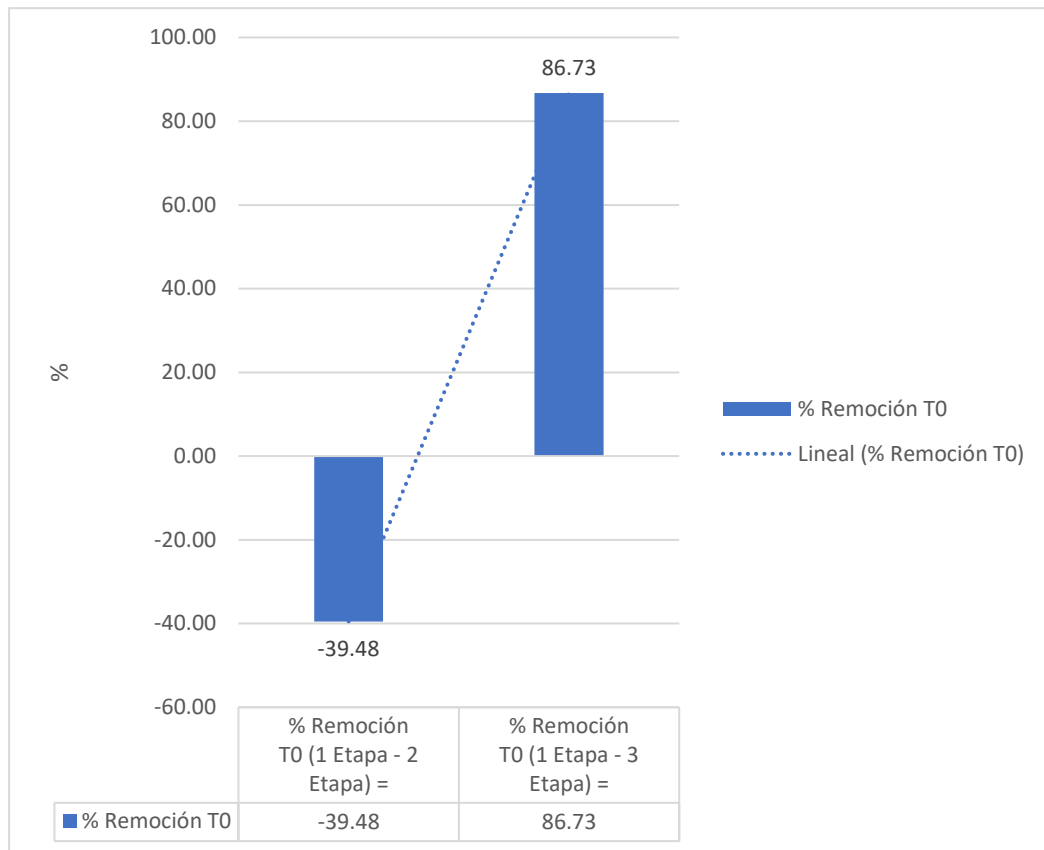


Figura 63. Resultados de análisis de remoción de Turbidez en tratamiento T0

Interpretación:

La remoción de turbidez para el tratamiento T0, fue evaluado en dos etapas, en la primera partiendo de la primera etapa a la segunda, se calculó una remoción negativa de -39.48 %, en el segundo cálculo que involucra la primera etapa hacia la tercera fue de 86.73%. La línea de tendencia está en ascenso.

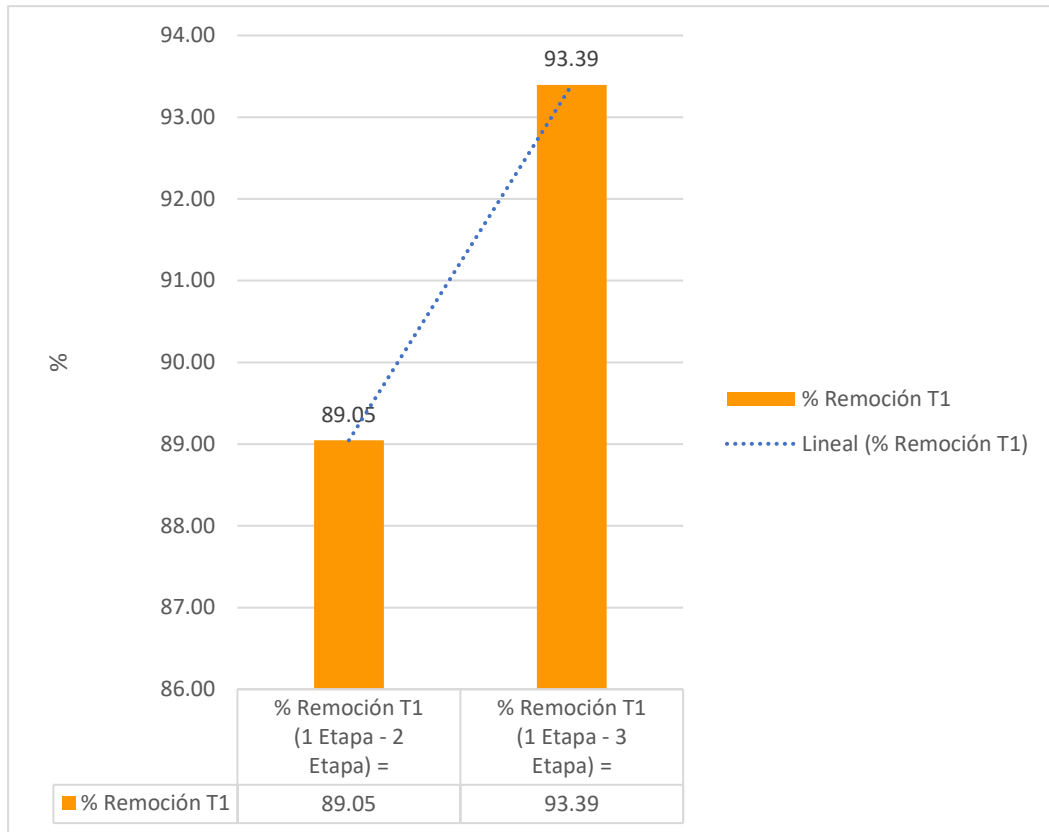


Figura 64. Resultados de análisis de remoción de Turbidez en tratamiento T1

Interpretación:

Este tratamiento denominado T1, se evaluaron las remociones de Turbidez para la primera etapa hacia la segunda obteniendo una remoción de 89.05 % y de la primera etapa hacia la tercera fue de 93.39% de remoción en Turbidez. La línea de tendencia está en ascenso.

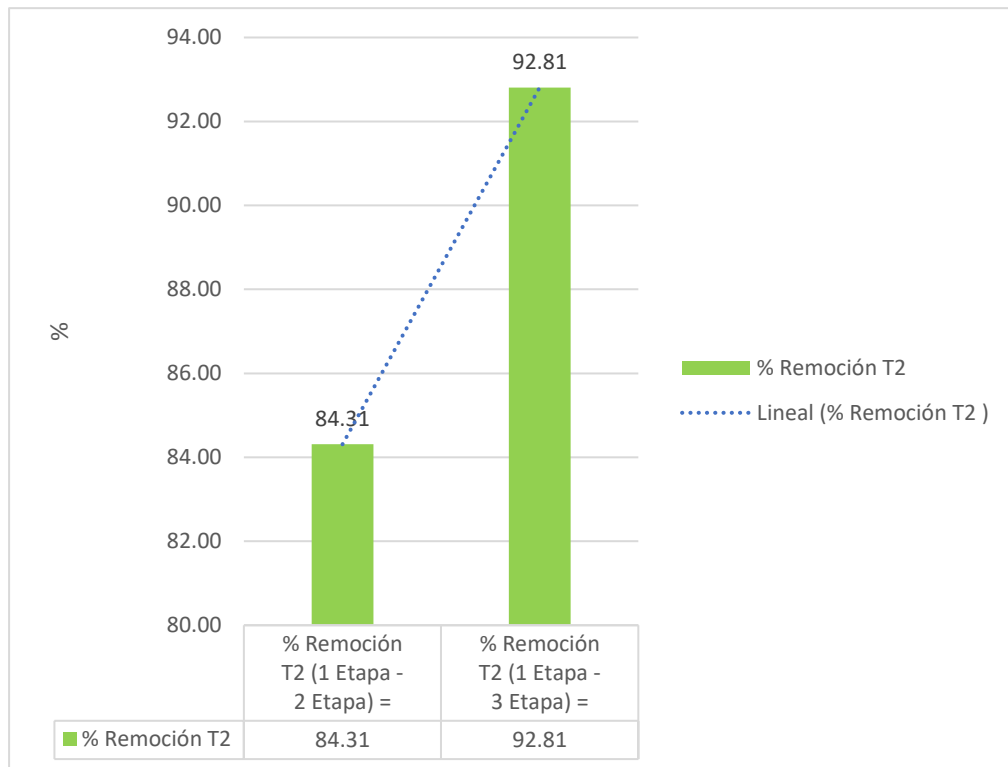


Figura 65. Resultados de análisis de remoción de Turbidez en tratamiento T2

Interpretación:

Los cálculos de porcentaje de remoción para T2 realizados en dos fases, una en la primera etapa hacia la segunda obtuvo los siguientes resultados de 84.31 %, en la segunda fase el cálculo fue de 92.81 % en la primera etapa hacia la tercera etapa. La línea de tendencia está en ascenso.

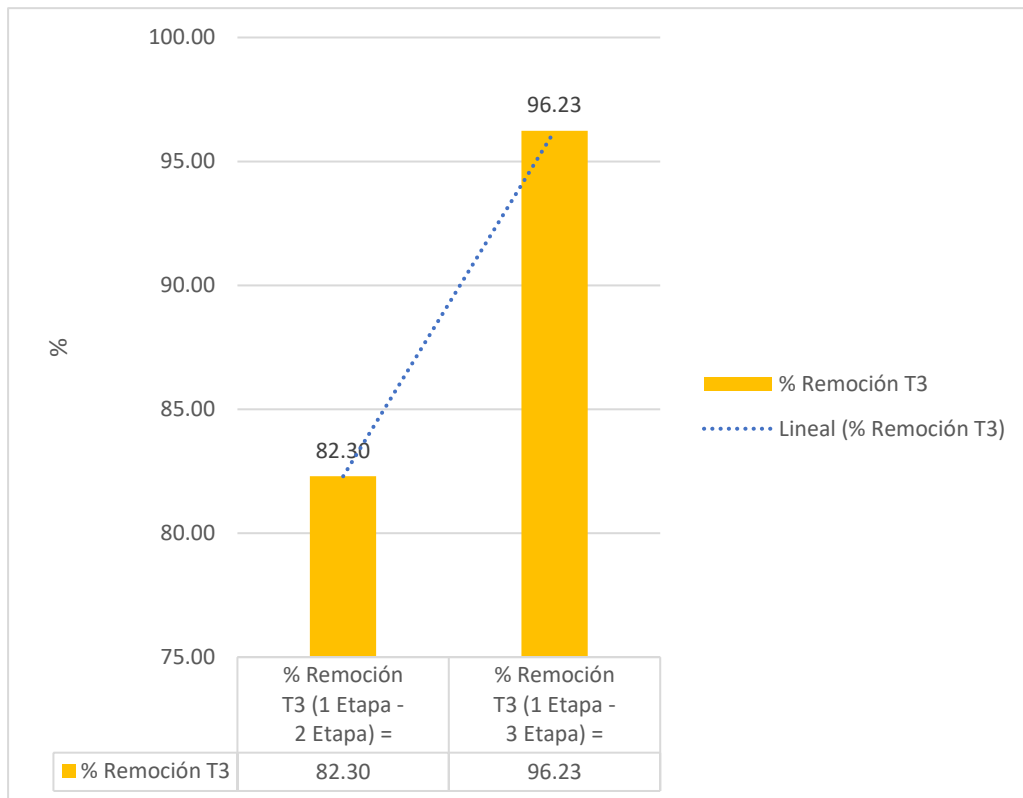


Figura 66. Resultados de análisis de remoción de Turbidez en tratamiento T3

Interpretación:

El porcentaje de remoción calculado en T3 respecto a la primera hacia la segunda etapa fue de 82.30 %, de acuerdo al cálculo efectuado en la primera hacia la tercera etapa fue de 96.23 % de remoción de turbidez. La línea de tendencia está en ascenso.

