

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES



**“MACRÓFITAS FLOTANTES (*Lemna minor* y *Lemna gibba*) PARA LA
REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES DE LAS AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

AUTORES:

BACH. ALVAREZ CCATAMAYO KEVIN JUNNIOR

BACH. MUÑOZ QUILO JILTON

ASESORA:

ING. NANCY ELIZABETH CACERES MAYORGA

**Callao, 2021
PERÚ**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES



(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)

ANEXO 3

ACTA N° 014-2021 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

LIBRO 01 FOLIO No. 21 ACTA N°014-2021 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

A los 16 días del mes de octubre del año 2021, siendo las 14:22 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/kvs-jfaf-zek>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la **Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

Mg.	Teófilo Allende Ccahuana	: Presidente
Mtro.	Américo Carlos Milla Figueroa	: Secretario
Blgo.	Carlos Odorico Tome Ramos	: Vocal
Ing.	Nancy Elizabeth Cáceres Mayorga	: Asesora

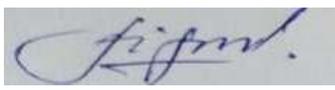
Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los Bachilleres Kevin Junnior Alvarez Ccatamayo y Jilton Muñoz Quilo, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: **“MACRÓFITAS FLOTANTES (Lemna minor y Lemna gibba) PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA”**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 0442020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por Aprobada con la escala de calificación cualitativa Bueno y calificación cuantitativa Dieciséis (16), la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018- CU del 30 de Octubre del 2018

Se dio por cerrada la Sesión a las 15:10 horas del día sábado 16 de octubre del año en curso.



Presidente



Secretario



Vocal



Asesora

DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada a nuestros padres y familiares por su apoyo continuo a lo largo de todo este tiempo, así como por los sacrificios que han hecho para poder llegar a hacer las personas y profesionales hoy en día.

INDICE

RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	16
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	18
1.2. Formulación del Problema	19
1.2.1. Problema general	19
1.2.2. Problemas específicos.....	20
1.3. Objetivos	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
1.4. Limitantes de la investigación	21
1.4.1. Teórico.....	21
1.4.2. Temporal	21
1.4.3. Espacial	21
II. MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes del estudio	22
2.1.1. Internacionales	22
2.1.2. Nacionales.....	25
2.2. Bases teóricas.....	30
2.2.1. Macrófitas	30
2.2.2. Macrófitas Emergentes.....	31
2.2.3. Macrófitas Sumergidas	31
2.2.4. Macrófitas Flotantes	31
2.2.5. Procesos de remoción de contaminantes.....	36

2.2.6.	Agua residual.....	41
2.2.7.	Tratamiento de aguas residuales.....	45
2.3.	Conceptual.....	46
2.3.1.	Materia orgánica.....	46
2.3.2.	Nutrientes del agua residual.....	47
2.3.3.	Parámetros de Control.....	47
2.3.4.	Ciclo del nitrógeno.....	49
2.3.5.	Ciclo del fósforo.....	50
2.4.	Definición de términos básicos.....	51
2.4.1.	Agua residual.....	51
2.4.2.	Sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	51
2.4.3.	Macrófitas.....	51
2.4.4.	Nutrientes en el agua residual.....	52
2.4.5.	Tratamiento secundario.....	52
2.4.6.	Tasa Relativa de Crecimiento (TRC).....	52
III.	HIPOTESIS Y VARIABLES.....	52
3.1	Hipótesis.....	52
3.1.1.	Hipótesis general.....	52
3.1.2.	Hipótesis específicas.....	53
3.2.	Definición conceptual de variables.....	53
3.2.1.	Operacionalización de variables.....	55
IV.	DISEÑO METODOLOGIA.....	57
4.1.	Tipo y Diseño de investigación.....	57
4.1.1.	Tipo.....	57
4.1.2.	Diseño.....	57
4.1.2.1	Planteamiento de la investigación experimental.....	57

4.1.2.2	Diseño de la investigación experimental.....	58
a.	Acondicionamiento de las especies macrófitas	59
4.2.	Método de la investigación	63
4.3.	Población y muestra.....	63
4.3.1.	Población	63
4.3.2.	Muestra.....	63
4.4.	Lugar de estudio	64
4.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de información	64
4.5.1.	Técnicas	64
4.5.2.	Instrumentos	64
4.6.	Análisis y procesamiento de datos	65
4.6.1.	Análisis del cumplimiento normativo.....	65
4.6.2.	Análisis de la eficiencia de remoción	65
4.6.3.	Análisis de crecimiento mediante la Tasa Relativa de Crecimiento según especie.....	65
4.6.4.	Procesamiento estadístico.....	66
V.	RESULTADOS.....	67
5.1.	Resultados descriptivos.	67
5.1.1.	Resultados de las características físico-químicos del agua residual doméstica	67
5.1.2.	Variación de las concentraciones de los parámetros físico-químicos del tratamiento de las aguas residuales domésticas.	67
5.1.3.	Eficiencias de la remoción de los nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas en los tratamientos	76
5.1.4.	Tasa relativa de crecimiento	77
5.2.	Resultados inferenciales	79
5.2.1.	Análisis sobre tratamientos en la remoción del Nitrógeno Total ...	79

5.2.2.	Análisis de los tratamientos en la remoción del Ion Amonio	81
5.2.3.	Análisis de los tratamientos en la remoción del Nitrato	83
5.2.4.	Análisis de los tratamientos en la remoción del Fósforo Total.....	85
5.2.5.	Análisis de los tratamientos en la remoción del Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	88
5.2.6.	Análisis de los tratamientos en la remoción del Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	90
5.2.7.	Análisis de la influencia de la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> en la remoción de Nitrógeno Total	93
5.2.8.	Análisis de la influencia de la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> en la remoción de Fósforo Total.	96
5.2.9.	Análisis de la influencia de la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> en la remoción de DQO	99
5.2.10.	Análisis de la influencia de la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> en la remoción de Ion Amonio..	102
5.2.11.	Análisis de la influencia de la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> en la remoción de Nitrato	105
5.2.12.	Análisis de la influencia de la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> en la remoción de DBO ₅	108
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	111
6.1.	Contratación y demostración de la Hipótesis	111
6.1.1.	Contratación y demostración de la Hipótesis con los resultados para Nitrógeno total.	111
6.1.2.	Contratación y demostración de la Hipótesis con los resultados para el Fósforo total	112
6.1.3.	Contratación y demostración de la Hipótesis con los resultados para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	113

6.1.4.	Contratación y demostración de la Hipótesis con los resultados para la Demanda Química de Oxígeno.....	114
6.1.5.	Contratación y demostración de la Hipótesis con los resultados la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas flotantes.....	115
6.2	Contrastación de los resultados con estudios similares.....	118
6.2.1	Nutrientes	118
6.2.2	Materia Orgánica	119
6.2.3	Tasa Relativa de Crecimiento.....	120
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	120
V.	CONCLUSIONES.....	121
VI.	RECOMENDACIONES	122
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
VIII.	ANEXOS	130
	ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA	130
	ANEXO 2. FICHAS DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO.....	132
	ANEXO 3 INFORMES DE ENSAYO DE LABORATORIO	136
	ANEXO 4. REGISTRO DE CAMPO.....	161

INDICE DE TABLAS DE CONTENIDOS

Tabla 1 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias	42
Tabla 2 Valores de nutrientes del agua residual	47
Tabla 3 Definición conceptual y operacional de la variable	54
Tabla 4 Operacionalización de variables.....	55
Tabla 5 Método de ensayo para parametros fisicoquimicos	62
Tabla 6 Instrumentos.....	64
Tabla 7 Concentración físico-química de las aguas residuales domésticas....	67
Tabla 8 Variación de las concentraciones del Potencial Hidrogeno en unidad de pH.....	68
Tabla 9 Variación de las concentraciones de turbidez en unidades de (NTU) en los tratamientos	68
Tabla 10 Variación de las concentraciones de la conductividad en unidades de ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en los tratamientos.	69
Tabla 11 Variación de las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxigeno (mg/L) en los tratamientos.	70
Tabla 12 Variación de las concentraciones de la Demanda Química de Oxigeno (mg/L) en los tratamientos.....	71
Tabla 13 Variación de las concentraciones de Nitrógeno Total en unidades de (mg/L) en los tratamientos.....	72
Tabla 14 Variación de las concentraciones de Fosforo en unidades de (mg/L) en los tratamientos	73
Tabla 15 Variación de las concentraciones del Ion amonio en unidad de (mg/L) en los tratamientos.....	74
Tabla 16 Variación de las concentraciones del Nitrato en unidad de (mg/L) en los tratamientos.....	75
Tabla 17 Eficiencia de remoción del Nitrógeno Total, Fosforo Total, Demanda Bioquímica y la Demanda Química de Oxigeno	76
Tabla 18 Variación del número de frondas de las especies macrófitas (unidades)	77
Tabla 19 Tasa relativa de crecimiento (d^{-1})	78

Tabla 26 Pruebas de normalidad sobre el DQO (Demanda química de oxígeno) (mg/L) según cada tratamiento utilizado	90
Tabla 37 Pruebas de normalidad de los residuos de Shapiro-Wilk sobre la remoción de Nitrógeno total de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba.....	94
Tabla 38 Pruebas de ANOVA ^a sobre la remoción de Nitrógeno total de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba	94
Tabla 41 Pruebas de normalidad de los residuos de Shapiro-Wilk sobre la remoción de Fósforo total de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Plantas acuáticas de acuerdo con el hábitat	30
Figura 2 Diagrama de ciclo de crecimiento vegetativo de un tipo de la Lemna aequinoctialis.....	33
Figura 3 <i>Lemna minor</i> en ambiente acuático	35
Figura 4 Lemna gibba en medio acuático	36
Figura 5 Ciclo del nitrógeno en un sistema de tratamiento con Lemna.....	40
Figura 6 Diagrama de las vías y procesos del ciclo del nitrógeno.....	50
Figura 7 Ciclo del fósforo	51
Figura 8 Diagrama de bloques de las experiencias que se realizarán en la investigación.....	58
Figura 9 Acodicionamiento de especies macrófitas	59
Figura 10 Toma de muestra de agua residual.....	60
Figura 11 Tanque ecualizador.....	60
Figura 12 Medidas del reactor.....	61
Figura 13 Área inicial inoculada con cada especie macrófita para cada tratamiento	62
Figura 14 Variación de las concentraciones del Potencial Hidrógeno (pH)	68
Figura 15 Variación de las concentraciones de la Turbidez (NTU)	69
Figura 16 Variación de las concentraciones de la conductividad en unidades de (μ S/cm) en los tratamientos.	70

Figura 17 Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	71
Figura 18 Variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	72
Figura 19 Variación de las concentraciones del Nitrógeno total (N).....	73
Figura 20 Variación de las concentraciones del fosforo (P)	74
Figura 21 Variación de las concentraciones del Ion amonio en unidades de (NH ₄ ⁺)	75
Figura 22 Variación de las concentraciones del Nitrato en unidad de (NO ₃ ⁻) en los tratamientos	76
Figura 23 Eficiencia de remoción del Nitrógeno Total, Fosforo Total, Demanda Bioquímica y la Demanda Química de Oxígeno	77
Figura 24 Curva de crecimiento de las especies macrófitas	78
Figura 25 Variación de la tasa relativa de crecimiento	79

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas de la planta de tratamiento del distrito de Independencia, usando las macrófitas flotantes *Lemna minor* y *Lemna gibba* de manera aislada y de forma asociada. La hipótesis planteada se basó en estudios previos, aduciendo que las especies son eficientes en la remoción de nutrientes y materia orgánica para este tipo de contaminantes. Las concentraciones iniciales de las muestras de aguas residuales domésticas, para nutrientes, presentaron un valor de 56 mg/L de nitrógeno total y 8.05 mg/L de fósforo total, las cuales sobrepasaron los valores establecidos en la Directiva 91/271/CEE en 303% y 273%, respectivamente; asimismo, para la materia orgánica, presentaron las contrataciones iniciales de 165 mg/L de demanda bioquímica de oxígeno y 383.9 mg/L de demanda química de oxígeno, las cuales sobrepasaron los Límites Máximos Permisibles establecidos el D.S 003-2010-MINAM en 65% y 92%, respectivamente. La evaluación se realizó, en reactores de vidrio, donde se trataron 9 litros de agua residual doméstica mediante la aplicación de especies macrófitas *Lemna minor* (RLm), *Lemna gibba* (RLg) y la asociación de estas (RLm-Lg) además de un control (RC), el cual solo contenía agua residual doméstica. Posteriormente, se realizó el análisis de los parámetros nitrógeno total (N), nitratos (NO_3^-), ion amonio (NH_4^+), fósforo total (P), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y demanda química oxígeno (DQO), 4 veces en un período de 17 días. Según los resultados obtenidos la asociación de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba*, es eficiente para la remoción de nutrientes (Nitrógeno total y Fosforo total) y materia orgánica (Demanda química de oxígeno y Demanda bioquímica de oxígeno), ya que se obtuvieron las eficiencias de remoción de 67.72%, 70.19%, 86.39 % y 80.85%, respectivamente. Así mismo, los resultados obtenidos en el tratamiento con *Lemna minor* presentó eficiencias de remoción 60.82% para nitrógeno total, 53.81% para fósforo total, 78.70 % para DBO_5 , 83.6 5% para DQO, y para el tratamiento con *Lemna gibba* presentó eficiencias de remoción de 61.31%, 57.36%, 77.45% y 80.98% para nitrógeno total, fósforo total, DBO_5 y DQO, respectivamente. Respecto a la evaluación de la tasa relativa de

crecimiento de la *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y la asociación de estas en el día 17, se obtuvieron los siguientes resultados 0.1187 d^{-1} , 0.1202 d^{-1} , y 0.1229 d^{-1} , las cuales estuvieron determinadas por la disponibilidad de nutrientes. En conclusión, el tratamiento con la *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y la asociación de estas, permitió una óptima eficiencia de remoción para nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas del distrito de Independencia.

ABSTRACT

The objective of this research work was to determine the elimination of nutrients and organic matter from the domestic wastewater of the treatment plant in the district of Independencia, using the floating macrophytes *Lemna minor* and *Lemna gibba* in isolation and in association. The proposed hypothesis was based on previous studies, arguing that the species are efficient in the elimination of nutrients and organic matter for this type of pollutants. The initial concentrations of the domestic wastewater samples, for nutrients, presented a value of 56 mg / L of total nitrogen and 8.05 mg / L of total phosphorus, which exceeded the values established in Directive 91/271 / CEE in 303 % and 273%, respectively; Likewise, for organic matter, it presented the initial contracts of 165 mg / L of biochemical oxygen demand and 383.9 mg / L of chemical oxygen demand, which exceeded the Maximum Permissible Limits established in DS 003-2010-MINAM by 65% and 92%, respectively. The evaluation was carried out in glass reactors, where 9 liters of domestic wastewater were treated by applying macrophyte species *Lemna minor* (RLm), *Lemna gibba* (RLg) and their association (RLm-Lg) in addition to a control (RC), which only contained domestic wastewater. Subsequently, the analysis of the parameters total nitrogen (N), nitrates (NO_3^-), ammonium ion (NH_4^+), total phosphorus (P), biochemical oxygen demand (BOD5) and chemical oxygen demand (COD), 4 times in a 17 day period. According to the results obtained, the association of the macrophytes *Lemna minor* and *Lemna gibba* is efficient for the removal of nutrients (total nitrogen and total phosphorus) and organic matter (chemical oxygen demand and biochemical oxygen demand), since the efficiencies were obtained removal of 67.72%, 70.19%, 86.39% and 80.85%, respectively. Likewise, the results obtained in the treatment with *Lemna*

minor presented removal efficiencies 60.82% for total, 53.81% for total phosphorus, 78.70% for BOD5, 83.65% for COD, and for the treatment with *Lemna gibba* it presented removal efficiencies of 61.31%, 57.36%, 77.45% and 80.98% for total nitrogen, total phosphorus, BOD5 and COD, respectively. Regarding the evaluation of the relative growth rate of *Lemna minor*, *Lemna gibba*, and their association on day 17, the following results were obtained 0.1187 d⁻¹, 0.1202 d⁻¹, and 0.1229 d⁻¹, the which were determined by the availability of nutrients. In conclusion, the treatment with *Lemna minor*, *Lemna gibba*, and the association of these, include an optimal removal efficiency for nutrients and organic matter from the domestic wastewater of the district of Independencia.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas superficiales por nutrientes y materia orgánica constituye un problema a nivel mundial, el cual principalmente se debe al vertido de aguas residuales, domésticas e industriales, sin haber recibido un tratamiento previo (Larios, 2009; Organización de las Naciones Unidas para la Educación y la Cultura [UNESCO], 2009).

Es así que, los principales nutrientes presentes en las aguas residuales domésticas son el nitrógeno y fósforo, los cuales al descargarse en altas concentraciones pueden acelerar el proceso de eutrofización en cuerpos de agua, como lagos, embalses, embocaduras y bahías (Melcón, 2019). Dando como resultado consecuencias ecológicas negativas en las estructuras, procesos y funciones de los ecosistemas acuáticos son el crecimiento excesivo de algas y plancton y, posteriormente, el deterioro de la calidad del agua (Western, 2001). Del mismo modo, la disminución del oxígeno disuelto en cuerpos de agua, debido a la alta concentración de la materia orgánica en cuerpos de agua, pueden generar perturbaciones en el ecosistema como la muerte de peces, así como condiciones sépticas (UNESCO, 2017). Por lo que, el control de este tipo de contaminantes tiene mucha importancia en la gestión de calidad del agua y en proyectos de plantas de tratamiento.

Los tratamientos de aguas residuales que implican el uso de macrófitas flotantes, han demostrado ser eficientes en la fitorremediación de aguas con contenidos de nutrientes y materia orgánica. Además, se ha reportado la eficiencia aproximada de *Lemna minor* de 89% y 67% de remoción de nitrógeno y fósforo, respectivamente (Martelo y Lara, 2012).

Por lo que, las macrófitas flotantes *Lemna gibba* y *Lemna minor* son aptas para el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales, destacando las provenientes de plantas de tratamiento convencionales de origen industrial y urbano (Mkandawire y Dudel, 2007). Sin embargo, no se ha reportado el uso asociado de estas dos especies de *Lemna*.

Actualmente los sistemas de tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas son una alternativa innovadora, debido a que eliminan una amplia variedad de contaminantes, ya sean compuestos orgánicos e inorgánicos, tanto

biodegradables y no biodegradables; así como metales y patógenos. Asimismo, su mantenimiento y operación son económicos, no requieren de energía, tienen bajo impacto ambiental y alta efectividad.

Por lo antes mencionado, se planteó desarrollar esta investigación para evaluar la eficiencia de la asociación de las especies macrófitas *Lemna gibba* y *Lemna minor* en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR municipal del distrito de Independencia.

Estableciendo como objetivos específicos: a) Determinar las concentraciones de materia orgánica y nutrientes de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia. b) Determinar la eficiencia de las macrófitas *Lemna gibba* y *Lemna minor* en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia. c) Analizar la influencia de la tasa relativa crecimiento de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El rápido crecimiento urbano y la expansión de la población urbana han dado lugar a aumentos significativos en la generación de aguas residuales municipales (García-Gozalbes et al., 2015). Dicho problema se agravaría en un futuro, ya que, según el informe de la Organización de la Naciones Unidas (ONU, 2019) se espera que para el año 2050 exista una población mundial de 9,7 mil millones.

La composición de las aguas residuales municipales puede variar considerablemente, reflejando la gama de contaminantes liberados por varias fuentes domésticas, industriales, comerciales e institucionales (UNESCO, 2017). Por lo que, el vertimiento de este tipo de aguas residuales, sin un previo tratamiento, incorporarían sustancias orgánicas biodegradables y nutrientes, (principalmente compuestos de nitrógeno y fosfato) a los sistemas acuáticos (García-Gozalbes et al., 2015; Abhayawardhana et al., 2019), ocasionando graves problemas, como la eutrofización (Melcón, 2019).

Se estima que cada año, a nivel mundial, se generan 314.24 km³ de aguas residuales municipales, de las cuales más del 80% son liberadas al medio ambiente sin un tratamiento adecuado. Asimismo, en América Latina y El Caribe, entre un 20% a 30% de las aguas residuales generadas van a redes de alcantarillado urbano para un posterior tratamiento. Por lo que el otro porcentaje de aguas residuales se vierten sin ser tratadas (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2017).

De acuerdo a cifras del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014), por día en el Perú, se descargan aproximadamente 2 217 946 m³ a la red de alcantarillado de las Entidades Prestadoras de Servicio de Saneamiento, de las cuales solo el 32% de estas son derivadas a Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para recibir algún tipo de tratamiento para su posterior vertimiento a un cuerpo receptor (OEFA, 2014). De igual forma, en Lima Metropolitana, solo el 20.5% de 1 202 286 m³ de agua

residual vertida al sistema de alcantarillado, recibe tratamiento. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014).

Razón por la cual, existe un creciente interés por la búsqueda de tecnologías de tratamientos alternativos que sean efectivos, duraderos y rentables para el tratamiento de las aguas residuales. Un tratamiento alternativo es el uso de macrófitas acuáticas, ya que en estudios previos, diversas especies como *Lemna gibba* y *Lemna minor*, han mostrado una gran capacidad en el tratamiento de aguas residuales al remover contaminantes como materia orgánica y nutrientes (Abhayawardhana et al., 2019; Patel y Kanungo, 2010; Mkandawire y Dudel, 2007). Sin embargo, en esas investigaciones se ha estudiado la capacidad de remoción de materia orgánica y nutrientes utilizando individualmente cada especie *Lemna gibba* y *Lemna minor* y en aguas residuales procedentes del tratamiento secundario de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Sobre los argumentos mencionados, cabe la necesidad de evaluar la capacidad de las macrófitas flotantes *Lemna minor* y *Lemna gibba*, de manera asociada, en la remoción de materia orgánica y nutrientes de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) municipal del distrito de Independencia, dado que en los ecosistemas naturales estas especies crecen de forma asociada, existiendo relaciones interespecíficas entre ellas. Se tiene como fin demostrar que el uso asociado de *Lemna gibba* y *Lemna minor* es la mejor alternativa de tratamiento de las aguas residuales domésticas del tratamiento primario, en cumplimiento de la normativas nacionales e internacionales respecto a materia orgánica y nutrientes.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál será la eficiencia en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia, usando *Lemna minor* y *Lemna gibba* en forma asociada?