IV. DISCUSIÓN

Existe una extensa diversidad de sistemas de tratamiento para aguas residuales domésticas, tenemos los procedimientos más practicados como las lagunas de oxidación y los sistemas con lodos activados (Chapilliquen, 2018, p.57), los tratamientos biológicos actualmente han alcanzado a tener un gran crecimiento debido a la posibilidad ambiental que muestran, debido a la ausencia de exponer otros factores ambientales. Tal como se demostró en la experiencia realizada en la presente investigación, con la subsistencia de la especie microalgal *Scenedesmus sp*, en el agua residual domestica del Dren 4 000 empleada a tratar en la investigación.

Por lo que se refiere a los indicadores de control de la microalga *Scenedesmus sp*. respecto a los nutrientes suministrados en el mantenimiento del tratamiento T0: Cloruro de Potasio, Limadura de Hierro, Ácido fosfórico y Urea, causaron el crecimiento exponencial de la microalga *Scenedesmus sp*, entre los 2 y 6 días posteriores a la primera aplicación, como se constató en la investigación de Yoshihico (2009, p.12), siendo incentivado en la segunda aplicación del medio nutritivo H-M, manteniéndose en una fase estacionaria provocando un ligero aumento en la Demanda Química de Oxígeno y Turbidez, finalmente al anularse el suministro de medio H-M, se constató la fase de muerte de la microalga *Scenedesmus sp*.

De la misma forma, la incidencia de luz en las microalgas es indispensable, ya que se trata de microorganismos fotoautótrofos (Malgas, 2013, p.12 y Tsaloglou, 2016, p.45), por ello no hubo restricciones en la incidencia de luz solar durante todo el tratamiento, como lo argumentaba Vásquez y Zavaleta (2017, p.105) y García (2015, p.31), las microalgas se desarrollan y desenvuelven mejor sus funciones de asimilación de nutrientes en lugares con luz, favoreciendo su adaptación al nuevo medio, siendo la luz activadora de la fotosíntesis (Falkowski y Raven, 2007, p.23).

Acevedo, Piño y Peñuela (2016, p.41), en su investigación, argumentan que el tratamiento biológico de aguas residuales aplicando microalgas fotosintéticas suministra aireación, disminuye el riesgo de volatilización de los contaminantes y suministra oxígeno a las bacterias que favorecen en la degradación de compuestos orgánicos.

Mientras que en la investigación de Acevedo, Piño y Peñuela (2016), no existió suministro de CO₂, lo que representó un factor restrictivo en la evolución de las microalgas y la baja producción de biomasa, se tomó este antecedente y en la práctica de la presente investigación se inyectó CO₂, en un total de 15 120 L/min en cada tratamiento (T0, T1, T2 y T3), como

también lo sugirió Cabrera y Candela (2014) llegando a comprobar que dicha inyección de CO₂ es favorable tal como se planteó teóricamente. Falkowski y Raven (2007, p.07) y Montenegro (2009, p.45), ya mencionaron anteriormente que la manera más disponible de suministrar carbono era inyectándolo por medio de CO₂, ya que es preciso en el proceso de la fotosíntesis y el ciclo de Calvin.

Es importante recalcar las agitaciones manuales que se realizaron, estas ayudaron a evitar la sedimentación de compuestos, ayudando a la acción ficorremediadora de la microalga *Scenedesmus sp.* Los estudios desarrollados por Malgas (2013), indican que la agitación posibilita la eficacia en el transporte de otros factores influyentes en el crecimiento de microalgas, lo que se corroboró en el presente trabajo, además se evidenció que favorece en la homogenización del pH, afirmando la organización de los gases y de la luz e imposibilitando la precipitación de las microalgas y su adherencia a los lados del biorreactor. Una precisa agitación conlleva a las microalgas a ciclos veloces de combinado, que en términos de milisegundos transitan de una región poco luminosa u oscura a una más iluminada.

No obstante, sólo algunas de las especies soportan una oscilación dinámica que pretenda un óptimo mezclado en el reactor, dado que pueden presentar sensibilidad al estrés hidrodinámico, por ello únicamente las revoluciones manuales se llevaron a cabo durante 15 segundos (en cada tratamiento), por un periodo de 3 veces semanales, en un total de 90 segundos en todo el tratamiento (2 semanas).

Durante la experiencia para el tratamiento denominado T0, se suministró medio nutritivo Heusster- Merino, el que consta de componentes como UREA, Cloruro de potasio, Limadura de Hierro y Ácido fosfórico, en las concentraciones determinadas este medio provee los nutrientes necesarios para mantener viva la cepa y cumpliendo su ciclo de crecimiento. Se observan las dosis aplicadas, concluyendo en la segunda semana (total de dos aplicaciones en las fechas en el 21 de octubre y 30 de octubre), se puede señalar que se suministró un total de 704 gramos de UREA, 660 gramos de Cloruro de potasio, 10 gramos de Limadura de Hierro y 35 mililitros de Ácido fosfórico.

En detalle, el tratamiento T0 no cuenta con agua residual, ya que emplea como medio de control y referencia, por lo que únicamente se le suministra medio nutritivo Heusster Merino, con la finalidad de mantener viva la cepa por un periodo de tiempo (2 semanas). Durante la primera etapa se agregó (como a todos los tratamientos) 100 ml de cepa, lo que indica el

20mg/l de DBO, posteriormente gracias a la adición del medio nutritivo la cepa crece y ocupa un mayor espacio dentro del contenedor en el biorreactor, lo que eleva la demanda bioquímica de Oxígeno alcanzando un 34 mg/l. Finalmente se presenta el periodo de anulación del medio HM y las microalgas mueren, comprobándose en DBO final de 5mg/l.

El tratamiento denominado T1 contuvo 300 ml de agua residual, con 100 ml de cepa *Scenedesmus sp.* diluido en 1000 ml. Se observan los elevados niveles iniciales de DBO, que posteriormente tienen un gran descenso, comprobando la teoría referida anteriormente, luego del proceso de adaptación la microalga *Scenedesmus sp.* inicia un proceso de crecimiento exponencial, captando los nutrientes presentes y dejando sin recursos nutritivos a otros microorganismos perjudiciales en el efluente residual, según las lecturas de Oxígeno Disuelto, el cálculo final de DBO en la segunda y tercera etapa se mantiene estable, alcanzando su asimilación en 1 semana de tratamiento, llegando a estar dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (15 mg/l) y Límite Máximo Permisible (100 mg/l), en la segunda etapa.

En el tratamiento T2, respecto al DBO₅, con la asignación de 500 ml de agua residual doméstica, 100 ml de inóculo y 300 ml de agua destilada, se observa el deceso de DBO, según la línea de tendencia y los valores correspondientes. Durante la segunda etapa el tratamiento T2, está dentro de los LMP (100 mg/l), lo que hace necesaria una semana adicional de tratamiento para alcanzar los niveles ECA (15 mg/l), que se observan en la tercera etapa.

En el tratamiento T3, contenedor de 700 ml de agua residual y 100 ml de inóculo en una dilución de 1000 ml, se observa la reducción de DBO según la línea de tendencia, la reducción es notoria pero más tardía que en los tratamientos T1 y T2, lo que se debe a la mayor cantidad de efluente diluido. No obstante, en la segunda etapa alcanza los niveles aceptables de LMP, lo que sobrecoge la teoría principal de adaptación y niveles de DBO estables con las microalgas en la tercera etapa, estando dentro del ECA aceptables.

Respecto a la interpretación general de los análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno por 5 días, en los tratamientos iniciales a excepción del Tratamiento T0, todas las demás muestras presentan valores excedidos al Límite Máximo Permisible (100 mg/l), lo que indica una excesiva demanda por parte de bacterias, hongos, protozoos y otros microorganismos.

Posteriormente, luego de un semana de tratamiento, se realizaron los análisis de la segunda etapa, donde el nivel del T0 se muestra incrementado debido al crecimiento microalgal,

consecuencia de la adición del medio HM, durante dos veces (21 y 30 de octubre), respecto a los Tratamientos T1, T2 y T3, la reducción en la demanda de Oxígeno es claramente representativa, el T1 establecido en una dilución de 30 % (300 ml), T2 determinado en una dilución 50 % (500 ml) y T3 al 70% (700 ml), cada tratamiento es aceptado según los estándares de Límite Máximo Permisible, que los restringe en menos de 100 mg/l, dentro de los Estándares de Calidad Ambiental aún no cumplen los requisitos determinados en 15 mg/l. Finalmente, en la tercera etapa, los niveles de disminución de DBO5, son consecuentes con el porcentaje de dilución en cada tratamiento, la reducción apresurada de T0 se debe a la restricción de suministro del medio HM, pasadas las dos veces estipuladas, lo que llevo al descenso microalgal y su posterior muerte, como se detalla y evidencia en la presente investigación. Respecto a las otras diluciones T1, T2 y T3, se muestran niveles inferiores a los anteriores.

Otro de los parámetros evaluados es la presencia del Oxígeno Disuelto, en el Tratamiento T0, la presencia de Oxígeno Disuelto es mayor ya que equivale a la ausencia total de agua residual y solo 100 ml de inóculo microalgal, respecto a los otros tratamientos, los mg/l son muy bajos. La reducción de OD en el tratamiento T0 se debe al incremento en el crecimiento y desarrollo microalgal, respecto a T1, T2, y T3, las lecturas se incrementaron, principalmente en el tratamiento T1.

Durante los análisis realizados de Oxígeno Disuelto en las tres etapas al tratamiento T0, inicialmente se obtuvo un resultado adecuado a la dilución con el inóculo, posteriormente en la segunda etapa la influencia del crecimiento microalgal determina la lectura de OD, causando una disminución considerable, finalmente en la tercera etapa los niveles de Oxígeno Disuelto se estabilizan. Se visualiza la línea de tendencia en incremento respecto al tiempo de duración del tratamiento, lo que indica como favorece la presencia de la microalga en el aumento de Oxígeno Disuelto. El Estándar de Calidad Ambiental estipula una cantidad mínima de 4 mg por litro, lo que durante la tercera etapa se sobrepasa en dicho valor.

Se visualizó la línea de tendencia en incremento respecto al tiempo de duración del tratamiento, lo que indica como favorece la presencia de la microalga en el aumento de Oxígeno Disuelto. Igualmente, que, en el T1, el incremento estable el nivel de OD dentro de los ECA (≥ 4), lo que resulta beneficioso al mostrar incremento. La línea de tendencia se muestra en ascenso, claramente con mayor lentitud lo que se explica al porcentaje de dilución (70 %), consiguiendo estar en el ECA para riego de vegetales.

En todos los tratamientos los niveles de Oxígeno Disuelto se observan nivelados y muestran mayor estabilidad, y en cada caso el nivel de OD se ve incrementado, lo que es beneficioso para la existencia de vida acuática a llegar a los cuerpos de agua.

En cuanto a la turbidez, en todos los tratamientos (T0, T1, T2 y T3) es representativa al nivel de dilución correspondiente a 0%, 30%, 50% y 70%, en T3 alcanzando los niveles más altos de turbidez. Para T0, la lectura presente está representada por el inóculo de *Scenedesmus sp.* Según las lecturas de turbidez, el grado de transparencia del T0 empieza en 8.89 NTU, sin embargo, en la siguiente etapa se visualiza un notable aumento hasta 12.4 NTU, evidenciándose el crecimiento exponencial de la microalga *Scenedesmus sp.* durante ese lapso de tiempo. Finalmente, al llegar la etapa de muerte y mitad final el nivel de turbiedad disminuye hasta 1.18 NTU, reduciendo las partículas en suspensión resultado en un líquido semi incoloro.

La primera etapa del tratamiento T1 tuvo una dilución al 30%, es decir 300 ml de agua residual y 100 ml de inóculo microalgal diluidos y llevados hasta 1000 ml, lo que representa 92.2 NTU de materia y sólidos presentes, lo que indica que en estos parámetros afecta la fotosíntesis, eventualmente en la segunda etapa del tratamiento, una semana después, se observa una reducción de grandes escalas (10 NTU), cabe recalcar que estas medidas se toman luego una sedimentación de 5 horas, lo que indica la asimilación y captación de dicha materia por las microalgas, finalmente en la tercera etapa la lectura es de 6.09 NTU, visiblemente el agua residual del T0 tiene un aspecto de gran transparencia.

Los valores iniciales referentes a la turbidez inicial en el tratamiento T2, son de 116 NTU, significa que el agua se encuentra con una suciedad (compuestos de materia orgánica y partículas suspendidas) alta, en este parámetro llega a limitar el paso de la luz solar, por lo que la biorremediación fue más pausada para la microalga aplicadas (*Scenedesmus sp.*), al llegar la segunda etapa de análisis de Turbidez de T2, se obtuvieron las lecturas de 18.2 NTU, descendiendo hasta un rango muy aceptable ambientalmente, asegurado con la lectura de la tercera etapa (8.34 NTU), en niveles adecuados luego del tratamiento.

Las partículas suspendidas captan el calor de la luz del sol, lo que indica que las aguas turbias tienen mayor temperatura y menor concentración de oxígeno en el agua, pues el oxígeno se disuelve mejor en el agua fría, el tratamiento T3, tuvo 700 ml de agua residual y 100 ml de cepa microalgal, en 1000 ml. Lo que hace ampliamente representativa con el agua residual

en cuestión (Dren 4 000). Las lecturas iniciales conforme a las lecturas para la Turbidez del tratamiento denominado T3, (224 NTU), reflejan lo mencionado anteriormente.

Durante la segunda etapa de análisis se observó que el nivel de turbidez descendió a 43.2 NTU y finalmente 9.20, ambos son indicadores de una mejor calidad en el agua, comparada al nivel inicial. Los últimos resultados del análisis de Turbidez muestran un descenso en sus valores, esto se debe, en gran parte, a la captación de compuestos de Carbono, Nitrógeno y Fósforo presentes en el agua residual, por las microalgas, como proceso propio de su nutrición.

Los resultados de temperatura se expresan en °C, una propiedad física como la temperatura perturba tanto a la acción biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual. Se observan los valores similares, sin una gran diferencia. Respecto a las normas, los Límites Máximos Permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua acepta que la temperatura debe ser menor a 35 °C, en cuanto a los Estándares de Calidad Ambiental de la categoría de riesgo de animales, establece admitir una variabilidad de ± 3 °C.

La temperatura en todos los tratamientos no presenta mayor variabilidad de ± 3 , la temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas libres de contaminación, a causa de la energía liberada mediante las reacciones bioquímicas, dichas reacciones se exponen en la degradación de la materia orgánica. Las descargas calientes también son contribuyentes del incremento de temperatura, principalmente procedentes de restaurantes o tratamientos de servicios higiénicos que utilizan químicos que reaccionan a la agitación.

El potencial de hidrógeno o pH, es un concepto empleado para tener una medida clara y bien concreta de la acidez o alcalinidad del agua. En las diluciones y tratamientos realizados se observan diferencias y niveles ligeramente ácidos, propios del agua residual. Por lo general, el pH ideal para el crecimiento de los organismos se localiza entre 6.5 y 8.5, como lo define el LMP Y ECA apropiado, en la investigación se observa que después de la primera etapa de tratamiento todos los tratamientos se ubican en niveles aceptables.

El pH de T0, T1, T2 y T3 al finalizar el tratamiento se ubican en un pH neutro, el rango de concentración idóneo para la presencia de la mayoría de la vida biológica es muy angosto y crítico. El agua residual con una concentración desfavorable de ion hidrógeno es complicada de tratar por medios biológicos, siendo demostrado que no presenta una mayor complejidad para la microalga *Scenedesmus sp.*

Otro punto es la Conductividad Eléctrica, al iniciar el tratamiento se observó que no existía una gran diferencia entre T0, T1, T2 y T3, sin embargo, el menor valor se observa en el Tratamiento T0, que se explica que la mayor agua de dilución (900 ml) es agua destilada. El Estándar de Calidad Ambiental, en lo que refiere a Conductividad Eléctrica establece un valor de 2 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En la etapa intermedia las lecturas para T1 (2134 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y T2 (2125 $\mu\text{S}/\text{cm}$), alcanzan niveles similares, en tanto T0 (1953 $\mu\text{S}/\text{cm}$) aumenta la Conductividad Eléctrica y T3 (1556 $\mu\text{S}/\text{cm}$) muestra un deceso representativo. La Conductividad Eléctrica, en las lecturas finales muestra un mayor aumento en T0 (2178 $\mu\text{S}/\text{cm}$), mientras que en T1, T2 y T3, los valores son similares (2126 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2131 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente), respetando los estándares establecidos.

En el caso de los análisis de Sólidos Totales la mayor concentración de Sólidos Totales Disueltos se encuentra en el T3, recordando que dicho tratamiento contiene la mayor cantidad de agua residual doméstica, secuencialmente el T2 muestra la segunda cantidad en mg/l más alta, respecto a T0 y T1, muestran valores similares. Según las lecturas de STD, durante la tercera etapa el valor más elevado lo obtiene T0 con 1089 mg/l, luego le sigue T2 con 1066 mg/l, 1065 mg/l para T3 y finalmente se ubica T1 con 1063 mg/l.

Se puede comprender que los Límites Máximos permisibles para ST, es de 1 500 mg/l, estando todos los tratamientos bajo esta determinación.

La presencia de salinidad en las aguas residuales alcanza afectar el diseño de estaciones depuradoras de manera significativa, debido a que crea un efecto inhibitorio sobre la biocenosis del agua dulce y perturba las cualidades de sedimentación de los sólidos, por ello se evaluó dicho parámetro, con lo que las lecturas finales del análisis de salinidad fueron mayores para T0 con 1.12 PSU, los tratamientos T2 y T3 con un valor de 1.09 PSU y luego T1 con 1.08.

Por otro lado, se calcularon dos indicadores en porcentajes de remoción, estos son DBO5 y turbidez, con la finalidad de poseer una idea clara y representativa en alcances químicos y físicos, de la calidad biorremediadora de la microalga *Scenedesmus sp.* Se interpretan de la siguiente manera:

Para DBO5, en el tratamiento designado T0, de la primera etapa hacia la segunda la remoción de -70 % indica que la microalga *Scenedesmus sp.* se incrementó exponencialmente,

demandando la mayor presencia de Oxígeno, al llegar su decaimiento, como se muestra en el cálculo final de 75%, esta llega a su fase final y se da la formación de biomasa.

En el mismo parámetro, para el tratamiento T1, en la primera etapa hasta la segunda el porcentaje de remoción fue el mismo que de la primera hacia la tercera (97.02 %), lo que indica que el tiempo para llegar a su potencial de biorremediación fue de una semana, a no tener más cambios en la etapa adicional.

Respecto a T2, en los resultados se observa un mayor porcentaje de remoción en la tercera etapa (97.02), referente a la segunda etapa (91.60), lo que indica que la microalga sigue siendo benéfica en dicho lapso de tiempo.

Finalmente, en el cálculo de remoción para la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el tratamiento T3, muestra valores más notorios considerando desde la primera a segunda etapa (86.49 %), y de primera a tercera etapa (96.85 %), validando que, al ser el tratamiento con mayor dilución residual, amerita mayor tiempo de retención de efluente.

De la misma forma se calculó el porcentaje de remoción con la Turbidez, donde el T0 llevó las mismas variables que en los demás parámetros, mostrando incremento de valores durante la segunda fase causando que el porcentaje de remoción calculado sea negativo (-39.48), finalmente llegar a un porcentaje de 86.73. Para T1, la remoción fue favorable y poco distante en ambas fases, durante la primera 89.05 % y finalmente 93.39 %, recordando que el tratamiento T1 obtuvo una dilución total de 300 ml en 1 000 ml.

En el tratamiento T2, cuya dilución fue al 50%, durante la primera etapa hacia la segunda se calculó una remoción de 84.31%, y en la primera etapa hacia la tercera 92.81%, siendo representativo favorablemente el tiempo de aplicación. Por último, en T3, en el transcurso la primera etapa hacia la segunda se calculó una remoción de 82.30%, y en la primera etapa hacia la tercera 96.23%, lo que finalmente se evidencia notoria y visiblemente en la claridad del agua.

Tal como lo evidenció Ballén, Hernández, Parra y Pérez (2016), valorando la evolución, crecimiento y desarrollo de la microalga *Scenedesmus sp.* en tres diluciones distintas de un agua residual (20%, 50% y 100%), la presente investigación se centra en cuatro distintas concentraciones (0%, 30%, 50% y 70%), con la finalidad de entender el comportamiento individual de la cepa y con las distintas diluciones, sin llegar a estresar al inóculo y obtener los mejores resultados.

Del mismo modo que Ballén, Hernández, Parra y Pérez (2016, p.59), se hicieron útiles 15 días, dichos investigadores obtuvieron una remoción promedio únicamente de DBO (> 88%), con lo que la presente tesis sustenta un cálculo promedio de remoción mayor (> 90%) de aguas residuales domésticas, contribuyendo a la argumentación de la eficacia ficorremediadora de la microalga *Scenedesmus sp.*

Además, como detalla Ruiz (2011), la acción conjunta de las microalgas con los organismos presentes en el agua residual doméstica, bacterias principalmente, presentan una acción vinculada, adaptándose la microalga en un corto periodo de tiempo, sin afectar a su desarrollo o procesos biorremediadores. Como se pudo evidenciar en el microscopio la presencia de muchos microorganismos trabajando en consorcios con la microalga *Scenedesmus sp.*

Barrio y Marroquín (2016, p.15), previeron la presencia de nutrientes como un indicador fundamental en el desarrollo de las microalgas, pero no determinaron en que cantidades o concentraciones iban a ser tolerados por las microalgas, por ello fue el tratamiento T0, sin agua residual, con concentraciones controladas de medio HM, los otros tratamientos (T1, T2 y T3) con diluciones diferentes. La exposición del biorreactor a la luz solar fue igual para todos los tratamientos, así como la inyección de Dióxido de carbono (0.75 ml/ min), contrastando las investigaciones previas.

Dávila (2016, p.28), en su investigación, adaptó la microalga *Scenedesmus obliquus* para su crecimiento en agua residual, así mismo se efectuó, monitoreando en diferentes parámetros, manteniendo un control continuo de los que fisicoquímicamente iba aconteciendo en los biorreactores, estando de acuerdo con la amplia adaptabilidad de la microalga *Scenedesmus sp.* a medios hostiles como las aguas residuales, siendo aplicable a biotratamientos de mayor envergadura.

García (2015, p.82) y Vásquez y Zavaleta (2017, p.29), en su investigación, establecen que los factores influyentes en el desarrollo y evolución de un cultivo de microalgas se ve determinado por la temperatura, intensidad de luz, CO₂, temperatura, pH y cantidad de nutrientes para su crecimiento, lo segundo se evidencia la capacidad de ligero desarrollo microalgal a la exposición solar, respecto a la temperatura, no se alcanzaron niveles extremos con una mayor variabilidad de ± 3 °C. Así mismo se contrastó que otro factor no limitante del desarrollo microalgal fue la presencia de oligoelementos, ya que se considera que en el agua residual se conservan micronutrientes en diluciones no restrictivas.

Chapilliquen (2016, p.43) referido a Diseño convencional de una Planta de tratamiento de aguas residuales para el Sector Cusupe - Distrito de Monsefú, concluyó que los microorganismos más resaltantes en el procedimiento de tratamiento biológico del efluente doméstico son los microorganismos, con ello la presente investigación avala incluyendo a las microalgas como biorremediadoras de agua residual doméstica. Mostrando los resultados y argumentaciones en los distintos parámetros (DBO₅, oxígeno disuelto, turbidez, temperatura, pH, conductividad eléctrica, solidos totales y salinidad) aplicables y representativos a la región Lambayeque.