1.2.2. Problemas específicos

P.1 ¿Cuáles serán las concentraciones de nutrientes y materia orgánica que tienen las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia?

P.2 ¿Cuál será la eficiencia de las macrófitas *Lemna gibba* y *Lemna minor* en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia?

P.3 ¿Cómo influirán la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de la asociación de las macrófitas *Lemna gibba* y *Lemna minor* en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

1.3.2. Objetivos específicos

O.1 Determinar las concentraciones de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

O.2 Determinar la eficiencia de las macrófitas *Lemna gibba* y *Lemna minor* en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

O.3 Analizar la influencia de la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

1.4. Limitantes de la investigación

1.4.1. Teórico

Los Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR, dadas en el Decreto Supremo 003-2010-MINAM, no contemplan valores para los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), por ello se ha optado por el uso de una normativa internacional: Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales.

1.4.2. Temporal

Para la caracterización de las aguas residuales domésticas de la PTAR, el acceso es restringido al personal externo. Por lo que se debe solicitar permiso a la Gerencia de Medio Ambiente de la Municipalidad Distrital de Independencia, lo cual puede generar retrasos para inicio de la parte experimental del presente trabajo de investigación.

1.4.3. Espacial

La limitante espacial es que la PTAR se encuentra ubicada en la urbanización Tupac Amaru del distrito de Independencia, el cual es un sector de poca accesibilidad y lo que resultaría un problema al momento de realizar la toma de muestra de las aguas residuales. Asimismo, en el contexto actual que estamos pasando debido al COVID 19 se dificultan los accesos a la PTAR, así como al laboratorio de análisis de las muestras de agua.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Internacionales

Aponte y Pacherras (2013) en su investigación denominada "Crecimiento y Propagación de *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo diferentes concentraciones de nutrientes" tuvo como finalidad conocer la concentración de nutrientes mediante el cual se logra una propagación óptima de *Limnobium laevigatum* en laboratorio midiendo parámetros de crecimiento, tales como el área ocupada, la biomasa, tamaño de las raíces y producción de hojas. Razón por la cual monitorearon en laboratorio dichos parámetros morfológicos durante 21 días en plantas sometidas a cinco concentraciones de nutrientes (0X, 12,5X, 25X, 50X y 100X proporcional a la concentración de nutrientes). Los resultados obtenidos fueron que, en los tratamientos de concentraciones de 12,5X y 25X, en la cual se alcanzó la mayor producción de hojas, peso fresco, número de rametos y área foliar. Asimismo, los tratamientos con concentraciones 0X y 12,5X mostraron un mayor crecimiento radicular en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado, en el tratamiento 0X la clorosis fue mayor y fue disminuyendo cuando aumentó la concentración de nutrientes en los tratamientos. Los tratamientos 0X, 12,5X y 25X presentaron una menor cantidad de hojas muertas que los tratamientos 50X y 100X. En el tratamiento 12,5X se obtuvo una tasa de crecimiento relativo mayor, el cual fue de un valor de 0,1239. Finalmente, discutieron las diferentes respuestas fisiológicas de la especie en estudio y el rol de los nutrientes; y se compararon las tasas de crecimiento con otras especies de plantas acuáticas flotantes.

Sierra et al. (2016) en su investigación titulada "Determinación de la tasa relativa de crecimiento de la *Lemna minor* en el tratamiento de efluentes de un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales" buscaron establecer el crecimiento de las macrófitas *Lemna minor* (conocidas popularmente como lentejas de agua) en el tratamiento de efluentes de

lagunas de estabilización que tratan aguas residuales municipales. Los resultados que obtuvieron fue que la tasa relativa de crecimiento de la especie macrófita *Lemna minor* tuvo un valor aproximadamente 0.1595 d⁻¹. Asimismo, establecieron que la adaptación al medio y la disponibilidad de nutrientes son factores determinantes en el crecimiento de las lentejas de agua. Por lo que concluyeron que el uso de la *Lemna minor*, para el tratamiento de efluentes de lagunas de oxidación que tratan aguas residuales domésticas, son una buena alternativa.

Luévano (2016) en su tesis denominada "*Propuesta metodológica para reducir la concentración de nutrientes (PO_4 ; NH_4^+ ; NO_3^+) en bioensayos a la intemperie con *Spirodela polyrhiza**" menciona que la escasa información científica que describa a profundidad los métodos empleados para la reducción eficiente de las concentraciones de contaminantes es una problemática que se presenta en la biorremediación de aguas residuales con *Spirodela polyrhiza*, Razón por la cual, realizó una serie de bioensayos a fin de desarrollar una propia metodología. Los bioensayos se centraron en evaluar la reducción de la concentración de nutrientes en agua con dos soluciones diferentes. Para tal fin aplicó a la *Spirodela polyrhiza* como agente descontaminante y se realizó mediciones de la concentración de clorofila-a, pH, oxígeno disuelto y temperatura. Es así que obtuvo como resultados una eficiencia del 20% para la remoción de fosfatos, sin embargo, para los nitratos y nitrógeno amoniacal no fueron conclusivos. Asimismo, obtuvo un crecimiento inesperado de microalgas (Clorofila-a mayor a 50 µg/L) por radiación difusa solar, el cual generó alcalinidad en el ambiente acuático (pH mayor a 8.4) el cual fue desfavorable para la supervivencia de *Spirodela polyrhiza*. Esto provocó la muerte de la lenteja acuática y por consiguiente un aumento en la concentración de nitrógeno amoniacal por su descomposición.

Abhayawardhana et al. (2019) en su investigación denominada "Eliminación de metales pesados y nutrientes de las aguas residuales

municipales utilizando *Salvinia molesta* y *Lemna gibba*” se centraron en las habilidades y eficiencias de *Salvinia molesta* y *Lemna gibba* para eliminar metales pesados seleccionados (Cr, Cu, Fe, Ni y Pb) y el exceso de nutrientes de las aguas residuales extraídas de la planta de tratamiento de aguas residuales municipal de Moratuwa-Ratmalana. Para ello, trataron las aguas residuales con *Salvinia molesta* y *Lemna gibba* por separado durante un periodo de 7 días y la analizaron los parámetros pH, temperatura, N-nitratos, N-nitritos, nitrógeno amoniacal, fosfatos y metales pesados seleccionados, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y nitrógeno total de Kjeldhal. De los resultados obtenidos, evidenciaron que las eficiencias de eliminación de nitrógeno total de *Salvinia molesta* y *Lemna gibba* fueron 73.3% y 62.1%, respectivamente. Asimismo, las eficiencias promedio de remoción de fosfato total de *Salvinia molesta* y *Lemna gibba* fueron 72,6% y 77,2% respectivamente. Las eficiencias promedio de remoción de Cr, Cu, Fe, Ni y Pb de *Salvinia molesta* fueron 81,6%, 69,8%, 65,2%, 66,3% y 74,8%, respectivamente. Las eficiencias promedio de remoción de Cr, Cu, Fe, Ni y Pb mostradas por *Lemna gibba* fueron 86,9%, 69,7%, 73,1%, 61,8% y 85,7% respectivamente. Por lo que, de acuerdo con los resultados obtenidos, demostraron que la *Salvinia molesta* y *Lemna gibba* pueden considerarse candidatos adecuados para la descontaminación de aguas residuales municipales.

Ceschin et al. (2020) en su investigación denominada “Potencial de fitorremediación de las lentejas de agua *Lemna minuta* y *Lemna minor* para eliminar los nutrientes de las aguas tratadas” buscaron determinar el potencial de fitorremediación de las lentejas de agua *Lemna minuta* y *Lemna minor* para eliminar los nutrientes de las aguas residuales simuladas. Por lo que, en dos experimentos separados, durante 28 días, cultivaron las 2 especies en aguas enriquecidas con nitrato y fosfato para simular las concentraciones de nutrientes de las aguas residuales domésticas. Asimismo, realizaron mediciones físicas y químicas del agua (temperatura, pH, conductividad, oxígeno) y análisis fisiológicos y

bioquímicos de las plantas (biomasa, tasa de crecimiento relativo-RGR, contenido de nutrientes y clorofila, daño peroxidativo, factor de bioconcentración-BCF) para probar y comparar la capacidad de fitorremediación de las dos especies. Los resultados obtenidos fueron que la biomasa de la *Lemna minuta* aumentó casi diez veces durante el transcurso de tiempo del tratamiento, lo que resultó en una duplicación del espesor de la manta y una RGR de 0.083 ± 0.001 g / g día. Asimismo, el contenido máximo de fosfato en las frondas se alcanzó el día 21 (aumento superior al 165%) y de nitrato el día 7 (10%). Según los resultados de BCF (BCF > 1000), *Lemna minor* era un hiperacumulador de ambos nutrientes. Por otro lado, la biomasa de la *Lemna minor* y el espesor de la estera disminuyeron continuamente durante la incubación (RGR = -0.039 ± 0.004 g / g día). En las frondas de la *Lemna minor*, el contenido de fosfato aumentó hasta el día 14, después del cual hubo una disminución hasta el final de la incubación. El contenido de nitrato de la fronda disminuyó significativamente el día 7, pero luego se mantuvo relativamente constante hasta el final del experimento. *Lemna minor* demostró ser hiperacumulador de fosfatos, pero no de nitratos. De los resultados obtenidos, la *Lemna minuta* tiene un potencial mayor que *Lemna minor* para eliminar ambos nutrientes por bioacumulación, especialmente fosfatos, demostrado también por mejores respuestas fisiológicas y bioquímicas.

2.1.2. Nacionales

Canales (2010) en su investigación denominada "Evaluación de la Biomasa y Manejo de *Lemna gibba* (lenteja de agua) en la bahía interior del Lago Titicaca, Puno" tiene como objetivos: (a) estimar la biomasa (kg/m^2) de lenteja de agua de la bahía interior del lago Titicaca y, (b) plantear una estrategia de manejo de la lenteja de agua de la bahía interior del lago Titicaca, el cual obtuvo como resultados promedio lo siguiente:

6.94 kg/m de la biomasa de la lenteja de agua, 6.3 de pH y 13.8°C de temperatura.

Los resultados obtenidos permitieron conocer que este organismo tiene la capacidad de crecer en condiciones difíciles y además su manejo va permitir mitigar la eutrofización del lago. Sumado a ello esto permitió que el manejo de las lentejas de agua este beneficiando de manera social, económico y ambiental, permitiendo una sostenibilidad en beneficio de la población de Puno y del ecosistema del lago Titicaca.

García (2012) en su tesis titulada “Comparación y Evaluación de Tres Plantas Acuáticas para Determinar la Eficiencia de Remoción de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas” busca determinar cuál de las tres plantas acuáticas flotantes, *Azolla filiculoides*, *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* presenta mayor capacidad depuradora de nutrientes presentes en las aguas residuales. Cuyo objetivo principal fue determinar si el sistema de reactores con plantas acuáticas remueve los nutrientes y saber si es un sistema adecuado y complementario con las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales que ya existen en el país. Se determinó que la eficiencia de remoción de los nutrientes fue de un 90% como se pronosticaba, además existentes estudios recientes en el Perú y en América Latina que señalan una eficiencia promedio del 95%. La macrófita que realizó un mejor tratamiento fue la *Eichhornia crassipes*. Pero, para la remoción de los lodos tiene una mayor eficiencia el Jacinto de agua con un 50%, a diferencia del 40% de los otros tratamientos y esta remoción estuvo asociada a las mismas variables fisicoquímicas (15%-30% de correlación). Para los parámetros nitrogenados existió un incremento en su concentración excepto los nitratos; los que se aumentaron especialmente con *Lemna minor* y lograron ser removidos con *Eichhornia crassipes*.

Tuesta (2016) en un estudio titulado: "Evaluación de las especies *Lemna minor* ("lenteja de agua") y *Eichhornia crassipes* ("jacinto de agua") en remoción de materia orgánica biodegradable en efluentes de piscigranjas de la empresa acuícola Alto Mayo, provincia de Moyobamba-2014.", realizado en la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, cuyo objetivo fue evaluar las especies *Lemna minor* ("lenteja de agua") y *Eichhornia crassipes* ("jacinto de agua") en la remoción de materia orgánica biodegradable en efluentes de las piscigranjas de la empresa acuícola Alto Mayo Provincia de Moyobamba-2014, para utilizar una planta piloto dos sistemas de tratamiento: El primer sistema era por tandas que consistió en la aplicación de plantas acuáticas con *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* utilizando el efluente de las piscigranjas para analizar el efecto depurador de las plantas acuáticas, teniendo un reactor de control (sin siembra de plantas), y tres reactores los cuales funcionaron como sistemas por "tandas", desarrollándose con homogeneidad en el tamaño de los estanques (sembrando en el primer estanque *Lemna minor* en el segundo estanque *Eichhornia crassipes* y el tercer estanque *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*), el segundo es el sistema continuo que consistió en un dotar de un flujo lento de $0.71 \text{ m}^3/\text{h}$ del efluente de piscigranjas atravesando estanques con diferentes niveles de agua poco profunda, en las cuales las plantas acuáticas flotantes *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* fueron cultivadas trabajando con un reactor de control (sin plantas), y tres reactores los cuales funcionaron como sistemas "continuos", (Sembrando en el primer estanque *Lemna minor* en el segundo estanque *Eichhornia crassipes* y el tercer estanque *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*). En la investigación realizada se concluye que el sistema continuo es mucho más eficiente en la remoción de materia orgánica al 50% que el sistema por tandas, siendo más eficiente el reactor 04 con plantas acuáticas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* ya que sus raíces tienen la capacidad de remover los sólidos suspendidos totales del efluente de aguas de las piscigranjas y logrando reproducirse las plantas al 100% del espacio de los reactores. Debido a que existe movimiento

continuo del agua y eso hace que las plantas tengan un mejor desarrollo y exista una mayor remoción de materia orgánica en los efluentes de las piscigranjas. Asimismo, podemos concluir que las plantas acuáticas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* cumplen con la función de remover la materia orgánica biodegradable significativamente en los reactores intervenidos en el sistema por tandas y en el sistema continuo.

Castillo (2017) realizó una investigación titulada “Eficiencia de *Lemna sp.* y *Eichhornia crassipes* en la Remoción de Nutrientes del Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Celendín”. El fin del estudio fue determinar la eficiencia de *Lemna sp.* y *Eichhornia crassipes*, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín. Luego de realizar los cálculos obtuvieron las eficiencias de remoción de los nutrientes en el punto de monitoreo (PM2) en el sistema de reactores en serie de flujo continuo, al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp.*, para los parámetros nitrógeno total (N), nitratos (NO_3^-), fósforo total (P) y fosfatos (PO_4^{3-}) fueron 52%, 37%, 31% y 34%, respectivamente, para estímulo o tratamiento con *Eichhornia crassipes* en el punto de monitoreo (PM3) en un sistema de reactores en serie con flujo continuo para el nitrógeno total (N), nitratos (NO_3^-), fósforo total (P) y fosfatos (PO_4^{3-}) fueron 61%, 34%, 73% y 68%, respectivamente. Según los resultados obtenidos llegaron a la conclusión que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* tiene la más alta tasa de remoción de nutrientes.

Saavedra-Castillo, (2017) en su trabajo de investigación titulado “Aplicación de Macrófitas en Flotación como ayuda en el Tratamiento De Aguas Residuales en la Laguna UDEP” tiene como objetivo evaluar las mejoras que ofrece un sistema filtro de macrófitas en flotación (FMF) en una laguna de estabilización facultativa a partir de los resultados que se obtienen de un comparativo entre un sistema convencional y uno aplicando el sistema innovador de fitodepuración. Para ello adecuó una laguna secundaria facultativa del sistema de tratamiento UDEP,

homogeneizando un flujo paralelo y uniforme en toda su longitud y dividiéndola en dos sectores, manteniendo en uno de ellos las condiciones convencionales de la laguna y destinando el otro para la aplicación del sistema de fitodepuración. Además, a ello, confeccionó un sistema de filtro de macrófitas en flotación (FMF) con piezas de plástico flotante donde colocó plantas de *Typha angustifolia*, las cuales se obtuvieron mediante una selección genética previa de la semilla y su germinación y crecimiento en dos viveros sucesivos. Evaluaron ambos sectores a través de ensayos de calidad del agua, obteniendo como resultados que el sistema filtro de macrófitas en flotación (FMF) es capaz de mejorar el tratamiento convencional de una laguna facultativa. En relación con el sector de laguna convencional, el sector con el sistema filtro de macrófitas en flotación (FMF) presentó mayor eficiencia de remoción en los parámetros analizados de sólidos totales suspendidos STS (72.78% vs -10.18%), Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅ (65.18% vs 33.79%), Demanda Química de Oxígeno DQO (57.18% vs 21.28%), coliformes fecales (95.52% vs 75.01 %), nitrógeno total (30.56% vs 17.50%) y fósforo total (6.18% vs 0.74%). Asimismo, mostró un comportamiento más resiliente frente a las variaciones de carga que se presentaron en la entrada de la laguna.

Callohuanca (2019) en tu tesis de investigación "Uso de Macrófitas Flotantes en la Remoción de Nitrógeno, Fósforo y Sulfatos de las Aguas Residuales de Puno", tuvo como fin evaluar los parámetros ambientales de las aguas residuales vertidos a la bahía interior de Puno en dos épocas, y estimar la eficiencia de las macrófitas flotantes en la remoción de nitrógeno, fósforo y sulfatos, y producción de biomasa. En el año 2019 se llevó a cabo este donde utilizaron macrófitas *Azolla filiculoides* y *Lemna gibba*; que fueron cultivados en contenedores de 50x40x20 cm, dando un área de 0.20 m² y un volumen de 30 litros, con un tiempo de retención hidráulica de 8 días. Los resultados obtenidos de las aguas residuales vertidos a la bahía interior de Puno, superan los estándares de calidad

ambiental establecidos evidenciando así su potencial eutrofizante lo cual se incrementan en época seca, empeorando la calidad de las aguas. En época lluviosa, obtuvo significativamente mayores eficiencias de remoción, *Lemna gibba* con 73.08% de eficiencia fue superior en remover nitrógeno total y *Azolla filiculoides* con 81.83% de eficiencia fue mejor en remover fósforo total; pero la eficiencia de remoción de sulfatos no fue significativa. En la época de lluvias hubo una mayor producción de biomasa, donde el 72.52% corresponde a la *Lemna gibba* y 50.74% a la *Azolla filiculoides*.

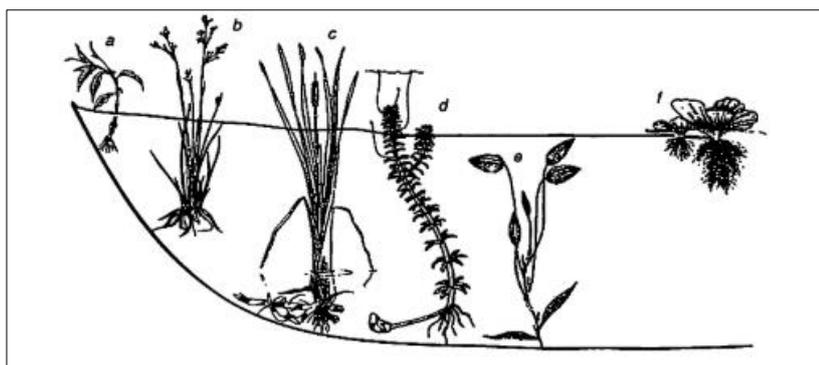
2.2. Bases teóricas

2.2.1. Macrófitas

Las macrófitas, también llamadas plantas acuáticas, están representadas por todo aquel tipo de vegetación que crece en la zona litoral de lagos, embalses y ríos, ya sea en la zona de interfase agua-tierra, sobre la superficie del agua o totalmente sumergidas (Roldán Pérez, 2008). Asimismo, son clasificadas en plantas flotantes, sumergidas y emergentes (García Murillo et al., 2000; Roldán Pérez, 2008).

Figura 1

Plantas acuáticas de acuerdo con el hábitat



Nota. Se observa el perfil de un lago en donde a, b y c plantas emergentes; d y e, plantas sumergidas; f, plantas flotantes. Fuente (Roldán Pérez, 2008).

2.2.2. Macrófitas Emergentes

Tienen las raíces enterradas en los sedimentos y la parte superior se extienden hacia arriba de la superficie del agua, las estructuras de reproducción están en la porción aérea de la planta (Núñez López et al., 2004), también se denominan macrófitas emergentes por tratarse de plantas acuáticas helófitas, con sistema radicular arraigado en el fango o fondo del humedal, y estructura vegetativa que emerge por encima de la lámina de agua alcanzando un desarrollo de hasta más de 3 metros de altura (Fernandez Gonzales et al., 2019)

2.2.3. Macrófitas Sumergidas

Son aquellas plantas acuáticas que se desarrollan debajo de la superficie del agua o completamente sumergida y sus órganos reproductores pueden encontrarse sumergidos, emergentes o flotantes (Núñez López et al., 2004), también son muy interesantes en los humedales naturales a causa de su efecto oxigenador en la columna de agua; ya que el oxígeno liberado por la fotosíntesis pasa directamente al agua, al presentar los órganos asimiladores sumergidos (Fernández Gonzales et al., 2019)

2.2.4. Macrófitas Flotantes

Estas plantas acuáticas se subdividen en dos grupos. El primer grupo son aquellas de libre flotación (no fijas) donde los tallos y las hojas se desarrollan sobre la superficie del agua; sin embargo, sus raíces no están fijas en ningún sustrato y cuelgan en la columna de agua y sus estructuras vegetativas y reproductivas se mantienen emergentes. Dentro de este grupo se tiene especies como el lirio acuático o jacinto de agua (*Eichornia crassipes*), la Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), la salvinia (*Salvinia sp*), la azolla (*Azolla pinnata*) y la lenteja de agua (*Lemna sp*, *Wolffia arrhiza*). Estas especies no son dependientes de suelo o de la profundidad del agua (Gómez Lordan, 2017; Núñez López et al., 2004). El segundo grupo, se caracteriza por tener hoja flotantes (fijas), es decir, aquellas que tienen

sus raíces fijas en los sedimentos, pero tienen sus hojas flotando (Núñez López et al, 2004).

2.2.4.1. Familia Lemnaceae

a. Descripción.

Las *Lemnaceae* son plantas acuáticas errantes, denominadas con el nombre común de lentejas de agua, que se caracterizan por la reducción de sus órganos y por la poca diferenciación morfológica. Esta familia se compone de cinco géneros: *Lemna*, *Landoltia*, *Spirodela*, *Wolffia*, *Wolffiella*. Asimismo, de 37 especies (Landolt y Schmidt-Mumm, 2009; Fernandez Gonzales et al., 2019).

b. Morfología

Fronda. Cuerpo verde parecida a una hoja o talo (no hay distintivamente hoja y tallo) que consiste en un conjunto de órganos y tejidos que no tiene una diferencia pronunciada. Según el tipo de especie y sus condiciones de crecimiento, la fronda madre puede generar a más de 20 frondas filiales, las cuales se originan de bolsas en la base de la fronda. Estas se reproducen de manera rápida y duran entre 2 y 10 semanas. Una fronda está conformada de una a más de 10 capas de tejido parenquimático, las cuales se ubican entre las epidermis superior e inferior.

Para el caso del género *Lemna*, presentan epidermis onduladas. Asimismo, las células de la epidermis superior (expuesta al aire) están protegidas por cutícula cerosa. Por otro lado, todas las *Lemnaceae* presentan estomas por la superficie superior (Landolt y Schmidt-Mumm, 2009).

Raíz. En el género *Lemna* el número de raíces se encuentra reducido a sólo una y presentan solamente de 1 a 5 nervios. Asimismo, las raíces no tienen traqueidas.

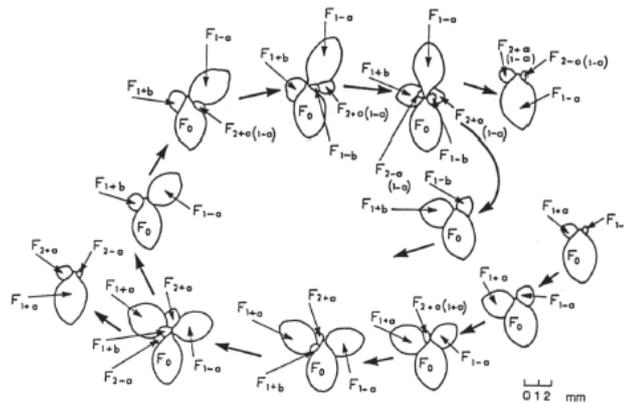
c. Mecanismo de propagación

En la gran mayoría de las especies prevalece la propagación vegetativa y pocas veces presentan órganos reproductivos, la cual les permite desarrollar nuevas frondas en base a la fronda madre (Landolt y Schmidt-Mumm, 2009). Este mecanismo de propagación es muy eficaz, ya que algunas especies pueden llegar a duplicarse en tan solo 24 horas. Por esta razón las Lemnaceae poseen una alta productividad potencias de biomasa (Fernandez Gonzales et al., 2019).

Por otra parte, según la especie o condiciones ambientales, la fronda hija o filial se puede separar de la fronda madre una vez haya alcanzado su madurez, o pueden permanecer juntas formando grupos sueltos por varias generaciones (Landolt y Schmidt-Mumm, 2009).

Figura 2

Diagrama de ciclo de crecimiento vegetativo de un tipo de la Lemna aequinocialis



Nota. F₀: Fronda madre, F₁: Fronda filial de primera generación, F₂ Fronda filial de segunda generación, F_{2+a(1-a)} Fronda filial del lado de la segunda generación.

Fuente: (Landolt y Schmidt-Mumm, 2009).

d. Distribución y hábitat

Las Lemnaceae son plantas errantes que habitan sobre o debajo de la superficie del agua, ya que no se enraízan en el suelo y por ende pueden tomar nutrientes de este. Asimismo, son transportadas de manera fácil por las corrientes de agua o viento. Razón por la cual se encuentran restringidas a lugares de aguas quietas o donde queden fijadas por las raíces de otras plantas (Landolt y Schmidt-Mumm, 2009).

e. Condiciones de crecimiento

El límite de tolerancia máxima de temperatura para el crecimiento del género *Lemna* es de 34°C y un ligero decrecimiento a temperaturas inferiores 10°C (Culley et al. 2009). Asimismo, Stephenson et al., (1980) señalaron que las lentejas de agua toleran un amplio rango de pH de 3-10, pero presentan un crecimiento óptimo en el rango de pH de 5-7. Por su parte, Mkandawire y Dudel (2005), mencionan que, específicamente la especie *Lemna gibba*, sus condiciones de crecimiento incluyen un rango de temperaturas de 6-33° y un amplio rango de pH con un crecimiento óptimo entre pH 5.5 y 7.5. Asimismo, su crecimiento está determinado por la disponibilidad de nutrientes (Sierra Cuello et al., 2016).

f. Especie *Lemna minor*.

Esta especie es conocida como hierba de agua, lenteja de agua, lentejuelas, lentejuelas de estanque, limacos. Posee frondas de 1,5-5 x 1-3,2 mm, elípticas u obovadas, 1-5 veces más largas que anchas, casi planas, a veces rojizas en el nudo, con 3(5) nervios más o menos visibles, sésiles. Raíces hasta 6,2 cm, con la caliptra de 0,5-3,1 mm, recta, redondeada en el ápice. Presenta la siguiente ruta taxonómica: Phylum: Spermatophyta; Clase: Liliopsida; Orden:

Arales; Familia: Lemnaceae; Género: *Lemna*; Especie: *Lemna minor* (Blanco et al., 2015; Landolt y Schmidt-Mumm, 2009).

Figura 3

Lemna minor en ambiente acuático



Nota. Fuente: (Blanco et al., 2015)

g. Especie *Lemna gibba*

Esta especie tiene como nombres comunes hierba de agua, lenteja de agua, lentejuelas, lentejuelas de estanque, limachos. Posee frondas de 1,5-6.5 x 1-4,5 mm, de orbiculares u obovadas, gibosas, a veces rojizas en los bordes o la cara superior, sin nervios visibles, sésiles. Raíces hasta 9 cm, con la caliptra de 0,8-3,5 mm, recta, redondeada en el ápice. Presenta la siguiente ruta taxonómica Phylum Spermatophyta; Clase Liliopsida; Orden Arales; Familia Lemnaceae; Género *Lemna*; Especie *Lemna gibba* (Blanco et al., 2015).

Figura 4

Lemna gibba en medio acuático



Nota. Fuente: (Blanco et al., 2015)

2.2.5. Procesos de remoción de contaminantes

Las plantas adaptadas a vivir en aguas con elevada carga orgánica son capaces de enviar el oxígeno del aire hacia sus raíces utilizando la energía solar captada por fotosíntesis. Esto les permite realizar una actividad conjunta con las bacterias, ya que al estar asociadas al sistema radicular, pueden degradar la materia orgánica a componentes minerales como C, N, y P que a su vez, estas serán convertidas en proteínas por la planta (Fernández Gonzales et al., 2019; Oron et al., 1985). Del mismo modo, las macrófitas también pueden ejercer una eliminación directa por la absorción de iones contaminantes, tanto metales pesados como aniones eutrofizantes nitratos y fosfatos principalmente (Fernández Gonzales et al., 2019; Arteaga-Cortez et al., 2019).

2.2.5.1. Procesos de remoción de materia orgánica

El proceso de oxidación de la materia orgánica lo realizan las bacterias asociadas a la planta, oxidación que se ve favorecida por el transporte de oxígeno realizado por la planta de las hojas a la

raíz. Las bacterias degradan la materia a componentes minerales y las lentejas de agua contribuyen a la remoción, aunque en muy poco grado, con su habilidad para utilizar compuestos orgánicos simples de manera directa (Oron et al., 1985) y de manera más significativa contribuyen a la remoción al funcionar como un soporte natural para el crecimiento de las bacterias (Yoval, n.d.).

De manera indirecta, la presencia de la *Lemna* en la superficie del agua genera la disminución de la concentración de DBO en el efluente al evitar el paso de la luz al interior de la laguna, reduciendo en gran medida el proceso de fotosíntesis y con esto el crecimiento incontrolado de algas (Zirschky y Reed, 1998).

La carga orgánica del influente y el grado de anaerobiosis ocasionado por la degradación de esa materia orgánica no altera el desarrollo de la planta, ya que se ha demostrado que el crecimiento de la *Lemna* no se ve afectado por la concentración de carbono orgánico en el influente del sistema de tratamiento (Körner et al., 1998).

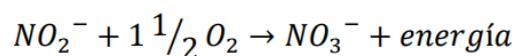
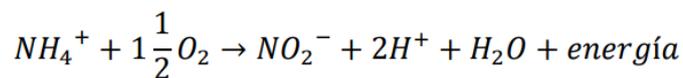
2.2.5.2. Procesos de remoción de nitrógeno

El nitrógeno está presente en las aguas residuales en forma de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amonio (NH_4^+) y nitrógeno orgánico de mayor a menor nivel de oxidación. Todas estas formas, incluido el nitrógeno gaseoso (N_2 , NO_x), forman parte del ciclo del nitrógeno porque están interrelacionados bioquímicamente. En relación a los procesos biológicos, o procesos en los que media la intervención organismos vivos, hay que mencionar: amonificación, nitrificación, desnitrificación, fijación de nitrógeno y asimilación por las plantas (Fernandez Gonzales et al., 2019). El nitrógeno es absorbido por las raíces de las plantas, preferentemente, en forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). Los factores que influyen en la absorción de este elemento por parte de la planta son: la especie y el tipo de planta, la intensidad lumínica, la presencia de nitrógeno

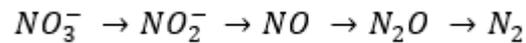
en el medio y la cantidad de nitrógeno almacenado en las vacuolas. y aumento en las flores (Alegría Muñoz, 2016).

a. Amonificación. La mineralización, también llamada amonificación, es la asimilación biológica de compuestos orgánicos que contienen nitrógeno (N) a amonio (NH_4^+). Los compuestos orgánicos de alto peso molecular, son hidrolizados en compuestos más simples mediante actividades enzimáticas extracelulares. Después de esta transformación, los aminoácidos se hidrolizan todavía más, lo que resulta en una liberación neta de NH_4^+ (Gardner et al., 1989).

b. Nitrificación: La nitrificación es la conversión biológica de amonio NH_4^+ a (NO_3^-) por la acción de bacterias aerobias obligadas. Mediante la utilización del dióxido de carbono, las bacterias autótrofas acoplan la oxidación del amonio (NH_4^+) a la fosforilación del transporte de electrones con el fin de sintetizar los componentes celulares requeridos. Durante este proceso de oxidación-reducción, el estado de oxidación de nitrógeno aumenta de -3 (NH_4^+) a +3 en la etapa intermedia (NO_2^-), y posteriormente a +5 (NO_3^-). La nitrificación se completa durante dos pasos separados, los cuales se llevan a cabo bajo condiciones aeróbicas. En primer lugar, las bacterias Nitrosomonas oxidan el NH_4^+ a NO_2^- , que después se convierte en (NO_3^-) por bacterias Nitrobacter (Alarcón Herrera et al., 2018). Las ecuaciones siguientes ilustran este proceso:



- c. Desnitrificación:** En este proceso el nitrato (NO_3^-) es reducido hasta nitrógeno atmosférico (N_2), en condiciones anóxicas o respiración anaerobia mediante las bacterias aerobias autótrofos o heterótrofos, siendo la secuencia de reacciones el siguiente:

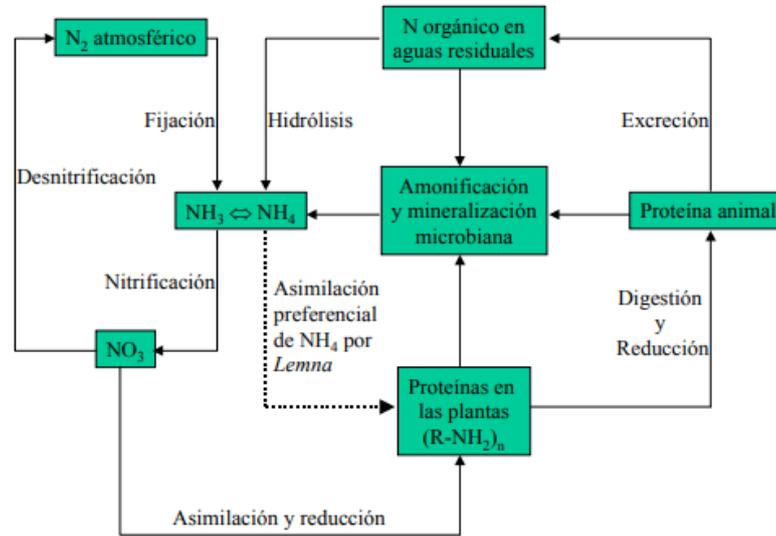


Las enzimas que intervienen en el proceso son: nitrato reductasa, nitrito reductasa, óxido nítrico reductasa y el óxido nitroso reductasa; esta última enzima puede ser inhibida por la presencia de oxígeno, por ello en el tratamiento de aguas residuales debe prevenir que ocurra una desnitrificación incompleta, debido a que puede formarse el contaminante óxido nitroso (Lazcano Carreño, 2016).

- d. Asimilación por las plantas:** Es el proceso de extracción del Nitrógeno por las plantas consiste en asimilar las formas inorgánicas del nitrógeno para formar compuestos orgánicos nitrogenados estructurales de la planta. Dado que el nitrógeno es un macronutriente indispensable para el crecimiento de las plantas; una mayor extracción del nitrógeno se evidencia en mayor tasa de crecimiento de la planta. Las plantas acumulan el nitrógeno principalmente en sus órganos vegetativos verdes (hojas, tallos). Para eliminar ese nitrógeno del sistema acuático se tiene que retirar periódicamente la biomasa producida; de otro modo el nitrógeno se recicla en el sistema acuático debido a la incorporación de los restos de la planta (Fernández Gonzales et al., 2019).

Figura 5 .

Ciclo del nitrógeno en un sistema de tratamiento con Lemna



Nota. Fuente: (Oron, 1990)

2.2.5.3. Procesos de remoción de fósforo

El fósforo puede estar presente en el agua residual en forma de fosfatos, ya sea disueltos o en partículas y los fosfatos se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro- meta- y polifosfatos) y fosfatos en compuestos orgánicos (fósforo orgánico). En ese sentido, la tendencia, en la naturaleza, es a que el fósforo se acumule en sedimentos, cuando no es constituyente de organismos. Así pues, el principal mecanismo de remoción de fósforo de las aguas residuales necesariamente está basado en la acumulación en sedimentos y biomasa (Fernandez Gonzales et al., 2019). Sin embargo, algunas bacterias solubilizan el fósforo insoluble, produciendo ácidos orgánicos (succínico, oxálico, sulfúrico), CO₂ y H₂S (Brack Egg y Mendiola Vargas, 2012).

El fósforo es absorbido predominantemente como anión monovalente fosfato (H₂PO₄⁻) y en menor cantidad como anión divalente (HPO₄⁻²). La presencia de una u otra forma iónica depende del pH. El H₂PO₄⁻ se encuentra en un pH entre 4,5 y 7 y el HPO₄⁻² se encuentra a pH básico. En un pH alcalino la

disponibilidad del fósforo está limitada por la formación de fosfatos de calcio, no aprovechables por las plantas. El fósforo juega un papel importante en el metabolismo energético de la planta, porque hace parte de las moléculas AMP, ADP y ATP. Forma parte de los ácidos nucleicos ADN y ARN y, además, participa en la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de almidón (Alegría Muñoz, 2016).

El fósforo soluble de los minerales de fosfato y otras fuentes, como los fertilizantes, es asimilado por los microorganismos y las plantas para ser incorporados a los ácidos nucleicos (ADN, ARN), componente de adenosina trifosfato (ATP) y fosfolípidos en las membranas celulares; la mineralización de la biomasa por la descomposición microbiana devuelve el fósforo a la forma de ortofosfato, de la que puede precipitar como materia mineral (Manahan, 2011). Para que las plantas puedan absorber el fósforo tiene que estar transformado en fósforo inorgánico soluble (Fernandez Gonzales et al., 2019) en forma de $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} o PO_4^{3-} , la forma iónica disponible ocurre entre pH 2.0 a 8.0 (Prieto Martinez, 2017). Las plantas absorben el fósforo y otras sales minerales a través de sus raíces (Alarcón Herrera et al., 2018).

2.2.6. Agua residual

Se entiende por aguas residuales aquellas aguas que han sido utilizadas con un fin consuntivo, incorporando a ellas sustancias que deterioran su calidad original (contaminación), disminuyendo su potencialidad de uso (Pérez, 2012). Asimismo, Espigares García y Pérez Lopéz (s/f) definen a las aguas residuales como aquellas que por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos. Trapote Jaume (2013) menciona que, en atención a los aspectos cuantitativos y cualitativos, conviene hacer la siguiente clasificación de las aguas residuales:

2.2.6.1. Aguas blancas o pluviales.

Son aguas procedentes de drenajes o de escorrentía superficial. Se caracterizan por grandes aportaciones intermitentes y escasa contaminación. Sus caudales, en una superficie urbanizada, son de 50 a 200 veces superiores a los correspondientes a las medias de los vertidos domésticos, comerciales e industriales. Las cargas contaminantes se incorporan al agua al atravesar la lluvia la atmósfera, o por el lavado de superficies y terrenos (escorrentía superficial).

2.2.6.2. Aguas negras o urbanas.

Son las aguas procedentes de los vertidos de la actividad humana, doméstica, comercial, industrial, agrícola, etc. Sus caudales son menores y más continuos, y su contaminación mucho mayor.

2.2.6.3. Aguas grises.

Son aguas procedentes de las bañeras, duchas y lavabos, con escasa contaminación y que con tratamientos simples pueden reciclarse y reutilizarse fácilmente.

2.2.6.4. Características de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. En la tabla se muestra las principales propiedades (Metcalf y Eddy, 1995).

Tabla 1

Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias

Características	Procedencia
Propiedades físicas:	
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica

Tabla 1*Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias*

Características	Procedencia
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domesticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas
Temperatura	Aguas residuales domesticas e industriales
Constituyentes Químicos:	
Orgánicos:	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales, comerciales
Grasas animales, aceites y grasa	Aguas residuales domésticas, industriales, comerciales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales, comerciales
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales, comerciales
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales, comerciales
Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales, comerciales
Constituyentes Químicos:	
Inorgánicos:	

Tabla 1*Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias*

Características	Procedencia
Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
Metales pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Residuos agrícolas, aguas residuales domésticas,
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales, aguas de escorrentía
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Azufre	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Gases	
Sulfuro de hidrogeno	Descomposición de residuos domésticos
Metano	Descomposición de residuos domésticos
Oxigeno	Agua de suministro, infiltración de agua superficial
Constituyentes biológicos:	
Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Protistas	
Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento

Tabla 1*Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias*

Características	Procedencia
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
Virus	Aguas residuales domesticas

Nota. Fuente:(Metcalf y Eddy, 1995)

2.2.7. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales consta de un conjunto de operaciones físicas, biológicas y químicas, que persiguen eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes antes de su vertido, de forma que los niveles de contaminación que queden en los efluentes tratados cumplan los límites legales existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores (Secretariado de Alianza por el Agua, 2008). De acuerdo con Pérez (2012) el tratamiento de las aguas residuales se puede clasificar de la siguiente manera:

2.2.7.1. Tratamiento preliminar o pretratamiento

Es un proceso que se sitúa en cabecera y tiene como objetivo eliminar, de las aguas residuales, todos aquellos elementos de tamaño considerable que por su acción mecánica pueden afectar al funcionamiento del sistema depurador, así como las arenas y elementos minerales que puedan originar sedimentación a lo largo de las conducciones. Los pretratamientos para aguas residuales domésticas más frecuentes son el desbaste (rejas) y el desarenado.

2.2.7.2. Tratamiento Primario

El principal objetivo del tratamiento primario es remover aquellos contaminantes que pueden sedimentarse, como los sólidos

sedimentables y algunos sólidos suspendidos, o aquellos que pueden flotar como las grasas.

2.2.7.3. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario tiene como objetivo la eliminación de la materia orgánica biodegradable no sedimentable (materia orgánica finamente dividida y disuelta en el agua residual), junto a otros varios contaminantes. Básicamente, consiste en provocar el crecimiento de microorganismos que asimilan la materia orgánica, los cuales se reproducen y originan nuevos microorganismos insolubles que después son separados del flujo tratado como un fango destinado a una digestión definitiva o a la reutilización como enmienda del terreno.

2.2.7.4. Tratamientos Terciarios

Cuando los efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo secundario no cumplen con ciertos niveles de calidad se hace entonces necesario un tratamiento terciario o avanzado. Los objetivos del tratamiento terciario son eliminar la carga orgánica remanente de un tratamiento secundario, desinfectarla para eliminar microorganismos patógenos, eliminar color y olor indeseables, remover detergentes, fosfatos y nitratos residuales, que ocasionan espuma y eutrofización respectivamente.

2.3. Conceptual

2.3.1. Materia orgánica

Es una de las características fundamentales de las aguas residuales por su impacto en el medio y el uso posterior de las aguas. Las medidas más habituales de materia orgánica son la Demanda Bioquímica de Oxígeno

a los cinco días (DBO5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Fernandez Gonzales et al., 2019).