V. CONCLUSIONES

1. Se concluye que la influencia de la aplicación de la microalga *Scenedesmus sp.* en la biorremediación de aguas residuales domésticas es positiva pues logra asimilar los contaminantes representados en los parámetros evaluados.
2. Para tratar las aguas residuales domésticas del Dren 4 000, se contaron con cuatro tratamientos que estuvieron diluidos en el biorreactor, el primer tratamiento estuvo compuesto por 0% con 0 ml de agua residual llevado a 1000 ml (control), el segundo por 30% con 300 ml de agua residual llevado a 1 000 ml, el tercero por 50% con 500 ml de agua residual llevado a 1 000 ml y el cuarto con 70 % con 700 ml de agua residual llevado a 1 000 ml. Los cuatro tratamientos tuvieron 100 ml de inóculo.
3. Los análisis iniciales demostraron que los tratamientos con agua residual respecto a Demanda Bioquímica de Oxígeno, Oxígeno disuelto, Turbidez y Sólidos Totales, se encontraban fuera de los estándares y límites establecidos, excediéndolos considerablemente (> 70%), para parámetros como pH, conductividad eléctrica, temperatura y salinidad los valores sobrepasaban los límites sin ser excesivos (>20%).
4. Al concluir el tratamiento la microalga *Scenedesmus sp.* demostró ser eficiente para mejorar la calidad del agua residual, el pH, conductividad eléctrica, temperatura, salinidad y sólidos totales se mantuvieron dentro del rango establecido, las disminuciones más resaltantes fueron para la Turbidez, disminuyendo valores de hasta 244 NTU en la etapa inicial a 9.20 NTU en la etapa final. Respecto a DBO₅ y oxígeno disuelto, los valores los valores llegaron a ser aceptados por ECA y LMP.
5. La evaluación de la capacidad de remoción de la especie de microalga *Scenedesmus sp.* en DBO y Turbidez dio como resultado una remoción total eficiente mayor al 90%, con lo que se puede afirmar que la aplicación de la microalga *Scenedesmus sp.* para el tratamiento de aguas residuales domésticas presenta una capacidad excelente en la remoción de DBO y turbidez.

VI. RECOMENDACIONES

1. La principal recomendación es aplicar la especie *Scenedesmus sp.* en aguas residuales domésticas a mayores escalas con el propósito de obtener biofertilizante.
2. Se recomienda ejecutar más análisis fisicoquímicos y de otros elementos como plomo, cromo, nitratos, fosfatos, nitritos, sulfatos, con la finalidad de determinar la eficiencia y la capacidad de la microalga *Scenedesmus sp.*
3. Además, se recomienda realizar evaluaciones para obtener datos de lípidos, carbohidratos y proteínas diarios, así se conocería el día de mayor concentración presente en la biomasa de las microalgas.
4. Para la continuidad de conservación se las cepas, es recomendable establecer un ambiente especial que esté implementado con las condiciones de luz, aire y temperatura para brindar a las microalgas un ambiente adecuado.

REFERENCIAS

- ABDALA, CHABRILLÓN, PASINI, Effect of *Porphyridium cruentum* polysaccharides on the activity of murine macrophage cell line RAW 264.7, 36 (4): 345-353, 2010. ISSN: 0185-3880
- ACCO, Steve. Validación en Métodos de Medición Analítica. Perú: Lima, 2017
- ACEVEDO, Stephanie, PIÑO, Nancy y PEÑUELA, Gustavo. Biomass production of *Scenedesmus* sp and removal of nitrogen and phosphorus in domestic wastewater. *Environmental Engineering*, 19 (1): 185 – 193, 2017. ISSN: 0123-3033
- ARDILA, L. Medición de la capacidad de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* para la remoción de cromo de aguas de curtiembre. Colombia: Bogotá, 2012
- ÁVILA, J. Evaluación de la remoción de nitratos y fosfatos a nivel laboratorio por microalgas libres e inmovilizadas para el Tratamiento Terciario de Aguas Residuales Municipales. Perú: Lima, 2015.
- AYALA, S. Clasificación taxonómica de microalgas presentes en un consorcio microbiológico que biorremedia el efluente. Colombia: Universidad de los Andes, 2015.
- BALLÉN, M., Hernández, L., Parra, D. Vega, A., Pérez, K., Using *Scenedesmus* sp. For the Phycoremediation of Tannery Wastewater, *TECCIENCIA*. [en línea]. Agosto 2016. Vol. 12, n.º 3. [Fecha de consulta: 25 de marzo de 2019]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5710703> . ISSN-e 2422-3670
- BARSANTI, Laura y GUALTIERI, Paolo. *Algae. Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*. New Biological Books. Florida, 2006. ISBN: 0849314674.
- BARRIO, Hidalgo y MARROQUÍN, Martín. Tratamiento de efluentes y producción de fertilizantes mediante el cultivo heterótrofo de microalgas. *Revista IndustriAmbiente*. 9 (6): 36 – 41. 2016
- BERMEO, Lorena. Estudio del cosechado de cultivos de microalgas en agua residual mediante técnicas de centrifugado. Cádiz :España, 2011.
- BUCHERT, Melanie. Biomasse aus Mikroalgen: Studie zur gleichzeitigen Nutzung als Nahrung und Kraftstoff- lieferant. 11 (29): 87-102. 2014. ISSN: 0168-6368

- CABRERA, Milton y PULLA, Francisco. Línea base para el aprovechamiento de microalgas de sistemas de tratamiento de agua residual. Ecuador: Cuenca, 2014
- CANDELA, Rodrigo. Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Bucaramanga: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016
- CHAPILLIQUEN, M. Diseño convencional de una Planta de tratamiento de aguas residuales para el Sector Cusupe. Perú: Chiclayo, 2016
- CERÓN, Victor, MADERA, Carlos y PEÑA, Miguel. Uso de lagunas algales de alta tasa para tratamiento de aguas residuales. Revista Ingeniería y desarrollo, 33 (1): 110, enero-junio, 2005. ISSN: 0122-3461
- CLESCERI, Lenore, GREENBERG, Arnold y EATON, Andrew. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 1999
- CYMBELLA Revista de investigación y difusión sobre algas. México, 2 (3), septiembre-diciembre 2016. ISSN: 2448-8100
- DÁVILA, Bertha. Obtención de bioetanol a partir de biomasa microalgal cultivada en agua residual empleando ozoflotación como método de cosecha. México D.F: Universidad Nacional Autónoma de México, 2016
- DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 07 de junio de 2017.
- DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 17 de marzo de 2010.
- DILLSCHNEIDER, Robert. Die Effizienz der Kultivierung von Mikroalgen zur Biodieselgewinnung – Prozessentwicklung auf der Grundlage von Energiebilanzierung, Simulation und Integration modellprädiktiver Regelungskonzepte. Alemania, 2014.
- FAO. Informe sobre temas hídricos. Roma. Enero, 2013. ISSN 1020-1556
- FAO. Las aguas residuales, una oportunidad desaprovechada [en línea].Marzo, 2017.[Fecha de consulta: 20 de marzo de 2019]. Disponible en <http://www.fao.org/news/story/es/item/853653/icode/>

FALKOWSKI, Pether y RAVEN, Joahn. Aquatic photosynthesis. Princeton: Princeton University Press, 2007

FONAM. Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú. Perú: Fondo Nacional del Ambiente, 2010

FORERO, Pablo. Fundamento teórico sobre tratamiento de aguas residuales por ficorremediación. Nueva Granada: Universidad Militar Nueva Granada, 2017

GARCÍA, Carlo. Growth Kinetics and Nutrient Uptake of Microalgae in Urban Wastewaters with Different Treatment Levels. España: Universidad de Cádiz. 2015

ISSN 2007-2422

GARZÓN, Jennyfer, RODRÍGUEZ, Juan y HERNÁNDEZ, Catalina. Revisión del aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. Revista Universidad y. Salud, 19(2):309-318, 2017.

GÓMEZ, Cesar; ESCUDERO, Rosa; MORALES, Martín y FIGUEROA, Fernando. Use of secondary-treated wastewater for the production of *Muriellopsis* sp. Applied Microbiology and Biotechnology. España: Almería, 2013

GRIEP, Wilke y STALLJOHANN, Gerhard. Der Futtermittelreport – Futtermittel und Fütterungsstrategien für Deutschland. WWF Deutschland: Berlin, 2014 ISBN 9783981304855

GUAMÁN, Martha y GONZALES, Naida. Catálogo de Microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador: Biodiversidad de los principales géneros de microalgas y cianobacterias encontradas en sistemas lacustres de áreas protegidas de los andes y Amazonía del Ecuador. Ecuador: Quito, 2016. ISBN: 9789942148742

HELM, Michael y BOURNE, Neil. Cultivo de bivalvos en criadero. Un manual práctico. FAO Documento Técnico de Pesca. Roma, 2006. ISBN 9253052244

HEMSCHEMEIER, Anja y HAPPE, Thomas. Leistungsstarke Enzyme aus Algen: Neue Biokatalysatoren für die Wasserstoffproduktion. Impressum, (14):54-61, 2017. ISSN 0942-6639

HERNÁNDEZ, Ana y LABBÉ, José. Microalgas, cultivo y beneficios. México: Revista de Biología Marina y Oceanografía Vol. 49, 2014

INFRAESTRUCTURA. Revista Agua y Saneamiento [en línea]. Diciembre, 2017. n.º 3. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2019]. Disponible en: https://issuu.com/construccionyvivienda/docs/revista_agua_y_saneamiento_ed._3

TAFUR, E. y ESTRADA, L. Tratamiento de aguas residuales in vitro por medio de la microalga *Chlorella sp* en el municipio de Barrancabermeja. Colombia: Barrancabermeja, 2015. Volumen 06.

VÁSQUEZ, Elizabeth y ZAVALA, Tania. Crecimiento poblacional y contenido de lípidos de la microalga *Scenedesmus acutus* cultivada con diferentes concentraciones de aguas residuales municipales en condiciones de laboratorio. Perú: Nuevo Chimbote, 2017.

INSUASTY, Mynor. Estudio sobre captura eficiente de metales pesados empleando procesos de biorremediación. Bucaramanga: Universidad Abierta ya distancia, 2017

LÓPEZ, Ignacio. Análisis de efectividad de *Chlorococcum littorale* y *Scenedesmus sp.* en biorremediación de aguas residuales. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, 2016

MAHMOUD, Eman, FARAHAT, Laila y FATTHALLAH, Nesreen. Cultivation of microalgae using municipal wastewater as a nutritional source. *J. Algal Biomass Utln.*, 7 (1): 78-85, 2016. ISSN: 2229 – 6905

MALGAS. Aplicaciones de las microalgas: Estado de la técnica. España: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2013

MARIN, Julia. Contribución de residuos conservados de cisteína a la regulación redox del catabolismo de la Rubisco. España: Valencia, 2004. ISBN:8437014549

MCHENRY, Mallen. "Hybrid microalgal biofuel, desalination, and solution mining systems: Increased industrial waste energy, carbon, and water use efficiencies." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 18(1), 2013. ISSN: 159-167.

MÉNDEZ, Pedro y MARCHÁN, Juan. Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución. Perú: Lima, 2008

MINAM. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM. Perú: Lima, 2010.

MONTENEGRO, Andrés. Obtención de los parámetros de proceso requeridos para el escalamiento de un bioproceso orientado al desarrollo de mejoradores de suelo a base de extractos de microalgas. Universidad de la Sabana: Colombia, 2009.

MORENO-GARRIDO, Ivonne. "Microalgae immobilization: current techniques and uses." *Bioresource technology* 99(10), 2008. ISSN: 3949-3964

OEFA. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental: Fiscalización Ambiental En Aguas Residuales. Perú: Lima, 2016

OLARTE, Eduardo y VALENCIA, Marcela. Evaluación del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de aguas residuales industriales. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016

ORANDI, S y LEWIS, M. "Biosorption of heavy metals in a photo-rotating biological contactor - A batch process study." *Applied Microbiology and Biotechnology* 97(11), 2013. ISSN: 5113-5123

PARRA, Lucio. Operación de un filtro anaerobio de flujo ascendente hasta alcanzar el estado estable. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2006

PELLÓN, Alberto; BENITES, Fernando; FRADES, Julio; GARCÍA, Luis Y CERPA, Antonio. Empleo de la microalga *scenedesmus obliquas* en la eliminación de cromo presente en aguas residuales galvánicas. España: Madrid, 2014

PEÑA, Eduardo. Calidad de Agua, Oxígeno Disuelto. Ecuador: Guayaquil, 2007

RAMÍREZ, Luis. Evaluación in vitro de la capacidad de Biorremediación del consorcio microalgal *Chlorella sp – Scenedesmus sp.*, en la biorremoción de materia orgánica de aguas residuales del Camal de Ambato. Ecuador: Quito, 2014

RUIZ, Ana. Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente. España: Valencia, 2011

ROA, Lucía y CAÑIZARES, Oscar. Biorremediación de aguas con fosfatos y nitratos utilizando *Scenedesmus incrassatus* inmovilizado. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas* [en línea] 2012, 10 (Sin mes): [Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2018] Disponible en: <http://projecteuclid.redalyc.org/articulo.oa?id=90326398006>. ISSN 0120-4211

ROMO, Abril. Manual para cultivo de microalgas. Recuperado el 12 de mayo del 2019, extraído de: <http://biblio.uabcs.mx/>.