2.3.2. Nutrientes del agua residual

Nutrientes como el nitrógeno, presente en forma orgánica e inorgánica, como amoniacal, nitrito y nitratos, y el fósforo, también presente en forma orgánica e inorgánica, principalmente como fósforo soluble (ortofosfatos). Los valores normales de nitrógeno total suelen oscilar entre 20 y 85 mg/l y los valores normales de fósforo total varían entre 4 y 15 mg/l (Beascochea et al., 2004).

Tabla 2
Valores de nutrientes del agua residual

Nutriente	Valores	Unidad
Nitrógeno Total		
Orgánico	1-5	mg/l
Amoniacal	12-50	mg/l
Nitratos	0-10	mg/l
Fósforo Total		
Orgánico	1-5	mg/l
Inorgánico	3-10	mg/l

Nota. Fuente: (Beascochea et al., 2004)

2.3.3. Parámetros de Control

2.3.3.1. Nitrógeno

Es un elemento esencial para el crecimiento de protistas y plantas motivo por la cual recibe el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Está compuesto por nitrógeno orgánico, amoniacal, nitrito y nitrato (Metcalf y Eddy, 1995).

2.3.3.2. Fósforo

Es un nutriente esencial en el metabolismo de las plantas y su presencia en aguas residuales es una de las causas de la eutrofización; el fósforo en el agua residual se encuentra comúnmente en forma soluble formando ortofosfatos (P-PO₄); otras formas orgánicas se pueden presentar en materiales orgánicos disueltos o lodos de residuos domésticos; el fósforo total está compuesto por la fracción disuelta y la fracción particulada asociada a sólidos en suspensión (Lazcano Carreño, 2016).

2.3.3.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Es uno de los parámetros más empleados para el análisis de la contaminación orgánica del agua residual como superficial. La determinación del mismo está relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (Metcalf y Eddy, 1995).

2.3.3.4. Demanda Química de Oxígeno

Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica químicamente, mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇), en un medio ácido y a alta temperatura; para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata; compuestos orgánicos que interfieren con el ensayo, como los cloruros, pueden causar resultados erróneos de DQO, lo que se elimina agregando sulfato mercuríco (Romero Rojas, 2016).

2.3.3.5. Temperatura

Generalmente la temperatura del agua residual es mayor que la del agua de suministro, debido a la gran variedad de aguas generadas en los domicilios e industrias. Las temperaturas de las aguas residuales son mayores a la del aire durante mayor parte del año

esto debido a que calor específico de agua es mucho mayor que el del aire (Metcalf y Eddy, 1995).

2.3.3.6. pH

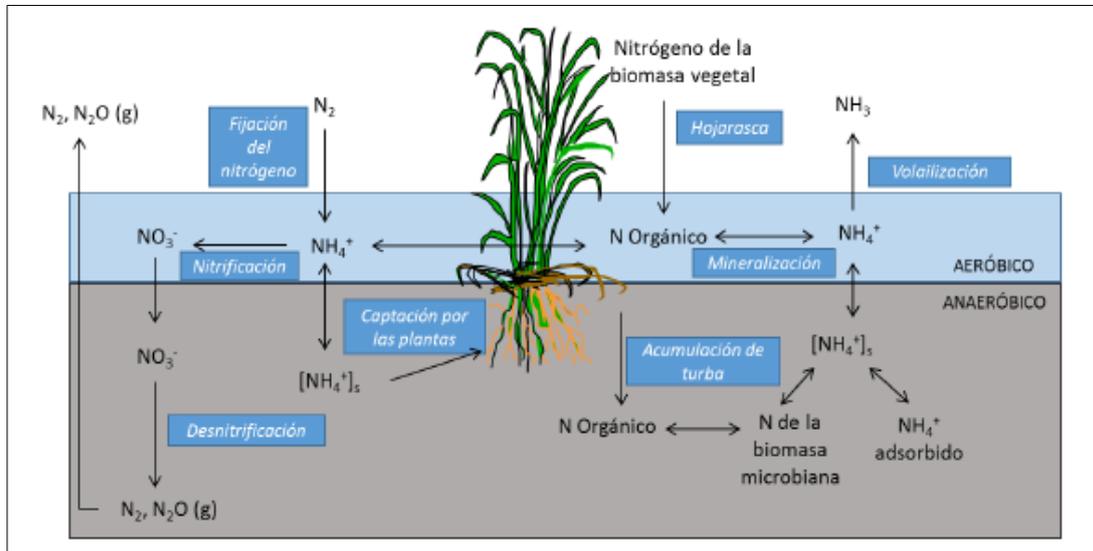
La concentración de ion hidrogeno es un parámetro de gran importancia en el análisis de aguas naturales como residuales. Cuando el agua residual tiene concentraciones inadecuadas del ion hidrogeno su tratamiento es más complicado (Metcalf y Eddy, 1995)

2.3.4. Ciclo del nitrógeno

Menos del 5% del nitrógeno se encuentra en forma inorgánica, lo que nos indica que el nitrógeno se almacena en mayor cantidad en forma orgánica (Figura 6). Siendo la biomasa microbiana de las macrófitas, algas acuáticas, materia orgánica recalcitrante del suelo y detritus la mayor reserva de nitrógeno orgánico. Las formas del nitrógeno inorgánico, incluyen el nitrógeno amoniacal (NH_4^+), el nitrato (NO_3^-) y el nitrito (NO_2^-); aunque generalmente, el nitrato y el nitrito, se encuentran en cantidades traza en los sistemas de humedales. Las formas gaseosas del nitrógeno, incluyen el amoniaco (NH_3), el nitrógeno gas (N_2) y el óxido nitroso (N_2O) (Alarcón-Herrera et al., 2018).

Figura 6

Diagrama de las vías y procesos del ciclo del nitrógeno

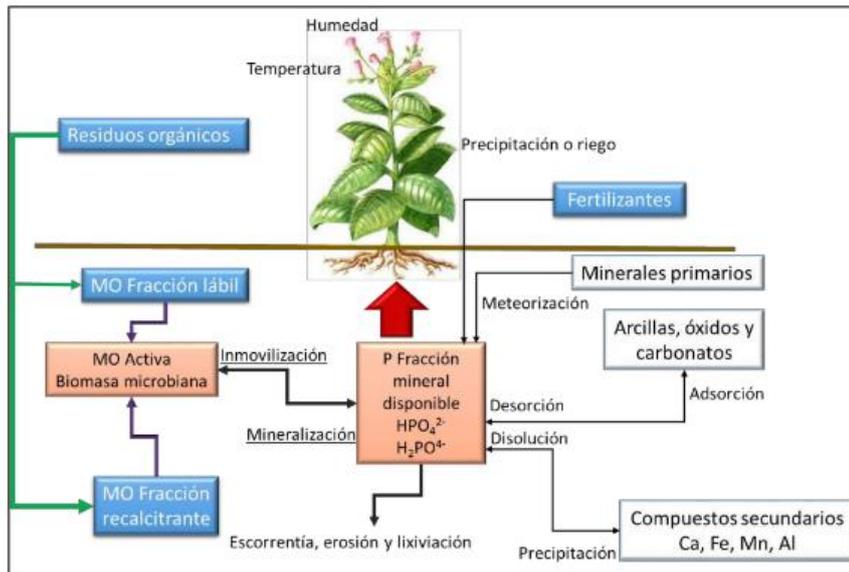


Nota. Fuente: Alarcón-Herrera et al.(2018)

2.3.5. Ciclo del fósforo

Las raíces de las plantas son una parte importante dado que absorben el fósforo y otras sales minerales (Figura 7). El fósforo pasa por varias cadenas alimentarias y vuelve generalmente al suelo o al agua, a través de la acción de los desintegradores. La alimentación de los animales les permite obtener el fósforo presente en las plantas. Cuando un animal muere estos mediante la descomposición bacteriana liberan el fósforo en forma de orto fosfatos (H_3PO_4) que son utilizados directamente por los vegetales verdes, formando fosfato orgánico o conocido como biomasa vegetal; pero cuando llueve se puede transportar este fosfato a los mantos acuíferos o a los océanos (Alarcón-Herrera et al., 2018).

Figura 7
Ciclo del fósforo



Nota. Fuente: Alarcón-Herrera et al. (2018)

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Agua residual

Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento., 2018).

2.4.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final, o su aprovechamiento (MINAM, 2009).

2.4.3. Macrófitas

Las macrófitas son plantas acondicionadas a medios húmedos o acuáticos, básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres (Lacuesta y Cristobal, 2013).

2.4.4. Nutrientes en el agua residual

Los nutrientes como el nitrógeno, el fósforo, el carbono, el azufre, el calcio, entre otros, son sustancias esenciales para los organismos. En los cuerpos de agua, estos se consideran contaminantes cuando sus concentraciones son suficientes para permitir un crecimiento excesivo de plantas acuáticas, particularmente algas (Masters y Ela, 2008).

2.4.5. Tratamiento secundario

El objetivo del tratamiento es la inclusión de procesos biológicos donde las reacciones bioquímicas que generan los microorganismos permiten reducir considerablemente la materia orgánica. Estos procesos eliminan gran parte de coloides y sustancias disueltas no sedimentables. El tratamiento secundario puede llegar a remover un 90% de la DBO y un 90% de sólidos suspendidos (Masters y Ela, 2008).

2.4.6. Tasa Relativa de Crecimiento (TRC)

Definida como la ganancia de biomasa en el tiempo, es una de las principales variables para el análisis del crecimiento en plantas (Alameda y Villar, 2009).

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

La asociación de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* es eficiente en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

3.1.2. Hipótesis específicas

H.1 Las concentraciones de materia orgánica y nutrientes de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia superan los valores establecidos en los Límites Máximos Permisibles (LMP) del D.S N°003- 2010-MINAM y la Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales.

H.2 Las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* tienen una alta eficiencia en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

H.3 La tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* tiene una influencia significativa y directa en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

3.2. Definición conceptual de variables

Dado que el objetivo de la presente investigación es evaluar la eficiencia de la asociación de las macrófitas *Lemna gibba* y *Lemna minor* en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas, provenientes del tratamiento primario, se definió como variable independiente a las macrófitas, ya que se evaluará dos especies *Lemna gibba* y *Lemna Minor* de forma aislada y su asociación, con el fin de determinar diferencias en la eficiencia de la remoción de los contaminantes presentes en el agua residual doméstica y las diferencias en la tasa relativa crecimiento de las macrófitas.

Tabla 3*Definición conceptual y operacional de la variable*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL
V1 independiente: Macrófitas flotantes	La Lemna es género de macrófitas acuáticas monocotiledóneas de flotación libre de la familia Lemnaceae., conocidas comúnmente como lenteja de agua (Mkandawire & Dudel, 2007). Asimismo, su crecimiento está determinado por la disponibilidad de nutrientes (Sierra Cuello et al., 2016).	Se efectuará la medición del crecimiento para cada especie de manera individual y asociadas.
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL
V2 dependiente: Remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas	Eliminación de nitrógeno y fósforo y materia orgánica de forma directa e indirecta por la absorción y metabolismo de la planta.	Se efectuará la medición de remoción de nitrógeno, fósforo mediante la diferencia de su concentración final e inicial. De igual manera, la medición de remoción de materia orgánica mediante la diferencia de la concentración final e inicial de la DBO y DQO

Nota. Fuente. Elaboración propia

3.2.1. Operacionalización de variables

Tabla 4

Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UND.	TÉCNICA	INSTRUMENTO	MÉTODO
V1 independiente: Macrófitas flotantes	D.1 <i>Lemna minor</i>	Tasa de relativa de crecimiento	d ¹	Observación experimental	Ficha de registro de datos	Hipotético-Deductivo
	D.2 <i>Lemna gibba</i>	Tasa de relativa de crecimiento	d ¹			
	D.3 <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i>	Tasa de relativa de crecimiento	d ¹			
VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UND.	TÉCNICA	INSTRUMENTO	MÉTODO
V2 dependiente: Remoción de nutrientes y materia orgánica de las	D.1 Nutrientes	Porcentaje de remoción de nitrógeno total Porcentaje de remoción de fósforo total	%			

aguas residuales
domésticas

Porcentaje de remoción de DQO

Observación experimental

Ficha de registro
de datos

D.2. Materia
orgánica

Porcentaje de remoción de DBO

Nota. Fuente: Elaboración propia

IV. DISEÑO METODOLOGIA

4.1. Tipo y Diseño de investigación

4.1.1. Tipo

El estudio es de tipo aplicada dado que la presente investigación se basó en estudios preliminares sobre la eficiencia de remoción de nutrientes y materia orgánica usando macrófitas flotantes de manera aislada (*Lemna minor* y *Lemna gibba*), las cuales resultaron ser eficientes para dichos contaminantes. En base a ello, se buscó la obtención de nuevos resultados mediante la combinación de ambas especies para obtener eficiencias de remoción más altas, con la finalidad de generar nuevas tecnologías de tratamientos alternativos que sean efectivos, duraderos y rentables para el tratamiento de las aguas residuales. Todo ello basado en la definición de Hernandez et al. (2010), el cual menciona que un estudio es de tipo aplicada dado que tiene de base a investigaciones preliminares y mediante éstas buscan una aplicación práctica para obtener nuevos resultados.

4.1.2. Diseño

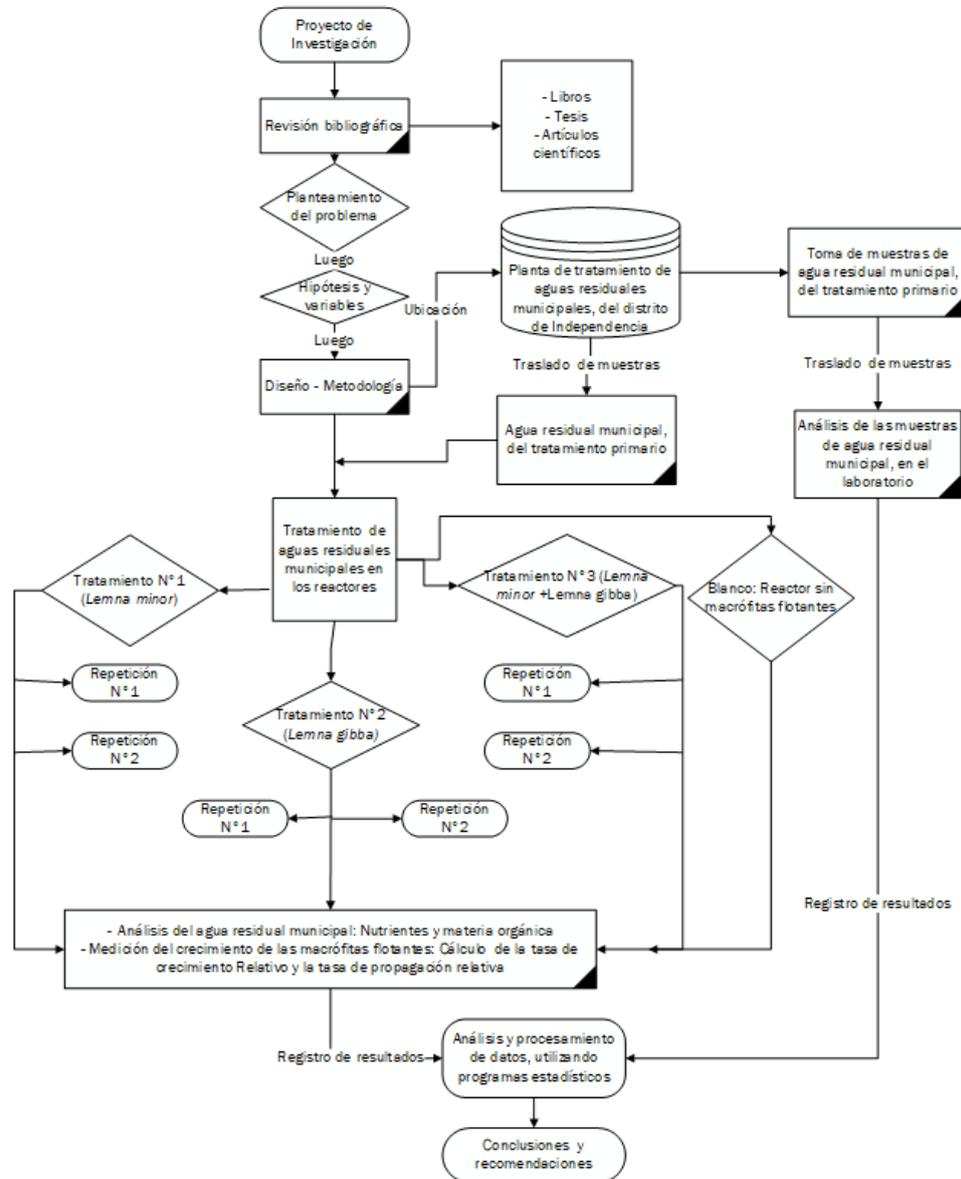
La presente investigación es EXPERIMENTAL, porque se va a “elegir o realizar una acción”, interviniendo en la variable independiente y después recoger la información de las consecuencias del experimento para analizar el efecto (Hernández Sampieri et al., 2018).

4.1.2.1 Planteamiento de la investigación experimental

El planteamiento de la investigación se realizó siguiendo el siguiente diagrama de bloques, tal como se observa en la figura 8, donde se muestra el cumplimiento de objetivos por cada etapa de la experimentación.

Figura 8

Diagrama de bloques de las experiencias que se realizarán en la investigación



Nota. Se describen las experiencias que se realizarán durante el periodo que dure la presente investigación. Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2.2 Diseño de la investigación experimental

La presente investigación se desarrolló a escala piloto en reactores, a fin de analizar el comportamiento del sistema con especies macrofitas acuáticas, así como el de diferenciar la eficiencia del

sistema con la que se obtiene por la sedimentación y oxidación natural.

a. Acondicionamiento de las especies macrófitas

Las especies macrófitas (*Lemna gibba* y *Lemna minor*) fueron traídas de un vivero situado en la ciudad del Cusco. Posteriormente, fueron acondicionadas durante un tiempo de 5 días en envases descartables con agua potable.

Figura 9

Acondicionamiento de especies macrófitas



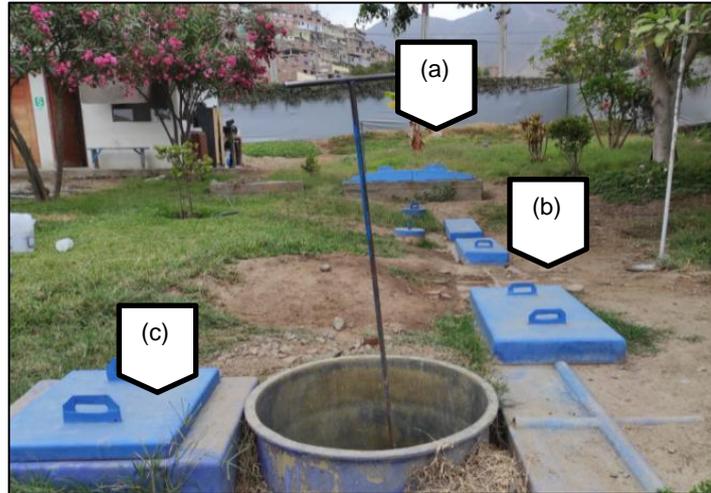
Nota. Fila superior, *Lemna minor*; Fila inferior, *Lemna gibba*. Fuente: Elaboración propia

b. Toma de muestra de agua residual

La muestra de agua residual se extrajo del tanque ecualizador (2da etapa del tratamiento primario), el cual se ubica posterior al sistema de rejas (pretratamiento) y sedimentador (1ra etapa del tratamiento primario) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipal del distrito de Independencia. El muestreo del agua residual se realizó de acuerdo con el “Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales-PTAR”, según Resolución Ministerial N°273-2013-VIVIENDA.

Figura 10

Toma de muestra de agua residual



Nota: a) sistema de captación de agua residual, b) sistema de rejillas, c) sedimentador. Fuente: elaboración propia

Figura 11

Tanque ecualizador



Nota: Toma de muestra del tanque ecualizador. Fuente: elaboración propia

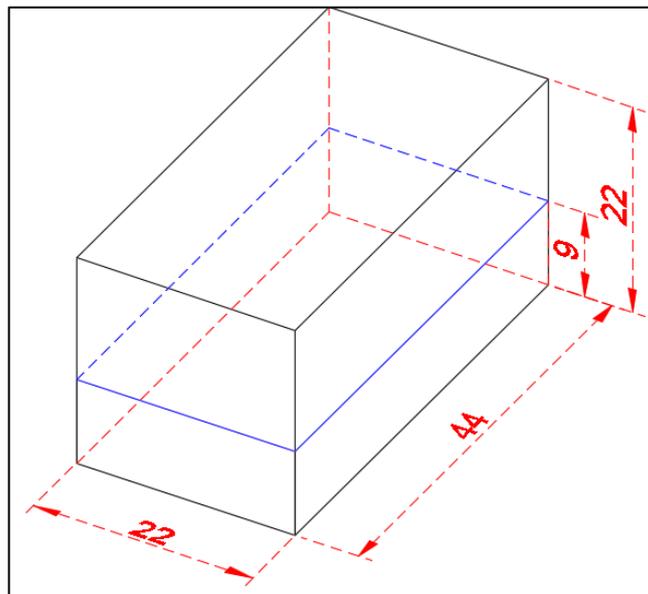
c. Descripción de los reactores de cultivo

Se utilizaron reactores de vidrio de dimensiones de 44 cm de largo, 22 cm de ancho y 22 cm de profundidad, tal como se observa en figura N°12.

Asimismo, contaban con un área superficial de 968 cm³ y un volumen de 21.30 litros. De este último, solo se usó un volumen de 9 litros (9 cm de altura de agua). En total se utilizaron 7 reactores, los cuales se codificaron de la siguiente manera: R1Lm, R2Lm, R1Lg, R2Lg, R1Lm-Lg, R2Lm-Lg, RC.