SAMBONI, Nicolás, CARVAJAL, Yary y ESCOBAR, Joseph. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 2007. ISSN: 0120-5609

SINC. Desarrollan un método de producción de biofertilizantes a partir de microalgas cultivadas en aguas residuales [en línea]. La Ciencia es noticia, 29 octubre 2013 10:17. [Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Desarrollan-un-metodo-de-produccion-de-biofertilizantes-a-partir-de-microalgas-cultivadas-en-aguas-residuales>

SIGEE, Darnell y BELLINGER, E Eldrich. Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators. 2.a ed. UK: Chichester, 271 pp. ISBN 9780470058145.

SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO. Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú. Perú: Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú, 2015.

SUNASS. Estudio: Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución. Perú, 2008

TSALOGLOU, Marlow. Microalgae: Current Research and Applications. United State: Harvard University. 2016. ISBN: 9781910190289

ANEXOS

PLAN DE ACCIÓN

I. DATOS GENERALES

1.1. Ubicación : Laboratorio de Fisicoquímica de la Universidad Cesar Vallejo

1.2. Duración : 2 meses

1.2.1. Inicio : 05 de setiembre del 2019

1.2.2. Término : 08 de noviembre del 2019

1.3. Responsable : Rosita Milagros Vargas Paz

II. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

Biorremediación de aguas residuales domésticas aplicando la microalga *Scenedesmus sp.*

III. JUSTIFICACIÓN

El presente plan de acción sobre la biorremediación de aguas residuales domesticas aplicando la microalga *Scenedesmus sp.* se justifica porque a través de ella se dan a conocer un conjunto de acciones ejecutadas para el tratamiento del agua residual doméstica en las siguientes diluciones 30%, 50% y 70%. Se presenta con el propósito de fortalecer el proceso de realización, discusión, análisis y evaluación según las etapas detalladas en la investigación.

Así mismo, el plan de acción se justifica porque da a conocer que la aplicación de la microalga *Scenedesmus sp.* en aguas residuales domésticas, ayuda a eliminar los contaminantes presentes como nutrientes en el efluente, manifestándose como una alternativa de mejora en el tratamiento de efluentes domésticos de una manera ecológica, responsable y sostenible, que al ser aplicado adecuadamente según las diluciones establecidas y el control de los parámetros requeridos, se obtendrán los rendimientos que se expondrán luego de la evaluación.

III. OBJETIVOS

3.1. General

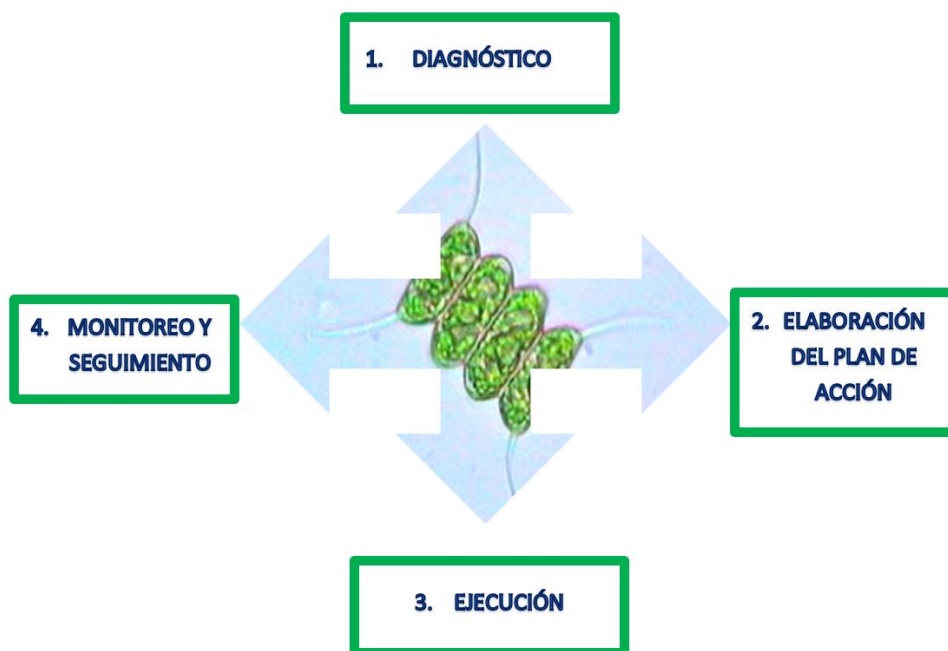
Conocer sobre la ejecución y el seguimiento de la planificación en torno a las actividades del plan de acción de la aplicación de la microalga *Scenedesmus sp.* en la biorremediación de aguas residuales domésticas

3.2. Específicos

- Mantener la cepa de *Scenedesmus sp.* con adición de sustratos y monitoreo continuo.
- Provocar el crecimiento de la cepa microalgal *Scenedesmus sp.* hasta los niveles necesarios de la investigación.
- Tomar la muestra de Agua Residual doméstica del Dren 4 000 – Pimentel.
- Distribuir el agua residual doméstica en diluciones de 30%, 50% y 70%.
- Aplicar la microalga *Scenedesmus sp.* al agua residual doméstica.
- Analizar en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo el agua residual doméstica y el inóculo antes de iniciar cada tratamiento.
- Analizar en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo el agua residual doméstica después de cada tratamiento en periodos de tiempo determinados.

IV. DESCRIPCIÓN DEL PLAN

El presente plan de acción correspondiente a la captación de nutrientes de la microalga *Scenedesmus sp.*, se basa en las siguientes etapas:



El presente proyecto se llevará a cabo en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Universidad Cesar Vallejo- Chiclayo, localizada en la carretera Pimentel Km. 3.5, Chiclayo 14001.

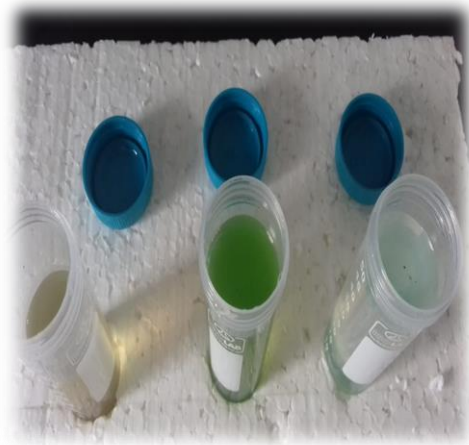
Etapa Preliminar (a):

Para la recolección de la muestra de microalga *Scenedesmus sp.* se tuvo que visitar a la Universidad Nacional Agraria La Molina – La Molina, Lima, el día 25 de octubre del 2018 (realizado en la Tesina Ciclo Académico VIII) , para realizar las coordinaciones a fin de adquirir el inóculo que permita realizar la investigación, para ello se utilizaron contenedores plásticos. Luego se tuvo que transportar la muestra en un cooler para su conservación en condiciones óptimas y evitar posible contaminación cruzada hasta la llegada a su destino en la ciudad de Chiclayo.

Dichas acciones se realizaron como base de la investigación para el estudio de Tesina, en el ciclo académico 2018 II.



Área de la Universidad Nacional Agraria La Molina, que cedió las cepas de microalgas; Centro de Investigación Piscícola (25 de octubre del 2018 – Tesina VIII ciclo).



En los tubos Falcom, al lado izquierdo se muestra la microalga marina *Isochrysis sp.* En el centro, la microalga *Scenedesmus sp.*. Del lado derecho la microalga *Spirulina* (25 de octubre de 2018 – Tesina VIII ciclo).



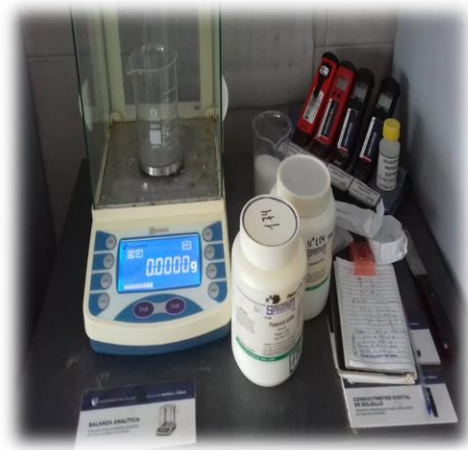
Contenedor general de la cepa *Scenedesmus sp.*, cultivadas en la Facultad de Pesquería de la Universidad Nacional Agraria La Molina (25 de octubre del 2018 – Tesina VIII ciclo).

Etapa Preliminar (b):

En esta etapa se realizó el mantenimiento de la cepa de microalga *Scenedesmus sp.*. Mediante la adición de medio HM como medio de sustrato, la finalidad de esta etapa fue provocar el crecimiento microalgal hasta los niveles necesarios de la investigación, el procedimiento se llevó a cabo en 1 mes. Dichas acciones se realizaron como base de la investigación para el estudio de Tesina, en el ciclo académico 2018 II.



Preparación del medio de cultivo HM que se utilizó para los inóculos de *Scenedesmus sp.* (30 octubre del 2018- Tesina VIII ciclo).



Nutrientes utilizados para la preparación del medio de cultivo HM que se utilizó para los inóculos de *Scenedesmus sp.*. Se puede observar Cloruro de Potasio (KCL) y Limadura de Hierro (30 octubre del 2018- Tesina VIII ciclo).



Adición del medio nutritivo HM a las microalgas, en las cantidades requeridas 0.04 HM en 40 ml (07 noviembre del 2018 - Tesina VIII ciclo).



Mantenimiento de la cepa *Scenedesmus sp.*, mediante suministros de medio H-M, en periodos de tiempo relativos entre 10 – 15 días. Concentración saturada total de 500 ml (05 de setiembre del 2019)



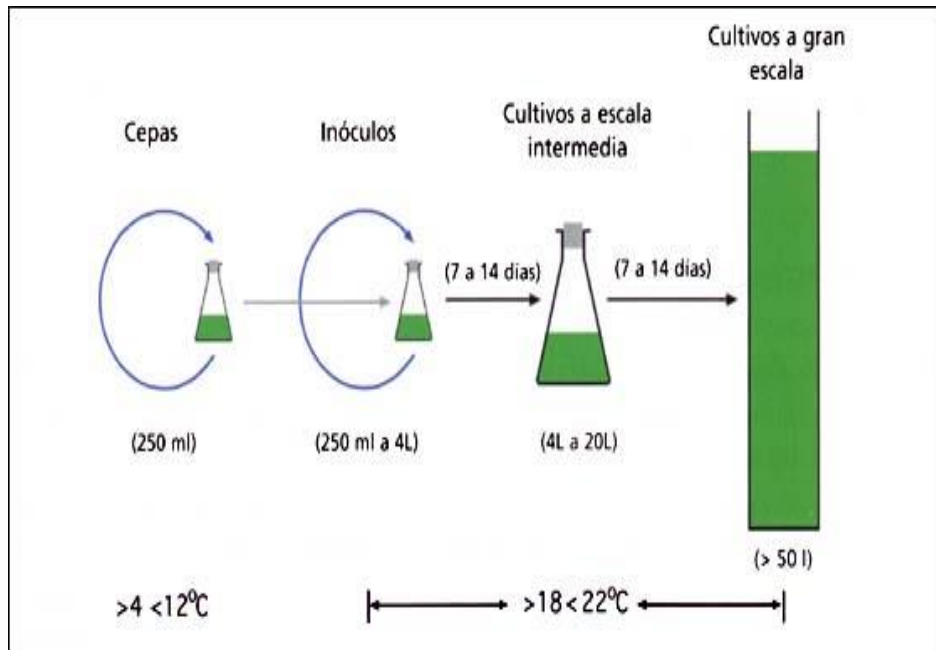
Traslado de la microalga de la investigación, *Scenedesmus sp*, del tubo Flacom a un matraz graduado de 250 ml, con la finalidad de conservar la cepa y controlar el crecimiento microalgal (25 de noviembre del 2018 - Tesina VIII ciclo).



Reactivos utilizados como insumos del Medio Heusster- Merino, se observan Cloruro de Potasio (KCl) y Limadura de Hierro, además el block de notas con las concentraciones correspondientes.