Figura 12

Medidas del reactor



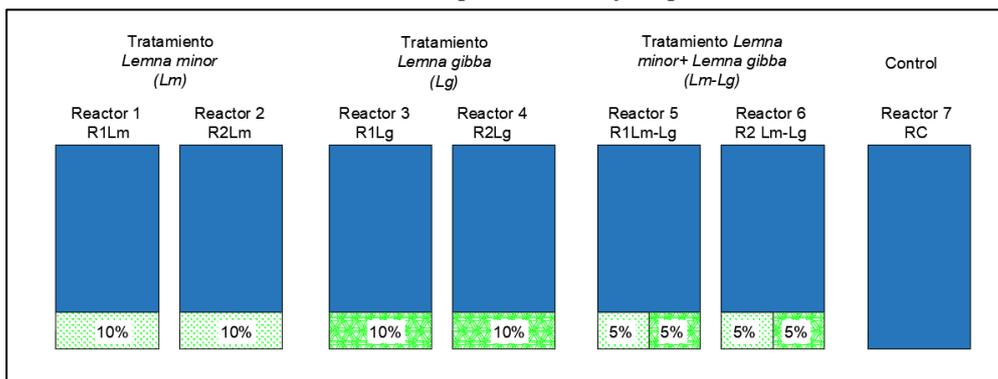
Nota. Fuente elaboración propia

d. Inoculación de las especies macrófitas en los reactores

Antes de la inoculación de las especies en los reactores, se procedió al lavado de sus raíces y frondas con agua destilada, a fin de eliminar microorganismos que pudieran estar adheridas a dichas partes. La cantidad de macrófitas inoculadas en los reactores ocuparon aproximadamente el 10% del área total del reactor, tal como se observa en la figura N°13.

Figura 13

Área inicial inculada con cada especie macrófita para cada tratamiento



Nota: Vista de planta de los reactores. Fuente. Elaboración propia

Una vez implementados, se realizaron las experimentaciones durante un periodo de tiempo de 17 días, en la cual se tomaron muestras en el día 4,7,11 y 17 para el análisis de los parámetros. De igual forma, se realizó el conteo del número de frondas y la medición del área abarcada por las especies macrófitas por cada tratamiento.

e. Pruebas realizadas

Los análisis que se realizaron fueron el de Nitrato, Ion amonio, Nitrógeno total, Fósforo total, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO); asimismo, los parámetros de campo como el Potencial Hidrógeno, Conductividad, Oxígeno Disuelto y Turbiedad.

Tabla 5

Método de ensayo para parametros fisicoquimicos

Parámetro	Unidades	Método
Conductividad	uS/cm	EW_APHA2510B
pH	-	EW_APHA4500B
Temperatura	°C	EW_APHA4500B
Oxígeno disuelto	O ₂ /L	EW_APHA5013B
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5210B
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5220D
Nitrógeno total	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500-N C
Nitrato	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500MO3-E
Ion amonio	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500-NH3 D
Fósforo total	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500-P B

Tabla 5*Método de ensayo para parámetros fisicoquímicos*

Parámetro	Unidades	Método
-----------	----------	--------

Nota. Fuente. Elaboración propia

4.2. Método de la investigación

El método que se usó fue el hipotético-deductivo. En este método, las hipótesis son puntos de partida para nuevas deducciones. Se partió de una hipótesis inferida de principios o leyes o sugerida por los datos empíricos, y aplicando las reglas de la deducción, se arriba a predicciones que se someten a verificación empírica, y si hay correspondencia con los hechos, se comprueba la veracidad o no de la hipótesis de partida (Jiménez y Jacinto, 2017).

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Aguas residuales domésticas de las instalaciones de la PTAR municipal del distrito de Independencia, Lima.

4.3.2. Muestra

Las muestras obtenidas de la población fueron de un corte no probabilístico, donde el modo de muestreo dependió de los criterios del investigador y la naturaleza de la investigación. Por lo tanto, de acuerdo con las exigencias del laboratorio, para el muestreo inicial (caracterización inicial) se recolectó 2 litros de agua residual, las cuales fueron enviadas al laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L, ubicado en el distrito de Bellavista, Callao. Asimismo, para la parte experimental, se recolectó 63 litros adicionales que fueron distribuidos de forma equitativa en los 7 reactores.

4.4. Lugar de estudio

El lugar en donde se desarrolló el estudio fue en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao.

4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de información

4.5.1. Técnicas

Para la presente investigación, la técnica que se aplicó fue la recolección de datos, a través de observaciones experimentales, los cuales tuvieron como resultado los análisis fisicoquímicos para definir la concentración inicial de nutrientes y materia orgánica del agua residual. Asimismo, se analizó la concentración final de nutrientes y materia orgánica después del tratamiento aplicado, mediante el uso de reactores.

4.5.2. Instrumentos

Para la recolección de data se utilizó los instrumentos mostrados en la tabla 6:

Tabla 6

Instrumentos

ETAPA	TÉCNICA	INSTRUMENTO	RESULTADOS
Caracterización inicial del agua residual de la PTAR	Observación experimental	Ficha de registro de datos	Parámetros físico-químicos del agua residual
Proceso de Experimentación-agua residual en reactores	Observación experimental	Ficha de registro de datos	Concentración de nutrientes y materia orgánica
Proceso de Experimentación-Control de especie	Observación experimental	Ficha de registro de datos	Conteo de frondas y cobertura vegetal

Nota. Fuente: Elaboración propia

En el anexo 2, se adjuntan las fichas de validación del instrumento, las cuales fueron realizados por 3 expertos.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

4.6.1. Análisis del cumplimiento normativo

Las concentraciones iniciales y finales del Nitrógeno Total, Fósforo Total de cada tratamiento se compararon con la Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales. Del mismo modo, las concentraciones iniciales y finales de DBO₅ y DQO, se compararon con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de la normativa. D.S N°003- 2010-MINAM, a fin determinar la calidad del efluente tratado.

4.6.2. Análisis de la eficiencia de remoción

La eficiencia de remoción, el cual es una forma de calcular el rendimiento de las especies, se calculó entre la relación de la diferencia de la concentración final e inicial entre la concentración inicial. La relación fue expresada en porcentaje:

$$\%Remoción = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100$$

Dónde: C_f: Concentración final; C_o: Concentración inicial.

4.6.3. Análisis de crecimiento mediante la Tasa Relativa de Crecimiento según especie.

El seguimiento del crecimiento de las especies se controló mediante el conteo del número de frondas, ya que se determinó la tasa relativa de crecimiento (TRC) de las especies, el cual se calculó sobre la base de un modelo de regresión lineal que sigue la siguiente expresión matemática:

$$LnN_t = LnN_o + TRC * t$$

Dónde: N_t : Número de frondas al tiempo t ; N_0 : Número de frondas al inicio;
TRC: Tasa relativa de crecimiento (d^{-1}); t : Tiempo en días.

4.6.4. Procesamiento estadístico

El programa que se usará en el análisis estadístico de los datos obtenidos será el SPSS. Para el caso del análisis de los datos de eficiencias de remoción, los métodos estadísticos usados fueron la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, debido a que se contaba con menos de 50 datos por cada tratamiento analizado. De haberse hallado distribución normal de acuerdo con cada tratamiento entonces se empleó la prueba de ANOVA. De haberse hallado al menos una distribución no normal en un tratamiento, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis. Posteriormente, se consideró la utilización de una prueba Post-Hoc en caso de encontrarse al menos un tratamiento diferente en cuanto a la remoción del indicador evaluado.

Para el caso de los datos de la tasa relativa de crecimiento, se empleó la técnica de regresión lineal simple para cada tratamiento empleado. Esta técnica requiere del cumplimiento de varios requisitos para mejorar su validez. Los requisitos utilizados fueron, en primer lugar, el coeficiente R de Pearson (para determinar la intensidad de la correlación); el coeficiente R^2 (para determinar la predictividad o el tamaño del efecto de la regresión lineal); el coeficiente Durbin-Watson (para determinar la existencia de autocorrelación de los residuos); la prueba de Shapiro-Wilk (para determinar si existe distribución normal de los residuos); la prueba de ANOVA (para determinar si existen varianzas adecuadas para la realización de la regresión lineal); y la prueba de T de Student (para determinar la existe de influencia significativa de cada tratamiento en la remoción analizada).

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos.

5.1.1. Resultados de las características físico-químicos del agua residual doméstica

Las aguas residuales domesticas fueron recolectadas y envasadas de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de Independencia, cumpliendo con los protocolos establecidos para su muestreo y enviadas al laboratorio Analytical Laboratory EIRL para el análisis, esta agua residual domestica pose las siguientes concentraciones.

Tabla 7

Concentración físico-química de las aguas residuales domésticas

Parámetro	Unidad	Valor	Marco Legal	Valor	Porcentaje que supera la Normativa
pH	unidad de pH	6.92	...	...	...
Turbidez	NTU	50.5	...	...	...
Conductividad	µS/cm	1529	...	...	...
DBO ₅	mg/L	165	DS-003-2010 -	100	65%
DQO	mg/L	383.9	MINAM	200	92%
Nitrógeno Total	mg/L	56	Directiva	15	273%
Fósforo Total	mg/L	8.05	91/271/CEE	2	303%
Ion Amonio	mg/L	94.7	...	...	...
Nitrato	mg/L	1.022	...	...	...

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Variación de las concentraciones de los parámetros físico-químicos del tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Los resultados representan los valores que se fueron midiendo durante la duración del tratamiento y la eficiencia del tratamiento

5.1.2.1. Concentraciones del Potencial de Hidrógeno en los tratamientos de las aguas residuales domésticas.

Tabla 8

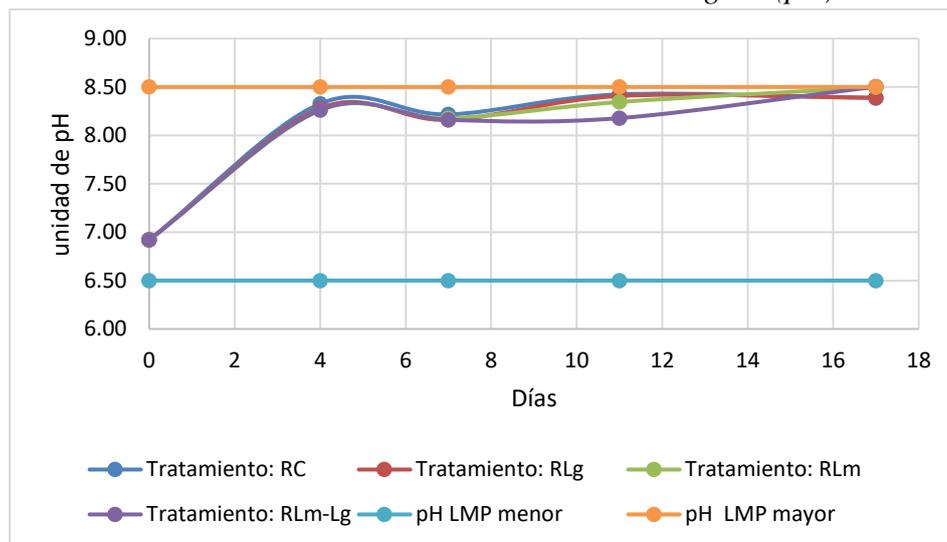
Variación de las concentraciones del Potencial Hidrogeno en unidad de pH

TRATAMIENTO	Días				
	0	4	7	11	17
Reactor con <i>Lemna minor</i> (RLm)	6.92	8.26	8.18	8.35	8.50
Reactor con <i>Lemna gibba</i> (RLg)	6.92	8.28	8.16	8.41	8.39
Reactor con <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> (RLm-Lg)	6.92	8.26	8.16	8.18	8.50
Reactor de control (RC)	6.92	8.33	8.22	8.42	8.39
pH LMP menor	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
pH LMP mayor	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Variación de las concentraciones del Potencial Hidrógeno (pH)



Fuente: Elaboración propia

5.1.2.2. Concentraciones de la Turbidez en los tratamientos de las aguas residuales domésticas.

Tabla 9

Variación de las concentraciones de turbidez en unidades de (NTU) en los tratamientos

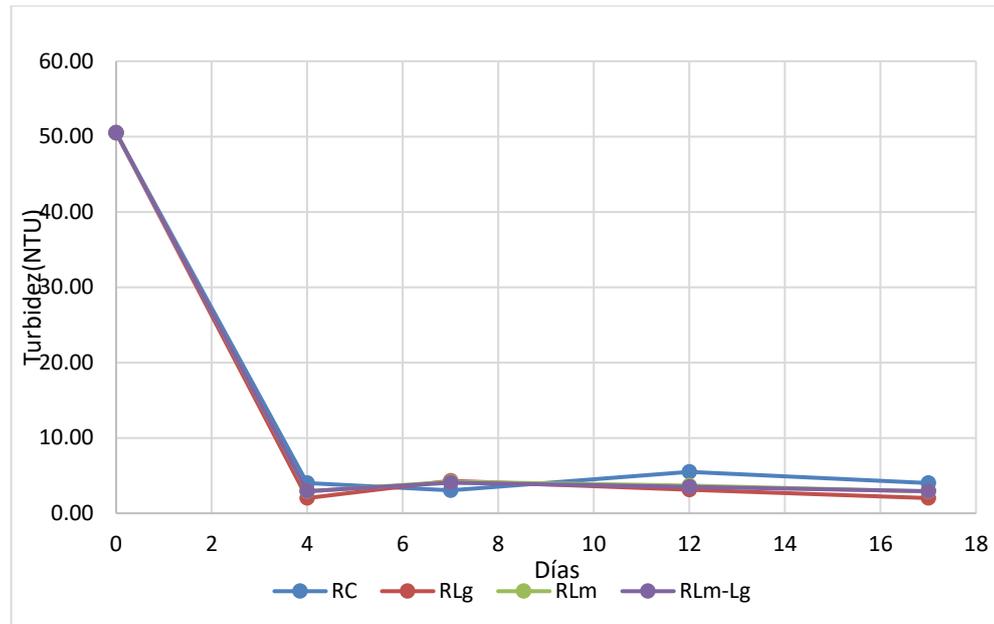
TRATAMIENTO	Días				
	0	4	7	12	17
Reactor con <i>Lemna minor</i> (RLm)	50.50	2.89	4.16	3.68	2.89

Reactor con <i>Lemna gibba</i> (RLg)	50.50	2.02	4.29	3.13	2.02
Reactor con <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> (RLm-Lg)	50.50	2.93	4.04	3.49	2.93
Reactor de control (RC)	50.50	4.03	3.05	5.50	4.03

Fuente: Elaboración propia

Figura 15

Variación de las concentraciones de la Turbidez (NTU)



Fuente: Elaboración propia

5.1.2.3. Concentraciones de la Conductividad en los tratamientos de las aguas residuales domésticas.

Tabla 10

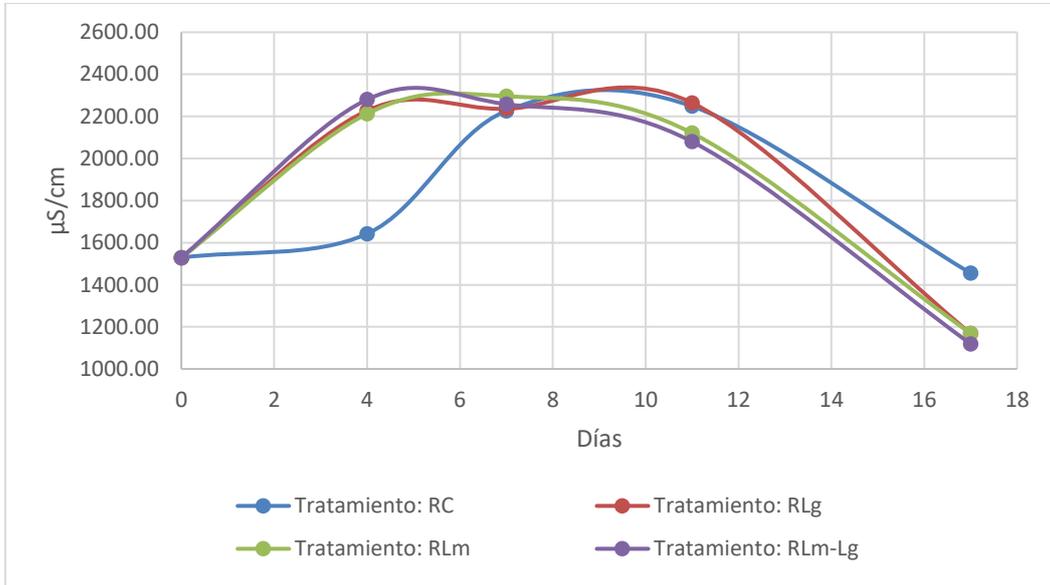
Variación de las concentraciones de la conductividad en unidades de ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en los tratamientos.

TRATAMIENTO	Días				
	0	4	7	11	17
Reactor con <i>Lemna minor</i> (RLm)	1529.00	2212.50	2295.83	2120.83	1168.17
Reactor con <i>Lemna gibba</i> (RLg)	1529.00	2227.33	2236.17	2264.33	1168.17
Reactor con <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> (RLm-Lg)	1529.00	2280.17	2258.17	2080.17	1119.00
Reactor de control (RC)	1529.00	1642.33	2226.33	2248.33	1455.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Variación de las concentraciones de la conductividad en unidades de ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en los tratamientos.



Fuente: Elaboración propia

5.1.2.4. Concentraciones de la Demanda Bioquímica del Oxígeno en los tratamientos de las aguas residuales domésticas

Tabla 11

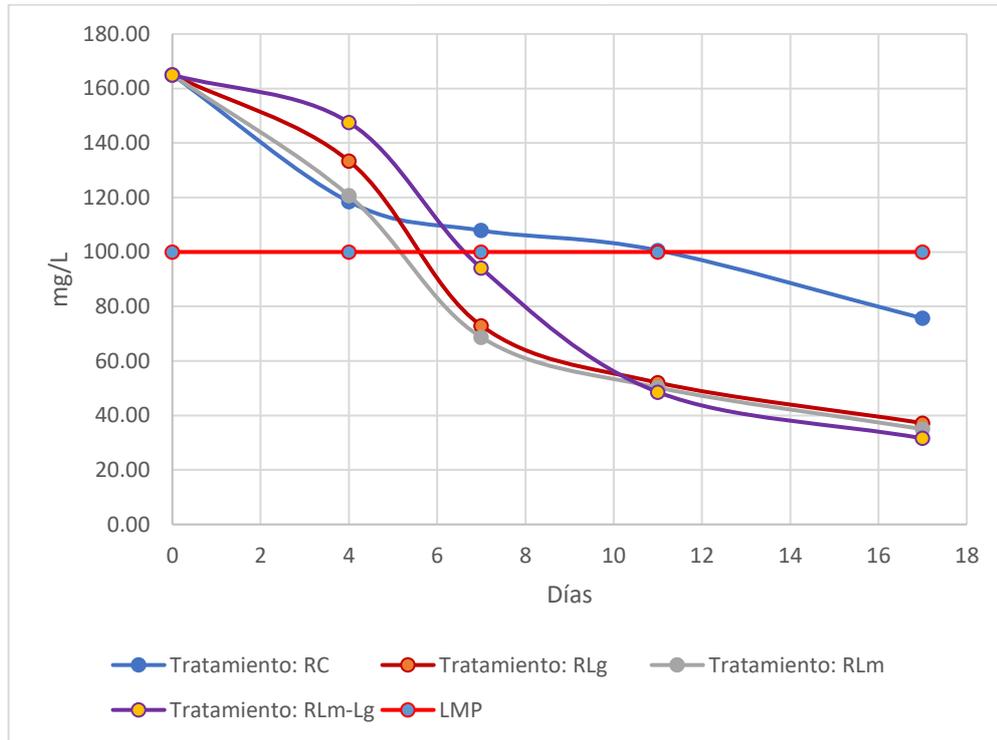
Variación de las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) en los tratamientos.

TRATAMIENTO	Días				
	0	4	7	11	17
Reactor con <i>Lemna minor</i> (RLm)	165.00	120.69	68.70	50.26	35.00
Reactor con <i>Lemna gibba</i> (RLg)	165.00	133.41	72.93	52.06	37.21
Reactor con <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> (RLm-Lg)	165.00	147.54	94.06	48.58	31.60
Reactor de control (RC)	165.00	118.49	107.88	100.58	88.95
Límites Máximo Permisible (LMP)	100.00	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 17

Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)



Fuente: Elaboración propia

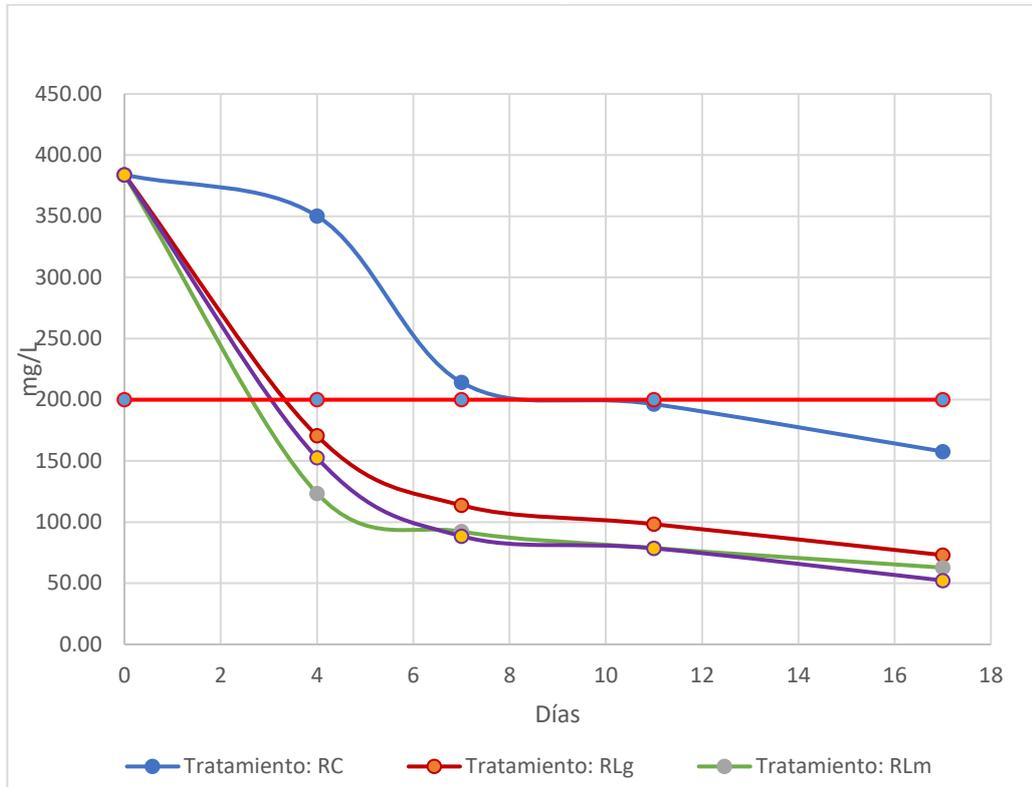
5.1.2.5. Concentraciones de la Demanda Química del Oxígeno en los tratamientos de las aguas residuales domésticas

Tabla 12

Variación de las concentraciones de la Demanda Química de Oxígeno (mg/L) en los tratamientos

TRATAMIENTOS	Días				
	0	4	7	11	17
Reactor con <i>Lemna minor</i> (RLm)	383.90	123.50	92.25	78.75	62.75
Reactor con <i>Lemna gibba</i> (RLg)	383.90	170.50	113.75	98.27	73.00
Reactor con <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> (RLm-Lg)	383.90	152.50	88.50	78.55	52.25
Reactor de control (RC)	383.90	350.20	214.24	196.40	157.69
Límites Máximo Permisible (LMP)	200.00	200	200	200	200

Fuente: Elaboración propia

Figura 18*Variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)**Fuente: Elaboración propia*

5.1.2.6. Concentraciones del Nitrógeno Total en los tratamientos de las aguas residuales domésticas.

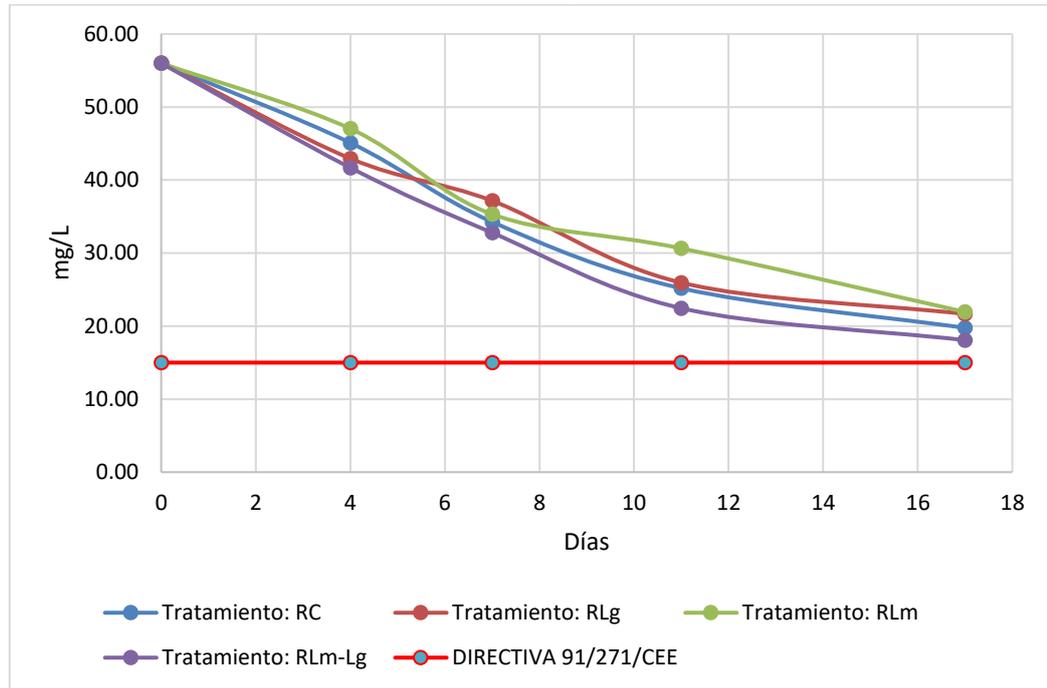
Tabla 13*Variación de las concentraciones de Nitrógeno Total en unidades de (mg/L) en los tratamientos*

TRATAMIENTO	Días				
	0	4	7	11	17
Reactor con <i>Lemna minor</i> (RLm)	56.00	47.04	35.32	30.64	21.94
Reactor con <i>Lemna gibba</i> (RLg)	56.00	42.95	37.16	25.95	21.67
Reactor con <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> (RLm-Lg)	56.00	41.68	32.79	22.45	18.08
Reactor de control (RC)	56.00	45.10	34.27	25.18	19.76
DIRECTIVA 91/271/CEE	15	15	15	15	15

Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Variación de las concentraciones del Nitrógeno total (N)



Fuente: Elaboración propia

5.1.2.7. Concentraciones del Fósforo Total en los tratamientos de las aguas residuales domésticas

Tabla 14

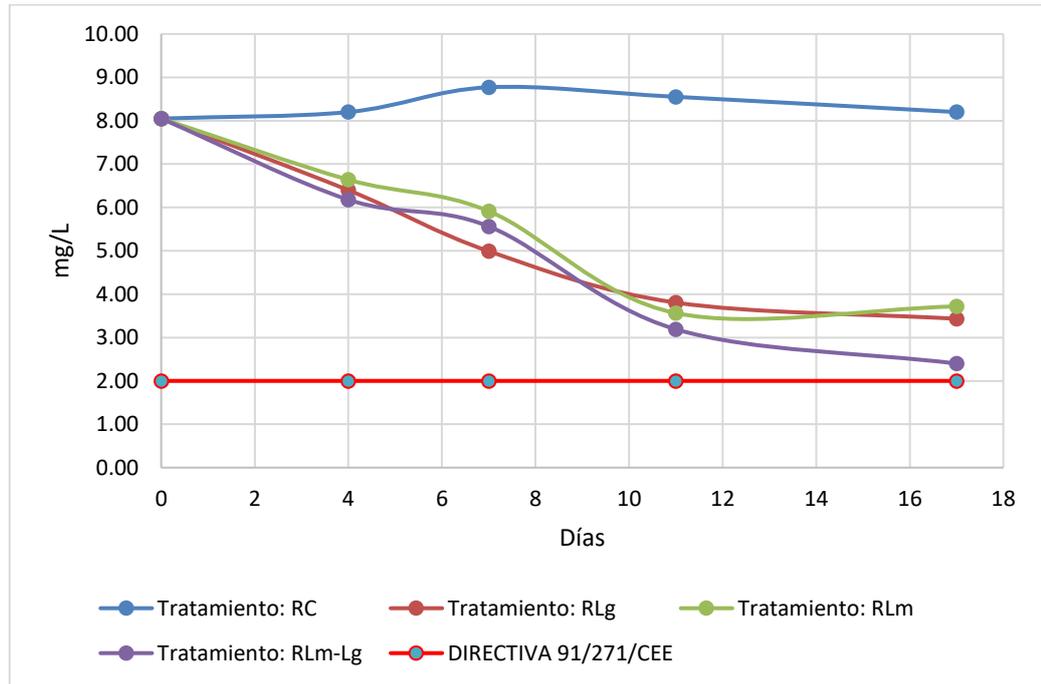
Variación de las concentraciones de Fosforo en unidades de (mg/L) en los tratamientos

TRATAMIENTO	Días				
	0	4	7	11	17
Reactor con <i>Lemna minor</i> (RLm)	8.05	6.64	5.91	3.56	3.72
Reactor con <i>Lemna gibba</i> (RLg)	8.05	6.40	4.99	3.81	3.43
Reactor con <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> (RLm-Lg)	8.05	6.18	5.56	3.19	2.40
Reactor de control (RC)	8.05	8.20	8.77	8.55	8.20
DIRECTIVA 91/271/CEE	2	2	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Figura 20

Variación de las concentraciones del fosforo (P)



Fuente: Elaboración propia

5.1.2.8. Concentraciones del Ion Amonio en los tratamientos de las aguas residuales domésticas

Tabla 15

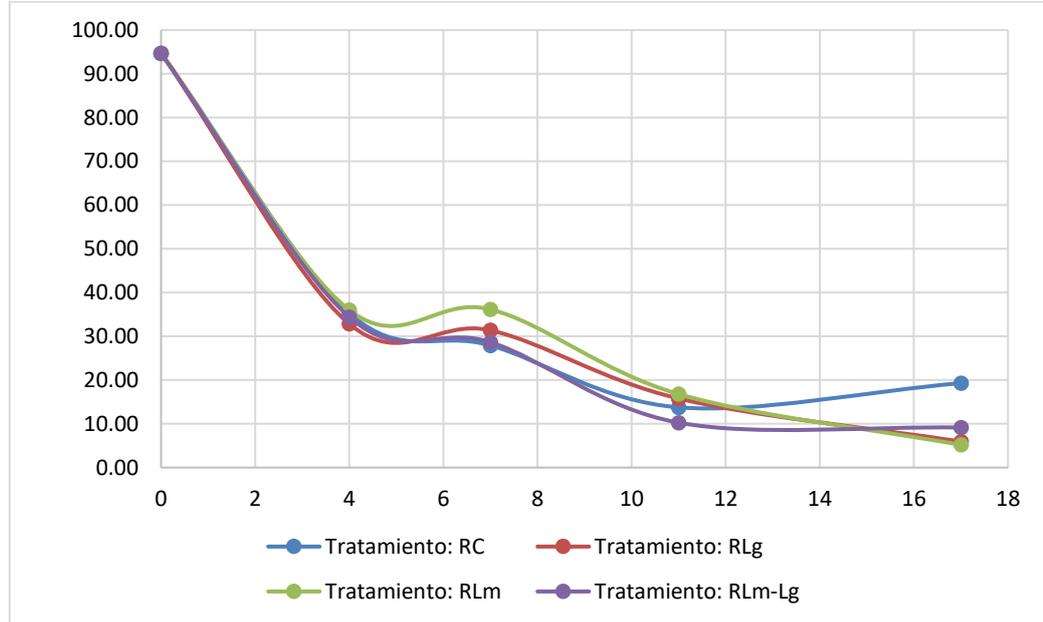
Variación de las concentraciones del Ion amonio en unidad de (mg/L) en los tratamientos.

TRATAMIENTO	Días				
	0	4	7	11	17
Reactor con <i>Lemna minor</i> (RLm)	94.70	36.02	36.17	16.80	5.18
Reactor con <i>Lemna gibba</i> (RLg)	94.70	32.85	31.38	15.79	5.94
Reactor con <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> (RLm-Lg)	94.70	34.41	28.67	10.27	9.14
Reactor de control (RC)	94.70	35.29	27.93	13.76	19.30

Fuente: Elaboración propia

Figura 21

Variación de las concentraciones del Ion amonio en unidades de (NH_4^+)



Fuente: Elaboración propia

5.1.2.9. Concentraciones del Nitrato en los tratamientos de las aguas residuales domésticas

Tabla 16

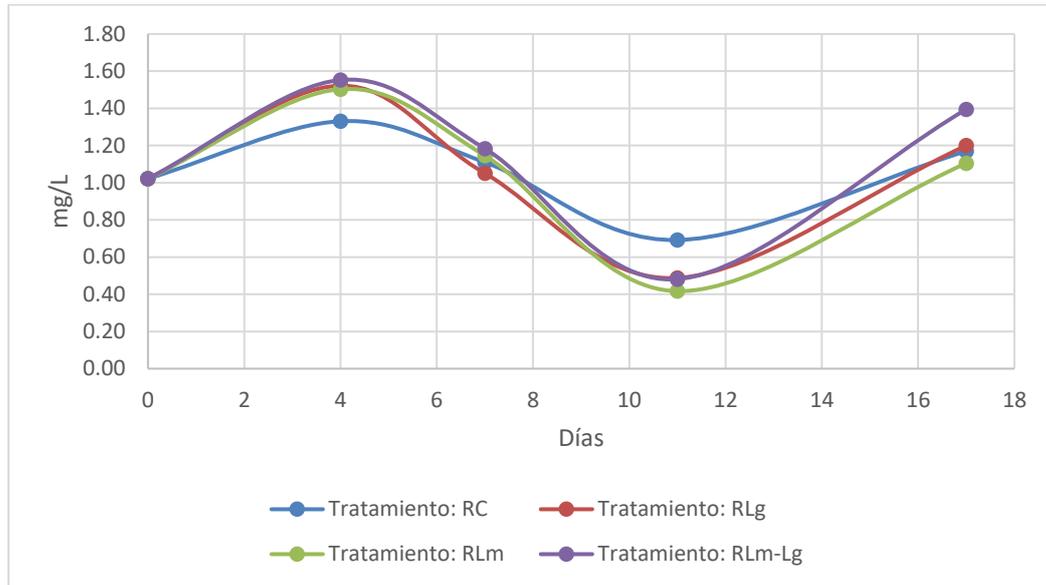
Variación de las concentraciones del Nitrato en unidad de (mg/L) en los tratamientos

TRATAMIENTO	Días				
	0	4	7	11	17
Reactor con <i>Lemna minor</i> (RLm)	1.02	1.50	1.15	0.42	1.11
Reactor con <i>Lemna gibba</i> (RLg)	1.02	1.52	1.05	0.49	1.20
Reactor con <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> (RLm-Lg)	1.02	1.55	1.18	0.48	1.40
Reactor de control (RC)	1.02	1.33	1.11	0.69	1.17

Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Variación de las concentraciones del Nitrato en unidad de (NO₃⁻) en los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Eficiencias de la remoción de los nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas en los tratamientos

Se calcula la eficiencia de remoción del Nitrógeno Total, Fosforo Total, Demanda Bioquímica y la Demanda Química de Oxígeno de los tratamientos de aguas residuales domesticas

$$\%Remoción = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100$$

Dónde: C_f: Concentración final; C₀: Concentración inicial

Tabla 17

Eficiencia de remoción del Nitrógeno Total, Fosforo Total, Demanda Bioquímica y la Demanda Química de Oxígeno

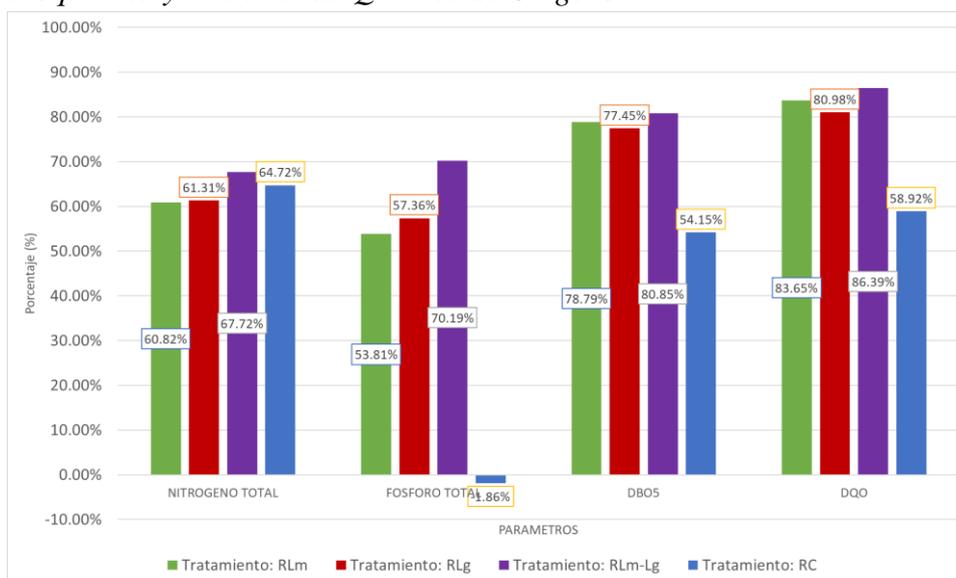
TRATAMIENTO	NUTRIENTES		MATERIA ORGÁNICA	
	NITRÓGENO	FÓSFORO	DBO ₅	DQO
Reactor con <i>Lemna minor</i> (RLm)	60.82%	53.81%	78.79%	83.65%
Reactor con <i>Lemna gibba</i> (RLg)	61.31%	57.36%	77.45%	80.98%

Reactor con <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> (RLm-Lg)	67.72%	70.19%	80.85%	86.39%
Reactor de control (RC)	64.72%	-1.86%	54.15%	58.92%

Nota: RLm, reactor con *Lemna minor*; RLg, Reactor con *Lemna gibba*; RLm-Lg, reactor con *Lemna minor* con *Lemna gibba*; Rc, reactor control. Fuente: Elaboración propia.

Figura 23

Eficiencia de remoción del Nitrógeno Total, Fosforo Total, Demanda Bioquímica y la Demanda Química de Oxígeno



Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Tasa relativa de crecimiento

Se muestran la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas flotantes en los diferentes tratamientos, en función del número de frondas.

Tabla 18

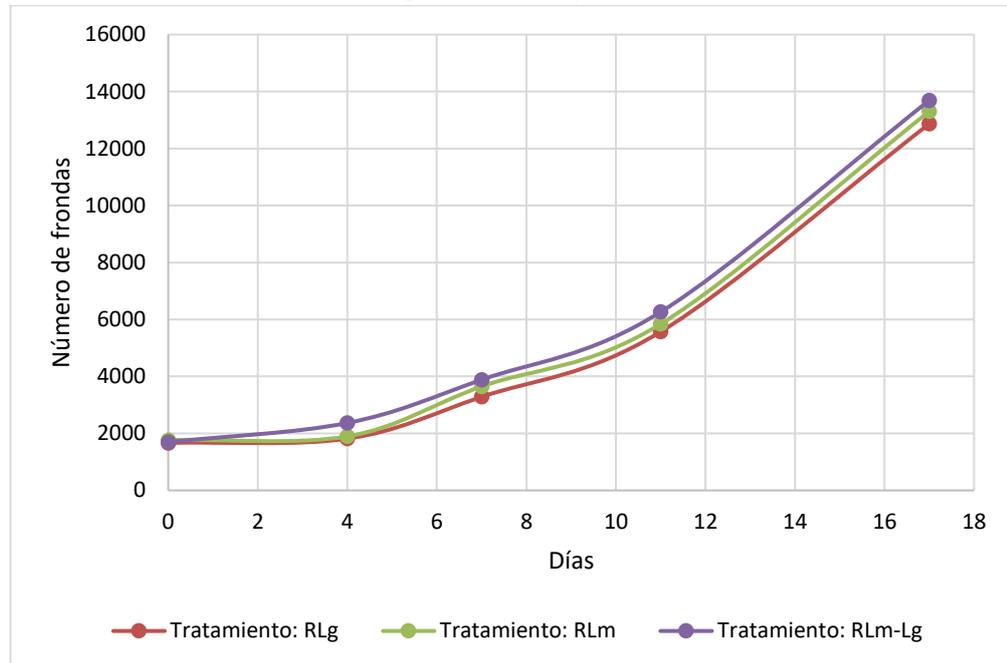
Variación del número de frondas de las especies macrófitas (unidades)

TRATAMIENTO	Días				
	0	4	7	11	17
Reactor con <i>Lemna minor</i> (RLm)	1767.5	1896	3648.5	5842	13304.5
Reactor con <i>Lemna gibba</i> (RLg)	1667.5	1817.5	3283	5570	12869.5
Reactor con <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> (RLm-Lg)	1696	2367	3885	6264	13691.5

Nota. Fuente. Elaboración propia

Figura 24

Curva de crecimiento de las especies macrófitas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

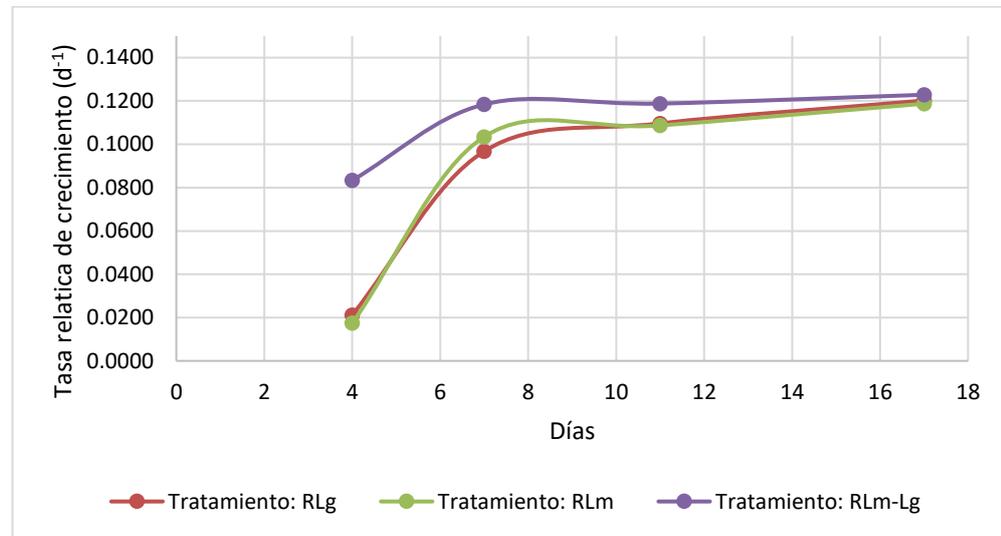
Tasa relativa de crecimiento (d^{-1})

TRATAMIENTO	Días			
	4	7	11	17
Reactor con <i>Lemna minor</i> (RLm)	0.0174	0.1035	0.1087	0.1187
Reactor con <i>Lemna gibba</i> (RLg)	0.0212	0.0968	0.1096	0.1202
Reactor con <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> (RLm-Lg)	0.0834	0.1184	0.1188	0.1229

Fuente: Elaboración propia

Figura 25

Variación de la tasa relativa de crecimiento



Fuente: Elaboración propia

5.2. Resultados inferenciales

5.2.1. Análisis sobre tratamientos en la remoción del Nitrógeno Total

Hipótesis de normalidad

H1. No existe distribución normal en los valores sobre nitrógeno total en mg/L de acuerdo al tratamiento utilizado.