Respecto a la conservación de la cepa *Scenedesmus sp*. se empleó el medio de cultivo Heusster- Merino, así como para el control durante la experiencia de investigación. Como se detalla en las pautas anteriores la adición de este medio es esencial para el crecimiento microalgal. Composición química del medio HM para 1000 ml de nutriente:

COMPOSICIÓN	CONCENTRACIÓN
UREA	352 gramos
Cloruro de Potasio (KCL)	330 gramos
Limadura de Hierro	5 gramos
Ácido Fosfórico (H3PO)	35 mililitros



Etapas en la producción de microalgas. Las cepas (250 ml o menor cantidad) continúan aisladas con luz y clima vigilados que únicamente se utilizan cuando es requerido inocular. No se airean ni tampoco se les añadió dióxido de carbono. Los inóculos (250 ml a 4 l en volumen) se desarrollan rápidamente en el periodo de tiempo de 7 a 14 días a temperaturas e intensidad de luz más elevadas con una contribución de aire beneficiado con dióxido de carbono.

Cuando los inóculos están listos, una fracción del volumen se utiliza para comenzar nuevos inóculos y la porción primordial para iniciar un cultivo a escala intermedia. Los cultivos intermedios (habitualmente de entre 4 litros y 20 litros en volumen) llegan a aprovecharse como alimento para larvas o para iniciar un cultivo a gran escala. Los cultivos a gran escala son de un mínimo de 50 litros (Helm y Bourne, 2006).

Etapas Preliminar (c):

El uso de un biorreactor se vuelve indispensable para la realización del estudio, por ello se armó un biorreactor vertical simple, que satisfaga las pautas requeridas de almacenamiento de los inóculos y posterior adición del efluente residual doméstico.



Materiales empleados en la elaboración de biorreactor (23 de septiembre del 2019).



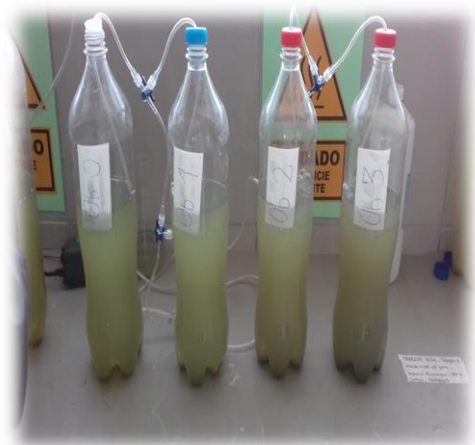
Forma final del biorreactor sin los inóculos, se observa el motor suministrador de oxígeno y los conectores correspondientes en cada contenedor (23 de septiembre del 2019).



Biorreactor con inóculos puros, estado de conservación (07 de octubre del 2019).

Etapa Preliminar (d):

En esta etapa se realizó el cuidado del inóculo y el control de la cepa, revisando la adaptación de este al biorreactor, por un periodo de una semana, con la adición del sustrato HM en dicho lapso, con la inyección continua de CO₂ mediante un motor de aquarium Output 3L/min y revoluciones manuales.



Biorreactor con las cepas de microalgas distribuidas en los cuatro contenedores (16 de octubre del 2019)

Primera etapa:

Se realizó el muestreo del agua residual, esto lleva a relacionarse con las nociones básicas de la toma de muestras o muestreo de los efluentes, para así poder ejecutar las determinaciones con la rigurosidad necesaria.

Las pautas a enfatizar en el muestreo son:

- Lugar de muestreo del agua residual

Es de gran importancia la selección del lugar o punto de extracción de las muestras de tal manera que las mismas sean representativas del agua residual domestica a estudiar. El lugar de muestreo será el Dren 4 000, Pimentel, debido a la selección debido a que es donde se ocasione la mínima separación posible de los sólidos en suspensión que retenga el efluente, donde esta concentración es representativa en gran medida por la reducción del caudal y la compilación de mayores redes cloacales secundarias.



Vista satelital del lugar de muestra de agua residual.



Vista del tramo del punto de la muestra del efluente doméstico (17 de octubre del 2019)

– Tipo de muestra del agua residual

Se debe considerar que las muestras representan la constitución del efluente en el tiempo específico en el que se toman. Con esta idea en mente se procedió a realizar la Toma de muestra Puntual, ya que es útil para evaluar las diferenciaciones de parámetros como pH, oxígeno disuelto y temperatura.



Punto de muestreo, donde se logra visualizar que es un punto representativo que no presenta un caudal prominente y el Dren 4 000 contiene anexos de distintos puntos de Chiclayo (17 de octubre del 2019).



Toma de la muestra de agua residual tomando las precauciones correspondientes, uso de Equipo de Protección Personal, como guardapolvo, guantes, cofia, lentes, cubreboca y calzado adecuado (17 de octubre del 2019).

– Volumen de la muestra de agua residual

Se tiene en cuenta el volumen requerido y que sea suficiente para cumplir con todos los análisis y aplicaciones necesarios. Para evitar implicaciones se tomó una cantidad mayor de muestra por si fortuitamente se quiere efectuar determinaciones analíticas que primeramente no estuvieron previstas o para el control del análisis. Se establece que el volumen mínimo práctico es 1 500 ml de muestra. En requisitos generales es posible decir se aconseja la extracción de 2 000 mililitros de muestra.



Volumen de la muestra de agua residual tomada del Dren 4 000, se valora el color del contenedor con la finalidad de inhibir los intercambios de temperatura y/o actividad microbiana (17 de octubre del 2019).

– Transporte de la muestra de agua residual

El transporte se realizó en un contenedor plástico, siendo llevado directamente al Laboratorio de la Universidad Cesar Vallejo- Pimentel, en un intervalo de tiempo de 15 min, donde iniciará la siguiente etapa.

Segunda etapa:

En esta etapa se realizará el análisis del agua residual, aquí se analizará en parámetros de pH, temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno, turbidez, Solidos Totales, Conductividad Eléctrica y Salinidad, para obtener la línea base del grupo de control. Esta agua residual fue homogenizada y distribuida en los tres contenedores,

cada uno con una capacidad de volumen de 1 litro, posteriormente se agregó la microalga en las diluciones correspondientes. Se realizó la agitación del agua de manera manual, y se hará el seguimiento de crecimiento de las microalgas, el color y olor del agua, y el aspecto general de las microalgas, entre otros, con la finalidad que estas no presenten inhibición y se adapten a su nuevo ambiente.

Dilución del agua residual doméstica para el tratamiento de biorremediación.

TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL				
Parámetros	T₀	T₁	T₂	T₃
(ml)	0% H-M	(30 %)	(50 %)	(70 %)
Agua residual	0	300	500	700
Agua Destilada	900	600	400	200
Inóculo	100	100	100	100
Total (ml)	1 000	1 000	1 000	1 000

Consiste en realizar los análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para evaluar el efecto de la biorremediación en las aguas residuales domésticas. Así mismo los datos serán recolectados en fichas de análisis donde se registrarán los resultados de cada parámetro. Para ello se detallan los pasos seguidos en la evaluación de cada parámetro:

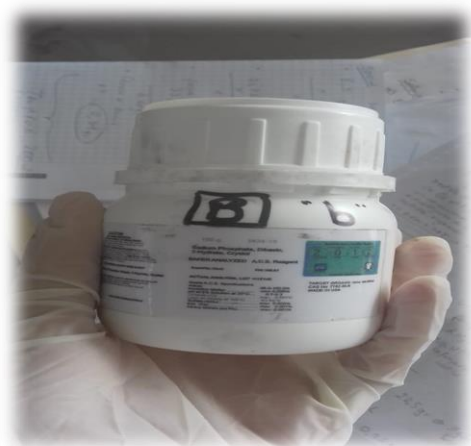


Laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo – Pimentel, donde se realizaron los análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Oxígeno Disuelto, Turbidez, Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Solidos Totales Disueltos y Salinidad.

Sub etapa (a): Demanda Bioquímica de Oxígeno

En esta subetapa se procedió a preparar las soluciones que se emplearán en el análisis de DBO₅. Tales como:

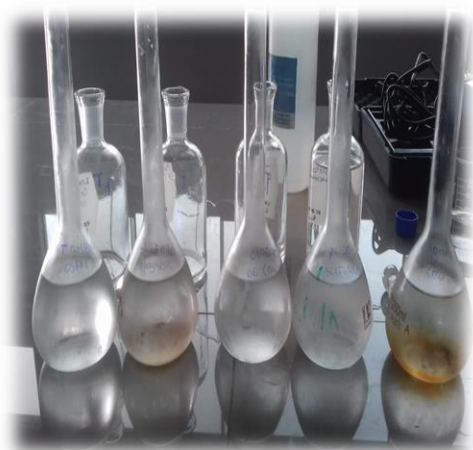
- Solución tampón de fosfato: se disolvieron 8,5 g de KH₂PO₄, 21,75 g de K₂HPO₄, 33,4 g de Na₂HPO₄·7H₂O, y 1,7 g de NH₄Cl en aproximadamente 500 mL de agua ultrapura y se diluyeron en 1 L.
- Solución de sulfato de magnesio: Disuelva 22,5 g de MgSO₄·7H₂O en agua ultrapura y se diluyó en 1L.
- Solución de cloruro de calcio: Se disolvió 27,5 g de CaCl₂ en agua ultrapura y el diluido a 1L.
- Solución de cloruro de hierro (III): Disuelva 0,25g de FeCl₃·6H₂O en agua ultrapura, se diluyó en 1L .



Reactivo $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (di-sodio hidrogenofosfato heptahidrato), empleado para la preparación de la solución Tampón Fosfato (17 de octubre del 2019).



Pesado de los reactivos en la Balanza Analítica con la finalidad de obtener los grados precisos de insumos para las soluciones requeridas (17 de octubre del 2019)



Estado final de las Soluciones Tampón de fosfatos, Solución de sulfato de magnesio, Solución de cloruro de calcio, Solución de cloruro de hierro (III) (18 de octubre del 2019).



Vertido del Agua destilada a emplear en las soluciones requeridas, se empleó Agua residual ya que esta se encuentra libre de impurezas e iones eliminados mediante la destilación, haciéndola ideal como solvente de una solución (17 de octubre del 2019).

El Procedimiento de la preparación del agua de dilución se realizó de la siguiente manera:

Se llenó la garrafa con agua destilada, la necesaria para el análisis, teniendo en cuenta que el gasto aproximado es de 300 mL por botella winkler y se utilizaron, 1 botellas para blanco y 3 botellas para cepa más agua de dilución, todo esto para cada etapa de análisis.

Posteriormente se agregó 1 mL de cada una de las siguientes soluciones, por cada litro de agua de dilución a preparar: Solución tampón de fosfatos, Solución de sulfato de magnesio, Solución de cloruro de calcio, Solución de cloruro de hierro (III).

La manipulación de los reactivos y del equipo se mantuvo en cada momento con el mayor cuidado y precisión en la aplicación y preparación.



Agregado de cada Solución hacia la dilución final, se visualiza el empleo de pipeta y propipeta para el traslado preciso de 1ml de Solución de Cloruro de Hierro, así también como las EPP requeridas (imagen derecha e izquierda) (21 de octubre del 2019).



Agua de dilución siendo vertida en cada botella Winkler, cada botella Winkler fue debidamente rotulada, se vertió un total de 30 ml (21 de octubre del 2019).



Vista final de cada botella Winkler rotula, con las debidas diluciones indicada, se clasificaron como T0 (0%), T1 (30%), T2 (50%) y T3 (70%) uno (18 de octubre del 2019).



Mesa de trabajo con los materiales y el agua de dilución a emplear en los análisis (21 de octubre del 2019).

Finalmente, se procedió a leer el oxígeno inicial del blanco, llenado totalmente dejando el sello hidráulico (pequeña película de agua para impedir el intercambio de oxígeno entre la botella y el ambiente), este procedimiento se realizó para cada análisis de Oxígeno Disuelto inicial, durante las tres etapas. Se leyeron y registraron

los datos de las botellas, así mismo se rotularon para favorecer la identificación y control de los registros y diluciones. La incubación se dio a $20 \pm 3^\circ\text{C}$ por cinco días.



Análisis Inicial de cada tratamiento, se realizó de la siguiente manera, para cada uno (18 de octubre del 2019).