H0. Existe distribución normal en los valores sobre nitrógeno total en mg/L de acuerdo al tratamiento utilizado.

Nivel de significancia

0,05

Prueba estadística

Tabla 20

Pruebas de normalidad sobre el Nitrógeno total (mg/L) según cada tratamiento utilizado

	Tratamiento	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Nitrógeno total (mg/L)	<i>Lemna minor</i>	0,947	8	0,683
	<i>Lemna gibba</i>	0,876	8	0,172
	<i>Lemna minor + Lemna gibba (asociación)</i>	0,938	8	0,587
	Control	0,969	4	0,836

Nota. Fuente. Elaboración propia

Interpretación

En la tabla se aprecia que cada tratamiento utilizado dio significancias superiores a 0,05 (Sig.>0,05). De manera que existe distribución normal en los valores sobre nitrógeno total de acuerdo a cada tratamiento. Ello indica que se debe emplear la prueba de ANOVA para evaluar si al menos un tratamiento utilizado tiene una influencia diferente en la remoción de Nitrógeno total de las aguas residuales domésticas.

Hipótesis

H1. Al menos un tratamiento utilizado tiene una influencia diferente en la remoción de nitrógeno de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

H0. Los tratamientos utilizados tienen influencia similar de remoción de nitrógeno de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

Nivel de significancia

0,05

Prueba estadística

Tabla 21*Pruebas de ANOVA sobre la influencia en la remoción del Nitrógeno total (mg/L)*

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Entre grupos	24,619	3	8,206	0,077	0,972
Nitrógeno total (mg/L)	Dentro de grupos	2564,506	24	106,854		
	Total	2589,125	27			

Nota. Fuente. Elaboración propia**Interpretación**

En la tabla de la prueba de ANOVA se aprecia un valor de significancia de 0,972. Por lo cual, al ser este un valor superior al nivel de 0,05; entonces no se rechaza la hipótesis nula. Ello significa que los tratamientos utilizados tienen influencia similar de remoción de nitrógeno de las aguas residuales domesticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

5.2.2. Análisis de los tratamientos en la remoción del Ion Amonio**Hipótesis de normalidad**

H1. No existe distribución normal en los valores sobre Ion amonio en mg/L de acuerdo al tratamiento utilizado.

H0. Existe distribución normal en los valores sobre Ion amonio en mg/L de acuerdo al tratamiento utilizado.

Nivel de significancia

0,05

Prueba estadística

Tabla 30*Pruebas de normalidad sobre el Ion amonio (mg/L) según cada tratamiento utilizado*

	Tratamiento	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Ion amonio (mg/L)	<i>Lemna minor</i>	0,958	10	0,760
	<i>Lemna gibba</i>	0,882	10	0,138
	<i>Lemna minor + Lemna gibba</i>	0,844	10	0,049
	Agua residual domestica	0,918	5	0,515

Nota. Fuente elaboración propia

Interpretación

De acuerdo con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, el tratamiento con *Lemna minor + Lemna gibba* dio una significancia inferior a 0,05 (Sig.<0,05). Por lo cual los valores de Ion amonio de este tratamiento no poseen distribución normal. Por lo cual se debe emplear la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar si al menos un tratamiento utilizado tiene una influencia diferente en la remoción de Ion amonio de las aguas residuales domésticas.

Hipótesis

H1. Al menos un tratamiento utilizado tiene una influencia diferente en la remoción de ion amonio de las aguas residuales domesticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

H0. Los tratamientos utilizados tienen influencia similar de remoción de ion amonio de las aguas residuales domesticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

Nivel de significancia

0,05

Prueba estadística

Tabla 31

Pruebas de Kruskal-Wallis sobre la influencia en la remoción del Ion amonio total (mg/L)

	Ion amonio (mg/L)
H de Kruskal-Wallis	0,664
gl	3
Sig. asintótica	0,882

Nota. Fuente elaboración propia

Interpretación

En la tabla de la prueba de Kruskal-Wallis se evidencia un valor de significancia de 0,882. De manera que, al ser este un valor superior al nivel de 0,05; no se rechaza la hipótesis nula. Ello significa que los tratamientos utilizados tienen influencia similar de remoción de ion amonio de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

5.2.3. Análisis de los tratamientos en la remoción del Nitrato

Hipótesis de normalidad

H1. No existe distribución normal en los valores sobre Nitrato en mg/L de acuerdo con el tratamiento utilizado.

H0. Existe distribución normal en los valores sobre Nitrato en mg/L de acuerdo con el tratamiento utilizado.

Nivel de significancia

0,05

Prueba estadística

Tabla 32*Pruebas de normalidad sobre el Nitrato (mg/L) según cada tratamiento utilizado*

Tratamiento	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
<i>Lemna minor</i>	0,914	12	0,242
<i>Lemna gibba</i>	0,938	12	0,471
Nitrato (mg/L) <i>Lemna minor + Lemna gibba</i> (asociación)	0,858	12	0,047
Control	0,903	6	0,392

Nota. Fuente elaboración propia

Interpretación

Según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, el tratamiento con *Lemna minor* + *Lemna gibba* dio una significancia de 0,047 (Sig.<0,05). De manera que los valores de nitrato de este tratamiento no poseen distribución normal. Ello indica que se debe emplear la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar si al menos un tratamiento utilizado tiene una influencia diferente en la remoción de nitrato de las aguas residuales domesticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

Hipótesis

H1. Al menos un tratamiento utilizado tiene una influencia diferente en la remoción de nitrato de las aguas residuales domesticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

H0. Los tratamientos utilizados tienen influencia similar de remoción de nitrato de las aguas residuales domesticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

Nivel de significancia

0,05

Prueba estadística

Tabla 33

Pruebas de Kruskal-Wallis sobre la influencia en la remoción del Nitrato (mg/L)

	Nitrato (mg/L)
H de Kruskal-Wallis	1,563
gl	3
Sig. asintótica	0,668

Nota. Fuente elaboración propia

Interpretación

De acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis se observa un valor de significancia de 0,668 (Sig.>0,05). Por lo cual no se rechaza la hipótesis nula. Ello significa que los tratamientos utilizados tienen influencia similar de remoción de nitrato de las aguas residuales domesticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

5.2.4. Análisis de los tratamientos en la remoción del Fósforo Total

Hipótesis de normalidad

H1. No existe distribución normal en los valores sobre Fósforo total en mg/L de acuerdo al tratamiento utilizado.

H0. Existe distribución normal en los valores sobre Fósforo total en mg/L de acuerdo al tratamiento utilizado.

Nivel de significancia

0,05

Prueba estadística

Tabla 22

Pruebas de normalidad sobre el Fósforo total (mg/L) según cada tratamiento utilizado

	Tratamiento	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Fósforo total (mg/L)	<i>Lemna minor</i>	0,876	16	0,034
	<i>Lemna gibba</i>	0,913	16	0,128
	<i>Lemna minor + Lemna gibba</i> (asociación)	0,826	16	0,006
	Control	0,965	8	0,859

Nota. Fuente. Elaboración propia

Interpretación

De acuerdo con la tabla, los tratamientos con *Lemna minor*, y la asociación dieron significancias inferiores a 0,05 (Sig.<0,05). De manera que las distribuciones de valores de estos tratamientos no poseen distribución normal. Ello indica que se debe emplear la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar si al menos un tratamiento utilizado tiene una influencia diferente en la remoción de fósforo de las aguas residuales domésticas.

Hipótesis

H1. Al menos un tratamiento utilizado tiene una influencia diferente en la remoción de fósforo de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

H0. Los tratamientos utilizados tienen influencia similar de remoción de fósforo de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

Nivel de significancia

0,05

Prueba estadística

Tabla 23

Pruebas de Kruskal-Wallis sobre la influencia en la remoción del Fósforo total (mg/L)

	Fósforo total (mg/L)
H de Kruskal-Wallis	21,477
gl	3
Sig. asintótica	0,000

Nota. Fuente. Elaboración propia

Interpretación

En la tabla se aprecia una significancia de 0,000. De manera que, al ser este un valor inferior al nivel de 0,05; entonces se rechaza la hipótesis nula. Ello significa que al menos un tratamiento utilizado tiene una influencia diferente en la remoción de fósforo de las aguas residuales domésticas. De esta manera se utilizó la prueba de Dunn-Bonferroni para saber si los tratamientos con las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* tienen una alta influencia en la remoción de fósforo de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

Tabla 24

Comparaciones por parejas de tratamiento de la prueba Post-Hoc de Dunn-Bonferroni

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada ^a
Asociación- <i>Lemna gibba</i>	4,156	5,764	0,721	0,471	1,000
Asociación- <i>Lemna minor</i>	6,344	5,764	1,101	0,271	1,000
Asociación-control	-31,500	7,059	-4,462	0,000	0,000
<i>Lemna gibba</i> - <i>Lemna minor</i>	2,188	5,764	0,380	0,704	1,000
<i>Lemna gibba</i> -control	-27,344	7,059	-3,873	0,000	0,001
<i>Lemna minor</i> -control	-25,156	7,059	-3,563	0,000	0,002

Nota. Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son iguales. Se visualizan las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de 0,05. a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas. Fuente elaboración propia.

De acuerdo con la tabla de comparaciones por parejas de tratamiento de la prueba Post-Hoc de Dunn-Bonferroni, se aprecia que la significancia dio valores inferiores a 0,05 entre *Lemna gibba*-Agua residual domestica; *Lemna minor*-Agua residual domestica; y *Lemna minor* + *Lemna gibba*-Agua residual doméstica. Por lo cual existen diferencias significativas entre los mencionados tratamientos.

Tabla 25

Resumen de la prueba Post-Hoc de Dunn-Bonferroni

Tratamiento	Fósforo total (mg/L)	
	1	2
<i>Lemna minor</i>	4,685	
<i>Lemna gibba</i>	4,553	
<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i>	4,377	
Agua residual domestica		8,419

Nota. Resumen de acuerdo con las medianas de fósforo de acuerdo a cada tratamiento.

Fuente elaboración propia

De acuerdo con los resultados del resumen de la prueba Post-Hoc de Dunn-Bonferroni se aprecia que las medianas forman dos grupos diferenciados. De manera que las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* tienen una alta influencia en la remoción de fósforo de las aguas residuales domesticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

5.2.5. Análisis de los tratamientos en la remoción del Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Hipótesis de normalidad

H1. No existe distribución normal en los valores sobre DBO₅ en mg/L de acuerdo al tratamiento utilizado.

H0. Existe distribución normal en los valores sobre DBO₅ en mg/L de acuerdo al tratamiento utilizado.

Nivel de significancia

0,05

Prueba estadística

Tabla 34*Pruebas de normalidad sobre el DBO₅ (mg/L) según cada tratamiento utilizado*

Tratamiento		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
DBO ₅ (Demanda biológica de oxígeno) (mg/L)	<i>Lemna minor</i>	0,870	8	0,149
	<i>Lemna gibba</i>	0,843	8	0,080
	<i>Lemna minor + Lemna gibba</i> (asociación)	0,867	8	0,142
	Control	0,944	4	0,679

Nota. Fuente elaboración propia

Interpretación

De acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk se muestra que cada tratamiento utilizado dio significancias superiores a 0,05 (Sig.>0,05). Por lo cual existe distribución normal en los valores sobre DBO₅ de acuerdo con cada tratamiento. Ello indica que se debe emplear la prueba de ANOVA para evaluar si al menos un tratamiento utilizado tiene una influencia diferente en la remoción de DBO₅ de las aguas residuales domesticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

Hipótesis

H1. Al menos un tratamiento utilizado tiene una influencia diferente en la remoción de DBO₅ de las aguas residuales domesticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

H0. Los tratamientos utilizados tienen influencia similar de remoción de DBO₅ de las aguas residuales domesticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

Nivel de significancia

0,05

Prueba estadística

Tabla 35

Pruebas de ANOVA sobre la influencia en la remoción del DBO₅ (mg/L)

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DBO ₅ (Demanda biológica de oxígeno) (mg/L)	Entre grupos	2931,938	3	977,313	0,643	0,595
	Dentro de grupos	36452,840	24	1518,868		
	Total	39384,777	27			

Nota. Fuente elaboración propia

Interpretación

En la tabla de la prueba de ANOVA se evidencia un valor de significancia de 0,595 (Sig.>0,05). De manera que no se rechaza la hipótesis nula. Ello significa que los tratamientos utilizados tienen influencia similar de remoción de DBO₅ de las aguas residuales domésticas.

5.2.6. Análisis de los tratamientos en la remoción del Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Hipótesis de normalidad

H1. No existe distribución normal en los valores sobre DQO en mg/L de acuerdo con el tratamiento utilizado.

H0. Existe distribución normal en los valores sobre DQO en mg/L de acuerdo con el tratamiento utilizado.

Nivel de significancia

0,05

Prueba estadística

Tabla 2620

Pruebas de normalidad sobre el DQO (Demanda química de oxígeno) (mg/L) según cada tratamiento utilizado

	Tratamiento	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
DQO (Demanda química de oxígeno) (mg/L)	<i>Lemna minor</i>	0,924	16	0,196
	<i>Lemna gibba</i>	0,885	16	0,046
	<i>Lemna minor + Lemna gibba</i> (asociación)	0,870	16	0,027
	Control	0,843	8	0,081

Nota. Fuente elaboración propia.

Interpretación

De acuerdo con la tabla, solo el tratamiento con *Lemna gibba* y el tratamiento de la asociación de *Lemna minor + Lemna gibba* dieron significancias inferiores a 0,05 (Sig.<0,05). De manera que los valores de DQO de estos tratamientos no poseen distribución normal. Por lo cual se debe emplear la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar si al menos un tratamiento utilizado tiene una influencia diferente en la remoción de DQO de las aguas residuales domésticas.

Hipótesis

H1. Al menos un tratamiento utilizado tiene una influencia diferente en la remoción de DQO de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

H0. Los tratamientos utilizados tienen influencia similar de remoción de DQO de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

Nivel de significancia

0,05

Prueba estadística

Tabla 27

Pruebas de Kruskal-Wallis sobre la influencia en la remoción del DQO (mg/L)

	DQO (Demanda química de oxígeno) (mg/L)
H de Kruskal-Wallis	21,993
gl	3
Sig. asintótica	0,000

Nota. Fuente elaboración propia

Interpretación

De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis se observa un valor de significancia de 0,000. Por lo cual, al ser este un valor inferior al nivel de 0,05; entonces se rechaza la hipótesis nula. Ello significa que al menos un tratamiento utilizado tiene una eficiencia diferente en la remoción de DQO de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.

Tabla 28

Comparaciones por parejas de tratamiento de la prueba Post-Hoc de Dunn-Bonferroni sobre el DQO

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada ^a
<i>Lemna minor + Lemna gibba-Lemna minor</i>	0,469	5,766	0,081	0,935	1,000
<i>Lemna minor + Lemna gibba-Lemna gibba</i>	10,250	5,766	1,778	0,075	0,453
<i>Lemna minor + Lemna gibba-Agua residual doméstica</i>	-29,969	7,062	-4,244	0,000	0,000
<i>Lemna minor-Lemna gibba</i>	-9,781	5,766	-1,696	0,090	0,539
<i>Lemna minor-Agua residual doméstica</i>	-29,500	7,062	-4,177	0,000	0,000
<i>Lemna gibba-Agua residual doméstica</i>	-19,719	7,062	-2,792	0,005	0,031

Nota. Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son iguales. Se visualizan las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de 0,05. a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas. Fuente, Elaboración propia.

En la tabla de comparaciones por parejas de tratamiento de la prueba Post-Hoc de Dunn-Bonferroni, se observa que la significancia dio valores inferiores a 0,05

entre *Lemna gibba*-Agua residual doméstica; *Lemna minor*-Agua residual doméstica; y *Lemna minor* + *Lemna gibba*-Agua residual doméstica. Por lo cual existen diferencias significativas entre los mencionados tratamientos.

Tabla 29

Resumen de la prueba Post-Hoc de Dunn-Bonferroni sobre el DQO

Tratamiento	DQO (Demanda química de oxígeno) (mg/L)	
	1	2
<i>Lemna minor</i>	84,5	
<i>Lemna gibba</i>	106,76	
<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i>	81,37	
Agua residual domestica		206,055

Nota. Resumen de acuerdo con las medianas de fósforo de acuerdo con cada tratamiento.

Fuente. Elaboración propia

En la tabla de los resultados del resumen de la prueba Post-Hoc de Dunn-Bonferroni se aprecia que las medianas forman dos grupos diferenciados. De manera que las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* tienen una alta eficiencia en la remoción de DQO de las aguas residuales domésticas.

5.2.7. Análisis de la influencia de la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* en la remoción de Nitrógeno Total

Tabla 36

*Resumen del modelo^b de la regresión lineal sobre la remoción de Nitrógeno total de acuerdo con cada tratamiento *Lemna minor* y *Lemna gibba**

Tratamientos	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
<i>Lemna minor</i>	1	-0,909 ^a	0,827	0,798	4,386424	0,698
<i>Lemna gibba</i>	1	-0,848 ^a	0,719	0,672	5,280134	1,356
<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i> (asociación)	1	-0,607 ^a	0,369	0,263	9,905592	1,580

a. Predictores: (Constante), Tasa relativa de crecimiento

b. Variable dependiente: Nitrógeno total (mg/L). Fuente: Elaboración propia

En la tabla se aprecia que el resultado del coeficiente de correlación de R dio valores negativos de -0,909, -0,848, y -0,607 para cada tratamiento empleado. Ello significa que los tratamientos con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y *Lemna minor+Lemna gibba* se correlacionan con intensidad inversamente proporcional con sus respectivos valores de nitrógeno total. Asimismo, el R² indica que los tratamientos con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y *Lemna minor+Lemna gibba* explican en 82,7%, 71,9%, y 36,9% el comportamiento de los valores de nitrógeno total respectivamente. Por su parte, los coeficientes de Durbin-Watson solo para los tratamientos con *Lemna gibba* y *Lemna minor+Lemna gibba* dieron valores entre 1 a 3. De manera que solo estos tratamientos cumplen con el supuesto de no autocorrelación de los residuos.

Tabla 3721

Pruebas de normalidad de los residuos de Shapiro-Wilk sobre la remoción de Nitrógeno total de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
<i>Lemna minor</i>	Residuos estandarizados sobre el Nitrógeno total (mg/L)	0,975	8	0,933
<i>Lemna gibba</i>	Residuos estandarizados sobre el Nitrógeno total (mg/L)	0,850	8	0,095
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	Residuos estandarizados sobre el Nitrógeno total (mg/L)	0,900	8	0,288

Nota. Fuente elaboración propia

De acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk se evidencia que cada tratamiento utilizado cumple con el supuesto de distribución normal de los residuos. Ello a raíz de que tienen significancias superiores al nivel de significancia de 0,05 (Sig.>0,05).

Tabla 3822

Pruebas de ANOVA^a sobre la remoción de Nitrógeno total de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos	Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<i>Lemna minor</i>	1	Regresión	552,585	1	552,585	28,720 0,002 ^b
		Residuo	115,444	6	19,241	
		Total	668,030	7		
<i>Lemna gibba</i>	1	Regresión	427,095	1	427,095	15,319 0,008 ^b
		Residuo	167,279	6	27,880	
		Total	594,374	7		
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	1	Regresión	343,690	1	343,690	3,503 0,110 ^b
		Residuo	588,724	6	98,121	
		Total	932,415	7		

Nota. a. Variable dependiente: Nitrógeno total (mg/L)

b. Predictores: (Constante), Tasa relativa de crecimiento. Fuente. Elaboración propia

En la tabla de la prueba de Anova, se observa que solo los tratamientos con *Lemna minor*, y *Lemna gibba* tienen significancias inferiores a 0,05. Por lo cual solo para estos tratamientos resulta adecuado realizar sus respectivas regresiones lineales simples.

Tabla 39

Coefficientes^a de la regresión lineal sobre la remoción de Nitrógeno total de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos	Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados			
		B	Desv. Error	Beta	t	Sig.	
<i>Lemna minor</i>	1	(Constante)	51,521	3,663		14,064	0,000
		Tasa relativa de crecimiento	-204,264	38,116	-0,909	-5,359	0,002
<i>Lemna gibba</i>	1	(Constante)	48,141	4,543		10,597	0,000
		Tasa relativa de crecimiento	-186,408	47,626	-0,848	-3,914	0,008
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	1	(Constante)	77,265	24,474		3,157	0,020
		Tasa relativa de crecimiento	-408,864	218,46	-0,607	-1,872	0,110

Nota.a. Variable dependiente: Nitrógeno total (mg/L). Fuente. Elaboración propia.

En la tabla se aprecia que la significancia del tratamiento con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y la asociación de *Lemna minor*+*Lemna gibba*, dio valores de 0,002, 0,008, y 0,110 respectivamente. Ello indica que solo la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* tienen una influencia significativa en la remoción de nitrógeno total de las aguas residuales domesticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia. Por su parte, las ecuaciones de las regresiones lineales resultantes quedarían de la siguiente manera.

- Nitrógeno total en mg/L = 51,521 – 204,264*(Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor*)
- Nitrógeno total en mg/L = 48,141 – 186,408*(Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna gibba*)
- Nitrógeno total en mg/L = 77,265 – 408,864*(Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor*+*Lemna gibba*)

5.2.8. Análisis de la influencia de la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* en la remoción de Fósforo Total

Tabla 40

Resumen del modelo^b de la regresión lineal sobre la remoción de Fósforo total de acuerdo a cada tratamiento *Lemna minor* y *Lemna gibba*

Tratamientos	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
<i>Lemna minor</i>	1	-0,804 ^a	0,647	0,588	0,909867	1,674
<i>Lemna gibba</i>	1	-0,928 ^a	0,862	0,838	0,508009	1,117
<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i>	1	-0,687 ^a	0,472	0,384	1,368072	0,910

Nota.a. Predictores: (Constante), Tasa relativa de crecimiento

b. Variable dependiente: Fósforo total (mg/L). Fuente. Elaboración propia.