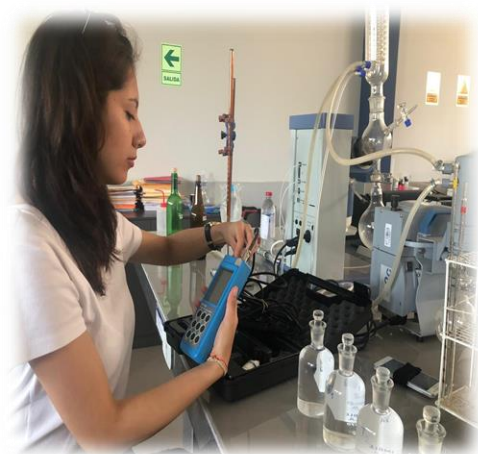
Cada análisis de botella winkler inicial se preservó durante 5 días en la estufa a 20°C (± 3), para posteriormente realizar los análisis de OD final (01 de noviembre de 2019).



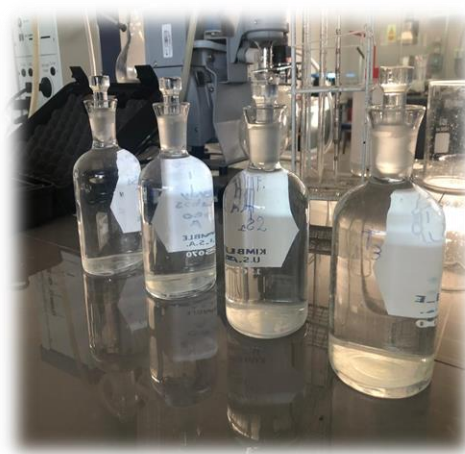
Forma de análisis de Oxígeno Disuelto, para obtener datos y obtener la Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días, se observa la mesa de trabajo, el ambiente del Laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo – Filial Chiclayo y el equipo llamado Oxímetro (04 de noviembre del 2019).

El procedimiento especificado anteriormente se llevó a cabo en tres etapas, cada una durante un cronograma estricto de cumplimiento, en las siguientes fechas:

ETAPAS	ANÁLISIS DE OXÍGENO DISUELTO	FECHAS ESTABLECIDAS
PRIMERA ETAPA	OD inicial	21 de octubre del 2019
	OD final	25 de octubre del 2019
SEGUNDA ETAPA	OD inicial	28 de octubre del 2019
	OD final	01 de noviembre del 2019
TERCERA ETAPA	OD inicial	04 de noviembre del 2019
	OD final	08 de noviembre del 2019



Evaluación y verificación del correcto funcionamiento del equipo Oxímetro por parte de la Investigadora, se realizó durante cada etapa inicial y final de análisis.



Botellas Winkler con las cepas y las diluciones correspondientes (28 de octubre del 2019)



Equipo de Oxímetro con el que se realizaron los análisis de Oxígeno Disuelto.

Se obtuvieron las siguientes lecturas:

RESULTADOS DE ANÁLISIS OXIGENO DISUELTO

I ETAPA	TRATAMIENTOS	OD inicial (21 de octubre del 2019)	OD final (25 de octubre del 2019)
--------------------	---------------------	--	--

T0



T1



T2



T3



**II
ETAPA**

TRATAMIENTOS

OD inicial (28 de octubre del 2019)

OD final (01 de noviembre del 2019)

T0



T1



T2



T3



**III
ETAPA**

TRATAMIENTOS

OD inicial (04 de
noviembre del 2019)

OD final (08 de
noviembre del 2019)

T0



T1



T2



T3



En el procesamiento de datos y cálculo de resultados, se efectuaron los cálculos por medio de la ecuación:

$$DBO_{5,mgO_2/L} = \frac{(OD Consumido - OD Consumo Cepa)}{Vm} * V$$

Donde:

OD consumido: OD inicial

OD consumo cepa: OD final

V = Volumen de la botella Winkler, que el valor promediado es de 300 ml.

V_m = Volumen de alícuota de la muestra afectado por el factor de dilución es de 3 ml.

Sub etapa (b): Turbidez

Para el análisis de la Turbidez se utilizó el turbidímetro, un equipo que mide la presencia de materia orgánica mediante un rayo de luz.



Equipo de análisis de Turbidez, se muestra el resultado del tratamiento T3, en la segunda etapa (28 de octubre del 2019)

Se obtuvieron los siguientes resultados:

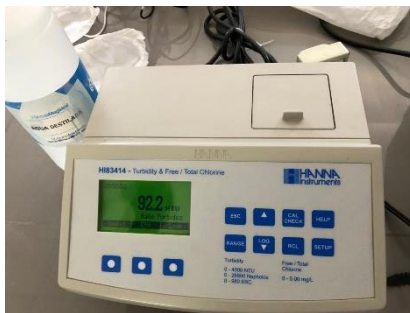
RESULTADOS DE ANÁLISIS TURBIDEZ

I ETAPA	TRATAMIENTOS	Turbidez (21 de octubre del 2019)
---------	--------------	-----------------------------------

T0



T1



T2



T3



TRATAMIENTOS Turbidez (28 de octubre del 2019)

T0



T1



T2



T3



TRATAMIENTOS Turbidez (04 de noviembre del 2019)

T0



T1



T2



T3

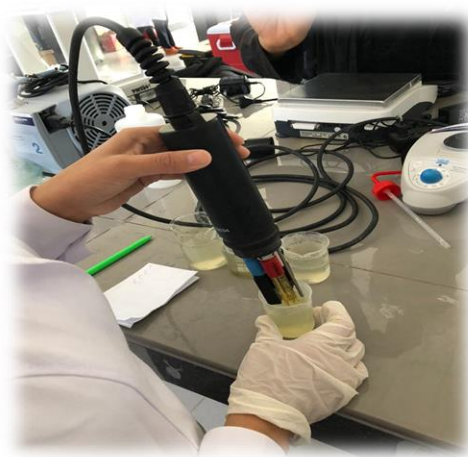


Sub etapa (c): Multiparámetro

En el equipo multiparámetro se realizaron las lecturas que corresponden a Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Sólidos Totales Disueltos y Salinidad.



Investigadora realizando las mediciones de los parámetros con el equipo multiparámetro, así mismo se realizan las anotaciones correspondientes a las lecturas en el cuaderno de notas (21 de octubre del 2019)



correspondientes (21 de octubre del 2019)
Se observa el electrodo sumergido en la dilución, cada muestra a medir está debidamente rotulada y registrada en el cuaderno de registros (28 de octubre del 2019).



Se logra visualizar el electrodo sumergido en la dilución, así también como las siguientes lecturas a realizar, tomando las anotaciones



Realización de lecturas con el multiparámetro (04 de noviembre del 2019)



Toma de lecturas con el equipo multiparametro y la respectiva supervisión de la Ingeniera Encargada del Laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo Filial Chiclayo, la supervisión fue de manera continua y completa durante las etapas de la investigación en el Laboratorio.

RESULTADOS DE ANÁLISIS MULTIPARÁMETRO

I ETAPA	TRATAMIENTOS	Parámetros	Turbidez (21 de octubre del 2019)
	T0	TEMPERATURA (°C) PH (unidad) CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm) SOLIDOS TOTALES DISUELTOS (ml/l) SALINIDAD (PSU)	
	T1	TEMPERATURA (°C) PH (unidad) CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm) SOLIDOS TOTALES DISUELTOS (ml/l) SALINIDAD (PSU)	

T2
 TEMPERATURA (°C)
 PH (unidad)
 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
 (μS/cm)
 SOLIDOS TOTALES
 DISUELTOS (ml/l)
 SALINIDAD (PSU)



T3
 TEMPERATURA (°C)
 PH (unidad)
 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
 (μS/cm)
 SOLIDOS TOTALES
 DISUELTOS (ml/l)
 SALINIDAD (PSU)



TRATAMIENTOS

Turbidez (28 de octubre del 2019)

T0
 TEMPERATURA (°C)
 PH (unidad)
 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
 (μS/cm)
 SOLIDOS TOTALES
 DISUELTOS (ml/l)
 SALINIDAD (PSU)



T1
 TEMPERATURA (°C)
 PH (unidad)
 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
 (μS/cm)
 SOLIDOS TOTALES
 DISUELTOS (ml/l)
 SALINIDAD (PSU)



T2 TEMPERATURA (°C)
PH (unidad)
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
(μ S/cm)
SOLIDOS TOTALES
DISUELTOS (ml/l)
SALINIDAD (PSU)



T3 TEMPERATURA (°C)
PH (unidad)
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
(μ S/cm)
SOLIDOS TOTALES
DISUELTOS (ml/l)
SALINIDAD (PSU)



TRATAMIENTOS

Turbidez (04 de noviembre del 2019)

T0 TEMPERATURA (°C)
PH (unidad)
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
(μ S/cm)
SOLIDOS TOTALES
DISUELTOS (ml/l)
SALINIDAD (PSU)



T1 TEMPERATURA (°C)
PH (unidad)
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
(μ S/cm)
SOLIDOS TOTALES
DISUELTOS (ml/l)
SALINIDAD (PSU)



T2 TEMPERATURA (°C)
PH (unidad)
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
(μ S/cm)
SOLIDOS TOTALES
DISUELTOS (ml/l)
SALINIDAD (PSU)



T3 TEMPERATURA (°C)
PH (unidad)
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
(μ S/cm)
SOLIDOS TOTALES
DISUELTOS (ml/l)
SALINIDAD (PSU)



Tercera Etapa:

Durante esta etapa se evaluó, monitoreó y supervisó la evolución y adaptación de las microalgas al nuevo medio residual, cabe recalcar que cada tratamiento contenía su propia dilución.

Como se mencionó previamente el tratamiento T0, contenía 0 ml de agua residual, 900 ml de agua destilada y 100 ml de inóculo, para este tratamiento en particular que requirió una atención especial, ya que el suministro del Medio Heusster- Merino fue requerido para mantener la cepa con vida y compara los

parámetros físico-químico de desarrollo con los tratamientos (T1, T2 y T3). Para ello la adición se realizó una vez a la semana, lo que quiere decir dos veces durante todo el estudio.



UREA ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), uno de los reactivos en la composición del Medio Heusster Merino, se empleó 352 gr para 100 ml.



Cloruro de Potasio (KCl), reactivo perteneciente a la composición del Medio Heusster Merino, se utilizó 330 gramos para 1000 ml.



Limadura de Hierro, de este reactivo se utilizaron 5 gramos por 1000 ml como parte del Medio Heusster Merino.



Ácido Fosfórico (H_3PO_4), ácido empleado en la composición del Medio Heusster Merino, en la cantidad de 35 ml por 1 000 ml.



Adición de Ácido Fosfórico en el T0 (21 de octubre del 2019)



Abastecimiento de Limadura de Hierro a T0 (30 octubre del 2019)



Suministro de Ácido Fosfórico a T0 (30 octubre del 2019)



Suministro de KCl a T0 (30 octubre del 2019)

Las fechas del control fueron efectuadas con una frecuencia interdiaria (días hábiles), registrando mediante fotografías, que se muestran a continuación:



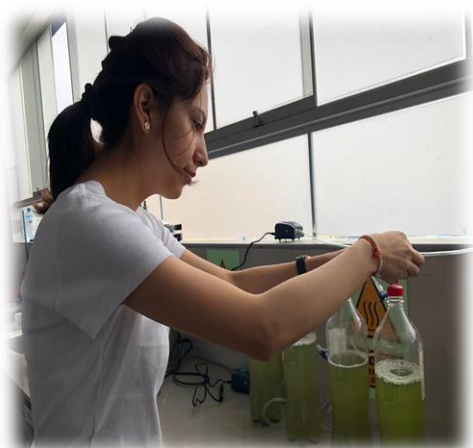
Control de inóculo (21 de octubre del 2019)



Control de evolución (23 octubre del 2019)



Control del inóculo (25 de octubre del 2019)



Evaluación final sin homogenización del tratamiento T0 (04 noviembre del 2019)



Control del inóculo (28 de octubre del 2019)

Control del inóculo (30 de octubre del 2019)



Evaluación final sin homogenización del tratamiento T2 (04 noviembre del 2019)



Control del inóculo sin homogeneizar (04 de noviembre del 2019)



Evaluación final con homogenización del tratamiento T0 (04 noviembre del 2019)



Evaluación final sin homogenización del tratamiento T1 (04 noviembre del 2019)



Evaluación final sin homogenización del tratamiento T3 (04 noviembre del 2019)



Evaluación final con homogenización del tratamiento T1 (04 noviembre del 2019)



Evaluación final con homogenización del tratamiento T0 (04 noviembre del 2019)



Evaluación final con homogenización del tratamiento T3 (04 noviembre del 2019)



Evaluación final con homogenización del tratamiento T2(04 noviembre del 2019)



Evaluación final con homogenización del tratamiento de depuración de agua residual (04 noviembre del 2019).

Cuarta Etapa:

Se registraron los datos referentes a los indicadores considerados para la microalga *Scenedesmus sp.*

Nutriente Heusster- Merino para el mantenimiento de la cepa control de tratamiento T0, composición química del medio HM para 1000 ml de nutriente.

Composición	Concentración para 1000 ml	Total en T0
UREA	352 gramos	704 gramos
Cloruro de Potasio (KCL)	330 gramos	660 gramos
Limadura de Hierro	5 gramos	10 gramos
Ácido Fosfórico (H3PO)	35 mililitros	70 gramos

Horas de luz natural en la incidencia diaria de la microalga Scenedesmus sp.

Horas de luz de incidencia en las microalgas	
Diarias	8
Semanales	56
Total por tratamiento	112

Inyección continua de CO₂ al biorreactor.

Inyección de CO₂ con el motor Aquarium		
		Total por tratamiento
Output minuto	3 L/ min	0,75 L/min
Total en biorreactor	60 480 L	15 120 L

Revoluciones manuales en biorreactor

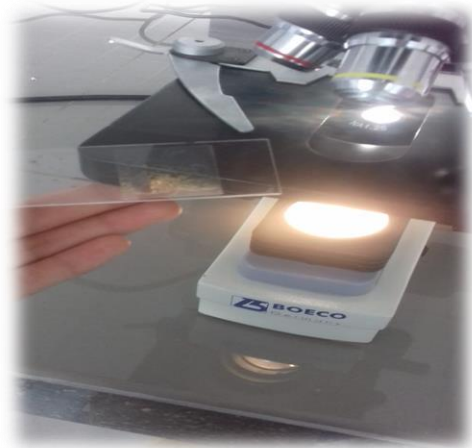
Revoluciones manuales		
Tiempo	Veces semanales	Total por tratamiento
15 segundos	3 veces	90 segundos

Quinta Etapa:

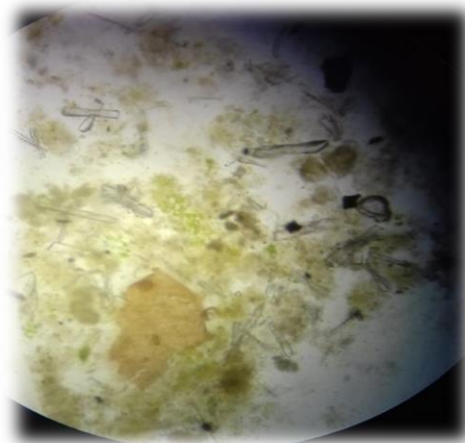
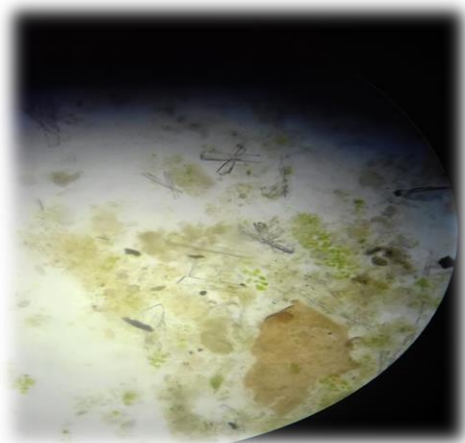
Para obtener una visión clara de lo que ocurría a nivel microscópico de las microalgas y el medio residual, se procedió a observar a la microalga *Scenedesmus sp.* en el microscopio del Laboratorio de Microbiología y Biotecnología de la Universidad César Vallejo, el objetivo normalmente tuvo un aumento de 4x por lo que amplifica una imagen 40 veces su tamaño normal.



Microscopio empleado para la observación de la microalga *Scenedesmus sp.*, el objeto se estableció en 4x.



Muestra de microalga *Scenedesmus sp.* con agua residual doméstica dilución de 70% en placa empleada para la visualización microscópica



Imágenes obtenidas del microscopio, se puede observar en tono verde a las microalgas *Scenedesmus sp.* así como materia orgánica presente propia del efluente residual.



Investigadora observando en el microscopio.

Sexta Etapa:

Se realizó como trabajo de gabinete, se interpretaron los datos obtenidos después de los análisis proporcionados, dicho procedimiento que llevó a la comparación con otras investigaciones relacionadas, para finalmente llegar a la discusión y las conclusiones del estudio realizado.

LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA

TIPO DE ANÁLISIS: Análisis Físicoquímico
 USUARIO: Rosita Milagros Vargas Paz
 TIPO DE MUESTRA: Líquido
 FECHA DE EMISIÓN: 08 de noviembre del 2019

RESULTADOS:

N° DE MUESTRA	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	EQUIPO
T0 - 1 ET	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	20	mg/l	Oxímetro
	OXIGENO DISUELTO	8.09	mg/l	Oxímetro
	TURBIDEZ	8.89	NTU	Turbidímetro
	TEMPERATURA	24.78	°C	Multiparámetro
	POTENCIAL DE HIDROGENO	7.00	Unidad	Multiparámetro
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	1794	µS/cm	Multiparámetro
	SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	897	mg/l	Multiparámetro
	SALINIDAD	0.91	PSU	Multiparámetro
T1 - 1 ET	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	302	mg/l	Oxímetro
	OXIGENO DISUELTO	5.46	mg/l	Oxímetro
	TURBIDEZ	92.2	NTU	Turbidímetro

Resultados de los análisis físicoquímicos de la prueba control y de las muestras de agua tratadas con la microalga *Scenedesmus sp.* y en los tres espacios de tiempo, otorgados por el laboratorio de la Universidad César Vallejo.



	TEMPERATURA	21.93	°C	Multiparametro
	POTENCIAL DE HIDROGENO	6.88	Unidad	Multiparametro
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	1795	µS/cm	Multiparametro
	SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	897	mg/l	Multiparametro
	SALINIDAD	0.91	PSU	Multiparametro
T2 - 1 ET	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	369	mg/l	Oximetro
	OXIGENO DISUELTO	4.95	mg/l	Oximetro
	TURBIDEZ	116	NTU	Turbidimetro
	TEMPERATURA	22.06	°C	Multiparametro
	POTENCIAL DE HIDROGENO	6.46	Unidad	Multiparametro
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	1910	µS/cm	Multiparametro
	SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	955	mg/l	Multiparametro
	SALINIDAD	0.97	PSU	Multiparametro
T3 - 1 ET	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	444	mg/l	Oximetro
	OXIGENO DISUELTO	4.56	mg/l	Oximetro
	TURBIDEZ	244	NTU	Turbidimetro
	TEMPERATURA	21.61	°C	Multiparametro
	POTENCIAL DE HIDROGENO	6.7	Unidad	Multiparametro

Resultados de los análisis fisicoquímicos de la prueba control y de las muestras de agua tratadas con la microalga *Scenedesmus sp.* y en los tres espacios de tiempo, otorgados por el laboratorio de la Universidad César Vallejo.

	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	2157	μS/cm	Multiparametro
	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	1079	mg/l	Multiparametro
	SALINIDAD	1.11	PSU	Multiparametro
T0 - 2 ET	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	34	mg/l	Oximetro
	OXIGENO DISUELTO	2.64	mg/l	Oximetro
	TURBIDEZ	12.4	NTU	Turbidimetro
	TEMPERATURA	24.69	°C	Multiparametro
	POTENCIAL DE HIDROGENO	7.5	Unidad	Multiparametro
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	1953	μS/cm	Multiparametro
	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	976	mg/l	Multiparametro
	SALINIDAD	0.99	PSU	Multiparametro
T1 - 2 ET	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	9	mg/l	Oximetro
	OXIGENO DISUELTO	6.54	mg/l	Oximetro
	TURBIDEZ	10.1	NTU	Turbidimetro
	TEMPERATURA	24.82	°C	Multiparametro
	POTENCIAL DE HIDROGENO	7.1	Unidad	Multiparametro
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	2134	μS/cm	Multiparametro

Resultados de los análisis fisicoquímicos de la prueba control y de las muestras de agua tratadas con la microalga *Scenedesmus sp.* y en los tres espacios de tiempo, otorgados por el laboratorio de la Universidad César Vallejo.



	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	1067	mg/l	Multiparametro
	SALINIDAD	1.09	PSU	Multiparametro
T2 - 2 ET	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	31	mg/l	Oximetro
	OXIGENO DISUELTO	5.42	mg/l	Oximetro
	TURBIDEZ	18.2	NTU	Turbidimetro
	TEMPERATURA	24.83	°C	Multiparametro
	POTENCIAL DE HIDROGENO	6.99	Unidad	Multiparametro
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	2125	μS/cm	Multiparametro
	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	1063	mg/l	Multiparametro
	SALINIDAD	1.08	PSU	Multiparametro
T3 - 2 ET	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	60	mg/l	Oximetro
	OXIGENO DISUELTO	5.66	mg/l	Oximetro
	TURBIDEZ	43.2	NTU	Turbidimetro
	TEMPERATURA	21.77	°C	Multiparametro
	POTENCIAL DE HIDROGENO	6.96	Unidad	Multiparametro
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	1556	μS/cm	Multiparametro
	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	778	mg/l	Multiparametro
	SALINIDAD	0.78	PSU	Multiparametro

Resultados de los análisis fisicoquímicos de la prueba control y de las muestras de agua tratadas con la microalga *Scenedesmus sp.* y en los tres espacios de tiempo, otorgados por el laboratorio de la Universidad César Vallejo.



T0 - 3 ET	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	5	mg/l	Oxímetro
	OXIGENO DISUELTO	7.02	mg/l	Oxímetro
	TURBIDEZ	1.18	NTU	Turbidímetro
	TEMPERATURA	21.81	°C	Multiparametro
	POTENCIAL DE HIDROGENO	7.31	Unidad	Multiparametro
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	2178	µS/cm	Multiparametro
	SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	1089	ml/l	Multiparametro
	SALINIDAD	1.12	PSU	Multiparametro
T1 - 3 ET	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	9	mg/l	Oxímetro
	OXIGENO DISUELTO	6.90	mg/l	Oxímetro
	TURBIDEZ	6.09	NTU	Turbidímetro
	TEMPERATURA	24.83	°C	Multiparametro
	POTENCIAL DE HIDROGENO	7.03	Unidad	Multiparametro
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	2126	µS/cm	Multiparametro
	SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	1063	mg/l	Multiparametro
	SALINIDAD	1.08	PSU	Multiparametro
T2 - 3 ET	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	11	mg/l	Oxímetro
	OXIGENO DISUELTO	6.86	mg/l	Oxímetro

Resultados de los análisis fisicoquímicos de la prueba control y de las muestras de agua tratadas con la microalga *Scenedesmus sp.* y en los tres espacios de tiempo, otorgados por el laboratorio de la Universidad César Vallejo.

	TURBIDEZ	8.34	NTU	Turbidimetro
	TEMPERATURA	24.82	°C	Multiparametro
	POTENCIAL DE HIDROGENO	7.08	Unidad	Multiparametro
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	2131	μS/cm	Multiparametro
	SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	1066	mg/l	Multiparametro
	SALINIDAD	1.02	PSU	Multiparametro
	T3 - 3 ET	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	14	mg/l
OXIGENO DISUELTO		5.83	mg/l	Oximetro
TURBIDEZ		9.20	NTU	Turbidimetro
TEMPERATURA		24.83	°C	Multiparametro
POTENCIAL DE HIDROGENO		7.07	Unidad	Multiparametro
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA		2130	μS/cm	Multiparametro
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS		1065	mg/l	Multiparametro
SALINIDAD		1.09	PSU	Multiparametro

Nota: muestras tomada por el usuario

Resultados de los análisis fisicoquímicos de la prueba control y de las muestras de agua tratadas con la microalga *Scenedesmus sp.* y en los tres espacios de tiempo, otorgados por el laboratorio de la Universidad César Vallejo.