En la tabla se observa que el resultado del coeficiente de correlación de R dio valores negativos de -0,804, -0,928, y -0,687 para cada tratamiento empleado. Ello significa que los tratamientos con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y *Lemna minor+Lemna gibba* se correlacionan con intensidad inversamente proporcional con sus respectivos valores de fósforo total. Por su parte, el R² indica que los tratamientos con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y *Lemna minor+Lemna gibba* explican en 64,7%, 86,2%, y 47,2% el comportamiento de los valores de fósforo total respectivamente. Por su parte, los coeficientes de Durbin-Watson solo para los tratamientos con *Lemna minor* y *Lemna gibba* dieron valores entre 1 a 3. De manera que solo estos tratamientos cumplen con el supuesto de no autocorrelación de los residuos.

Tabla 231

Pruebas de normalidad de los residuos de Shapiro-Wilk sobre la remoción de Fósforo total de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
<i>Lemna minor</i>	Residuos estandarizados sobre el Fósforo total (mg/L)	0,889	8	0,230
<i>Lemna gibba</i>	Residuos estandarizados sobre el Fósforo total (mg/L)	0,934	8	0,555
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	Residuos estandarizados sobre el Fósforo total (mg/L)	0,872	8	0,158

Nota. Fuente. Elaboración propia

En la tabla de la prueba de Shapiro-Wilk se aprecia que cada tratamiento utilizado cumple con el supuesto de distribución normal de los residuos. Esto se explica debido a que todos los tratamientos poseen significancias superiores al nivel de significancia de 0,05 (Sig.>0,05).

Tabla 42

Pruebas de ANOVA^a sobre la remoción de Fósforo total de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos	Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<i>Lemna minor</i>	1 Regresión	9,113	1	9,113	11,008	0,016 ^b
	Residuo	4,967	6	0,828		

		Total	14,080	7			
<i>Lemna gibba</i>	1	Regresión	9,636	1	9,636	37,337	0,001 ^b
		Residuo	1,548	6	0,258		
		Total	11,184	7			
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	1	Regresión	10,039	1	10,039	5,364	0,060 ^b
		Residuo	11,230	6	1,872		
		Total	21,268	7			

Nota. a. Variable dependiente: Fósforo total (mg/L)

b. Predictores: (Constante), Tasa relativa de crecimiento. Fuente. Elaboración propia

En la tabla de la prueba de Anova, se muestra que solo el tratamiento con *Lemna minor* y *Lemna minor+Lemna gibba* poseen significancias inferiores a 0,05. Por lo cual solo para estos tratamientos resulta adecuado realizar la regresión lineal simple.

Tabla 43

Coefficientes^a de la regresión lineal sobre la remoción de Fósforo total de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos	Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
		B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
<i>Lemna minor</i>	1 (Constante)	7,199	0,760		9,474	0,000
	Tasa relativa de crecimiento	-26,231	7,906	-0,804	-3,318	0,016
<i>Lemna gibba</i>	1 (Constante)	7,109	0,437		16,264	0,000
	Tasa relativa de crecimiento	-27,999	4,582	-0,928	-6,110	0,001
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	1 (Constante)	12,130	3,380		3,589	0,012
	Tasa relativa de crecimiento	-69,877	30,172	-0,687	-2,316	0,060

a. Variable dependiente: Fósforo total (mg/L). Fuente. Elaboración propia.

En la tabla se aprecia que la significancia del tratamiento con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y la asociación de *Lemna minor+Lemna gibba*, dio valores de 0.016, 0.001 y 0.060 respectivamente. Ello indica que solo la tasa relativa de

crecimiento de las macrófitas con *Lemna minor* y la *Lemna gibba* tienen una influencia significativa en la remoción de fósforo total de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia. Por su parte, las ecuaciones de las regresiones lineales resultantes quedarían de la siguiente manera.

- Fósforo total en mg/L = 7,199 – 26,231*(Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor*)
- Fósforo total en mg/L = 7,109 – 27,999*(Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna gibba*)
- Fósforo total en mg/L = 12,130 – 69,877*(Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor*+*Lemna gibba*)

5.2.9. Análisis de la influencia de la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* en la remoción de DQO

Tabla 44

Resumen del modelo^b de la regresión lineal sobre la remoción de DQO de acuerdo a cada tratamiento *Lemna minor* y *Lemna gibba*

Tratamientos	Modelo		R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de	Durbin-Watson
	o	R			la estimación	
<i>Lemna minor</i>	1	-0,902 ^a	0,814	0,783	11,4485777 5	1,561
<i>Lemna gibba</i>	1	-0,957 ^a	0,916	0,902	12,1281521 8	1,143
<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i>	1	-0,959 ^a	0,920	0,906	12,1566326 5	0,805

Nota. a. Predictores: (Constante), Tasa relativa de crecimiento

b. Variable dependiente: DQO (Demanda química de oxígeno) (mg/L). Fuente. Elaboración propia.

En la tabla del resumen del modelo se evidencia que el coeficiente de correlación de R dio valores negativos de -0,902, -0,957, y -0,959 para cada tratamiento empleado. Por lo cual, los tratamientos con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y *Lemna minor*+*Lemna gibba* se correlacionan con intensidad inversamente proporcional

con sus respectivos valores de DQO. Por su parte, el R^2 indica que los tratamientos con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y *Lemna minor+Lemna gibba* explican en 81,4%, 91,6%, y 92,0% el comportamiento de los valores de DQO respectivamente. Por su parte, los coeficientes de Durbin-Watson solo para el tratamiento con *Lemna minor* y el tratamiento con *Lemna gibba* dieron valores entre 1 a 3. De manera que solo estos tratamientos cumplen con el supuesto de no autocorrelación de los residuos.

Tabla 45

Pruebas de normalidad de los residuos de Shapiro-Wilk sobre la remoción de DQO de acuerdo con cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
<i>Lemna minor</i>	Residuos estandarizados sobre el DQO (mg/L)	0,950	8	0,706
<i>Lemna gibba</i>	Residuos estandarizados sobre el DQO (mg/L)	0,985	8	0,982
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	Residuos estandarizados sobre el DQO (mg/L)	0,934	8	0,553

Nota. Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk se observa que cada tratamiento utilizado cumple con el supuesto de distribución normal de los residuos. Esto debido a que todos los tratamientos poseen significancias superiores al nivel de significancia de 0,05 (Sig.>0,05).

Tabla 46

Pruebas de ANOVA^a sobre la remoción de DQO de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos	Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
<i>Lemna minor</i>	1	Regresión	3441,429	1	3441,429	26,256	0,002 ^b
		Residuo	786,420	6	131,070		
		Total	4227,849	7			
<i>Lemna gibba</i>	1	Regresión	9609,674	1	9609,674	65,331	0,000 ^b
		Residuo	882,552	6	147,092		

		Total	10492,226	7			
<i>Lemna</i>	1	Regresión	10164,038	1	10164,038	68,776	0,000 ^b
<i>minor+Lemna gibba</i>		Residuo	886,702	6	147,784		
		Total	11050,740	7			

Nota.a. Variable dependiente: DQO (Demanda química de oxígeno) (mg/L)

b. Predictores: (Constante), Tasa relativa de crecimiento. Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo con la prueba de Anova, se aprecia que todos los tratamientos poseen significancias inferiores a 0,05. De manera que para todos los tratamientos resulta adecuado realizar la regresión lineal simple.

Tabla 47

Coefficientes^a de la regresión lineal sobre la remoción de DQO de acuerdo con cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos	Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
		B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
<i>Lemna minor</i>	1 (Constante)	133,699	9,561		13,983	0,000
	Tasa relativa de crecimiento	-509,755	99,482	-0,902	-5,124	0,002
<i>Lemna gibba</i>	1 (Constante)	190,773	10,435		18,282	0,000
	Tasa relativa de crecimiento	-884,211	109,395	-0,957	-8,083	0,000
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	1 (Constante)	339,476	30,036		11,302	0,000
	Tasa relativa de crecimiento	-2223,456	268,107	-0,959	-8,293	0,000

Nota.a. Variable dependiente: DQO (Demanda química de oxígeno) (mg/L). Fuente. Elaboración propia.

En la tabla se aprecia que la significancia del tratamiento con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y la asociación de *Lemna minor+Lemna gibba*, dio valores de 0,002, 0,000, y 0,000 respectivamente. Ello indica que la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y la asociación de *Lemna minor+Lemna gibba* tienen una influencia significativa en la remoción de DQO de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario

de la PTAR municipal del distrito de Independencia. Por su parte, las ecuaciones de las regresiones lineales resultantes quedarían de la siguiente manera.

- $DQO \text{ en mg/L} = 133,699 - 509,755 \cdot (\text{Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas } Lemna \text{ minor})$
- $DQO \text{ en mg/L} = 190,773 - 884,211 \cdot (\text{Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas } Lemna \text{ gibba})$
- $DQO \text{ en mg/L} = 339,476 - 2223,456 \cdot (\text{Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas } Lemna \text{ minor} + Lemna \text{ gibba})$

5.2.10. Análisis de la influencia de la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* en la remoción de Ion Amonio

Tabla 48

Resumen del modelo^b de la regresión lineal sobre la remoción de Ion amonio de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
<i>Lemna minor</i>	1	-0,630 ^a	0,397	0,296	12,460619	1,128
<i>Lemna gibba</i>	1	-0,726 ^a	0,528	0,449	8,976410	1,188
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	1	-0,721 ^a	0,520	0,440	9,592763	1,440

Nota.a. Predictores: (Constante), Tasa relativa de crecimiento

b. Variable dependiente: Ion amonio (mg/L). Fuente. Elaboración propia.

En la tabla se aprecia que el resultado del coeficiente de correlación de R dio valores negativos entre -0,630, -0,726, y -0,721 para cada tratamiento empleado. Ello significa que los tratamientos con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y *Lemna minor+Lemna gibba* se correlacionan con intensidad inversamente proporcional y considerable con sus respectivos valores de ion amonio. A su vez el R² indica que los tratamientos con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y *Lemna minor+Lemna gibba* explican en 39,7%, 52,8%, y 52,0% el comportamiento de los valores de ion amonio respectivamente. Por otro lado, los coeficientes de Durbin-Watson

para cada tratamiento indicaron valores entre 1 a 3. De manera que se cumple el supuesto de no autocorrelación de los residuos según cada tratamiento.

Tabla 49

Pruebas de normalidad de los residuos de Shapiro-Wilk sobre la remoción de Ion amonio de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
<i>Lemna minor</i>	Residuos estandarizados sobre el Ion amonio (mg/L)	0,937	8	0,580
<i>Lemna gibba</i>	Residuos estandarizados sobre el Ion amonio (mg/L)	0,886	8	0,212
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	Residuos estandarizados sobre el Ion amonio (mg/L)	0,838	8	0,071

Nota. Fuente elaboración propio

De acuerdo con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk se aprecia que los tratamientos con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y *Lemna minor+Lemna gibba* cumplen con el supuesto de distribución normal de los residuos. Ello debido a que cada tratamiento posee significancias superiores al nivel de significancia de 0,05 (Sig.>0,05).

Tabla 50

Pruebas de ANOVA^a sobre la remoción de Ion amonio de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos		Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<i>Lemna minor</i>	1	Regresión	612,766	1	612,766	3,947	0,094 ^b
		Residuo	931,602	6	155,267		
		Total	1544,368	7			
<i>Lemna gibba</i>	1	Regresión	539,811	1	539,811	6,699	0,041 ^b
		Residuo	483,456	6	80,576		
		Total	1023,266	7			

<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i>	1	Regresión	598,994	1	598,994	6,509	0,043 ^b
		Residuo	552,127	6	92,021		
		Total	1151,121	7			

a. Variable dependiente: Ion amonio (mg/L)

b. Predictores: (Constante), Tasa relativa de crecimiento. Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo con la prueba de Anova, se aprecia que solo los tratamientos con *Lemna gibba*, y *Lemna minor*+*Lemna gibba*, poseen significancias inferiores a 0,05. Por lo cual solo para estos tratamientos resulta adecuado realizar sus respectivas regresiones lineales simples.

Tabla 51

Coefficientes^a de la regresión lineal sobre la remoción de Ion amonio de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos	Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta			
<i>Lemna minor</i>	1 (Constante)	42,270	10,407			4,062	0,007
	Tasa relativa de crecimiento	-215,100	108,27	-0,630		-1,987	0,094
6							
<i>Lemna gibba</i>	1 (Constante)	39,712	7,723			5,142	0,002
	Tasa relativa de crecimiento	-209,567	80,966	-0,726		-2,588	0,041
<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i>	1 (Constante)	80,466	23,701			3,395	0,015
	Tasa relativa de crecimiento	-539,767	211,56	-0,721		-2,551	0,043
3							

a. Variable dependiente: Ion amonio (mg/L). Fuente. Elaboración propia.

En la tabla se aprecia que la significancia del tratamiento con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y la asociación de *Lemna minor*+*Lemna gibba*, dio valores de 0,094, 0,041, y 0,043 respectivamente. Ello indica que la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna gibba*, y la asociación de *Lemna minor*+*Lemna gibba* tienen una influencia significativa en la remoción de ion amonio de las aguas residuales domésticos provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia. A su vez las ecuaciones de las regresiones lineales resultantes quedarían de la siguiente manera.

- Ion amonio en mg/L = 42,270 – 215,100*(Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor*)
- Ion amonio en mg/L = 39,712 – 209,567*(Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna gibba*)
- Ion amonio en mg/L = 80,466 – 539,767*(Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor*+*Lemna gibba*)

5.2.11. Análisis de la influencia de la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* en la remoción de Nitrato

Tabla 52

Resumen del modelo^b de la regresión lineal sobre la remoción de Nitrato de acuerdo a cada tratamiento *Lemna minor* y *Lemna gibba*

Tratamientos	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
<i>Lemna minor</i>	1	-0,338 ^a	0,114	-0,033	0,213779	0,951
<i>Lemna gibba</i>	1	-0,602 ^a	0,363	0,257	0,310712	1,373
<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i> (asociación)	1	-0,945 ^a	0,893	0,875	0,132478	2,276

a. Predictores: (Constante), Tasa relativa de crecimiento

b. Variable dependiente: Nitrato (mg/L). Fuente. Elaboración propia

De acuerdo con la tabla se observa que el resultado del coeficiente de correlación de R dio valores negativos de -0,338, -0,602, y -0,945 para cada tratamiento empleado. Ello significa que los tratamientos con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y *Lemna minor*+*Lemna gibba* se correlacionan con intensidad inversamente proporcional con sus respectivos valores de nitrato. Asimismo, el R² indica que los tratamientos con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y *Lemna minor*+*Lemna gibba* explican en 11,4%, 36,3%, y 89,3% el comportamiento de los valores de nitrato respectivamente. Por otro lado, los coeficientes de Durbin-Watson solo para los tratamientos con *Lemna gibba* y *Lemna minor*+*Lemna gibba* dieron valores entre 1 a 3. De manera que solo estos tratamientos cumplen con el supuesto de no autocorrelación de los residuos.

Tabla 53

Pruebas de normalidad de los residuos de Shapiro-Wilk sobre la remoción de Nitrato de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
<i>Lemna minor</i>	Residuos estandarizados sobre el Nitrato (mg/L)	0,965	8	0,855
<i>Lemna gibba</i>	Residuos estandarizados sobre el Nitrato (mg/L)	0,793	8	0,024
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	Residuos estandarizados sobre el Nitrato (mg/L)	0,866	8	0,138

Nota. Fuente. Elaboración propia

En la tabla de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk se muestra que solamente los tratamientos con *Lemna minor*, y *Lemna minor+Lemna gibba* cumplen con el supuesto de distribución normal de los residuos. Ello debido a que poseen significancias superiores al nivel de significancia de 0,05 (Sig.>0,05).

Tabla 54

Pruebas de ANOVA^a sobre la remoción de Nitrato de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos		Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<i>Lemna minor</i>	1	Regresión	0,035	1	0,035	0,773	0,413 ^b
		Residuo	0,274	6	0,046		
		Total	0,310	7			
<i>Lemna gibba</i>	1	Regresión	0,330	1	0,330	3,419	0,114 ^b
		Residuo	0,579	6	0,097		
		Total	0,909	7			
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	1	Regresión	0,878	1	0,878	50,044	0,000 ^b
		Residuo	0,105	6	0,018		
		Total	0,984	7			

a. Variable dependiente: Nitrato (mg/L)

b. Predictores: (Constante), Tasa relativa de crecimiento. Fuente. Elaboración propia.

En la tabla de la prueba de Anova, se muestra que solo el tratamiento con *Lemna minor*+*Lemna gibba* posee una significancia inferior a 0,05. Por lo cual solo para este tratamiento resulta adecuado realizar la regresión lineal simple.

Tabla 55

Coefficientes^a de la regresión lineal sobre la remoción de Nitrato de acuerdo con cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos	Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta	s		
<i>Lemna minor</i>	1	(Constante)	1,573	0,179		8,811	0,000
		Tasa relativa de crecimiento	-1,633	1,858	-0,338	-0,879	0,413
<i>Lemna gibba</i>	1	(Constante)	1,236	0,267		4,622	0,004
		Tasa relativa de crecimiento	-5,182	2,803	-0,602	-1,849	0,114
<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i>	1	(Constante)	-1,246	0,327		-3,807	0,009
		Tasa relativa de crecimiento	20,669	2,922	0,945	7,074	0,000

a. Variable dependiente: Nitrato (mg/L). Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla se aprecia que la significancia del tratamiento con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y la asociación de *Lemna minor*+*Lemna gibba*, dio valores de 0,413, 0,114, y 0,000 respectivamente. Ello indica que solo la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas de la asociación de *Lemna minor*+*Lemna gibba* tiene una influencia significativa en la remoción de nitrato de las aguas residuales domesticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia. Por su parte, las ecuaciones de las regresiones lineales resultantes quedarían de la siguiente manera.

- Nitrato en mg/L = 1,573 – 1,633*(Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor*)
- Nitrato en mg/L = 1,236 – 5,182*(Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna gibba*)

- Nitrato en mg/L = $-1,246 - 20,699 \cdot (\text{Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas } Lemna \text{ minor} + Lemna \text{ gibba})$

5.2.12. Análisis de la influencia de la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* en la remoción de DBO₅

Tabla 56

Resumen del modelo^b de la regresión lineal sobre la remoción de DBO₅ de acuerdo a cada tratamiento *Lemna minor* y *Lemna gibba*

Tratamientos	Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
<i>Lemna minor</i>	1	-0,968 ^a	0,937	0,926	9,43764623	1,173
<i>Lemna gibba</i>	1	-0,985 ^a	0,971	0,966	7,20749174	1,447
<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i>	1	-0,895 ^a	0,802	0,769	23,14031424	1,166

a. Predictores: (Constante), Tasa relativa de crecimiento

b. Variable dependiente: DBO₅ (Demanda biológica de oxígeno) (mg/L). Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla se muestra que el coeficiente de correlación de R dio valores negativos de -0,968, -0,985, y -0,895 para cada tratamiento empleado. Ello significa que los tratamientos con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y *Lemna minor*+*Lemna gibba* se correlacionan con intensidad inversamente proporcional con sus respectivos valores de DBO₅. Por su parte, el R² indica que los tratamientos *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y *Lemna minor*+*Lemna gibba* explican en 93,7%, 97,1%, y 80,2% el comportamiento de los valores de DBO₅ respectivamente. Por su parte, los coeficientes de Durbin-Watson para todos los tratamientos empleados dio valores entre 1 a 3. De manera que estos tratamientos cumplen con el supuesto de no autocorrelación de los residuos.

Tabla 57

Pruebas de normalidad de los residuos de Shapiro-Wilk sobre la remoción de DBO₅ de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
<i>Lemna minor</i>	Residuos estandarizados sobre el DBO ₅ (mg/L)	0,910	8	0,352
<i>Lemna gibba</i>	Residuos estandarizados sobre el DBO ₅ (mg/L)	0,914	8	0,385
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	Residuos estandarizados sobre el DBO ₅ (mg/L)	0,829	8	0,058

Nota. Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk se aprecia que cada tratamiento utilizado cumple con el supuesto de distribución normal de los residuos. Ello porque todos los tratamientos poseen significancias superiores al nivel de significancia de 0,05 (Sig.>0,05).

Tabla 58

Pruebas de ANOVA^a sobre la remoción de DBO₅ de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos	Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<i>Lemna minor</i>	1 Regresión	7880,195	1	7915,887	88,873	0,000 ^b
	Residuo	1504,068	6	89,069		
	Total	9384,262	7			
<i>Lemna gibba</i>	1 Regresión	16449,064	1	10501,358	202,152	0,000 ^b
	Residuo	2799,723	6	51,948		
	Total	19248,787	7			
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	1 Regresión	12724,249	1	12980,910	24,242	0,003 ^b
	Residuo	4666,380	6	535,474		
	Total	17390,629	7			

a. Variable dependiente: DBO₅ (Demanda biológica de oxígeno) (mg/L)

b. Predictores: (Constante), Tasa relativa de crecimiento. Fuente. Elaboración propia.

En la tabla de la prueba de Anova, se aprecia que todos los tratamientos poseen significancias inferiores a 0,05. Por lo cual para todos los tratamientos resulta adecuado realizar la regresión lineal simple.

Tabla 59

Coefficientes^a de la regresión lineal sobre la remoción de DBO₅ de acuerdo a cada tratamiento Lemna minor y Lemna gibba

Tratamientos	Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	
		B	Desv. Error	Beta			
<i>Lemna minor</i>	1	(Constante)	135,979	7,882		17,252	0,000
		Tasa relativa de crecimiento	-773,112	82,008	-0,968	-9,427	0,000
<i>Lemna gibba</i>	1	(Constante)	154,281	6,201		24,879	0,000
		Tasa relativa de crecimiento	-924,325	65,011	-0,985	-	0,000
					14,218		
<i>Lemna minor+Lemna gibba</i>	1	(Constante)	359,043	57,173		6,280	0,001
		Tasa relativa de crecimiento	-2512,742	510,346	-0,895	-4,924	0,003

Nota.a. Variable dependiente: DBO₅ (Demanda biológica de oxígeno) (mg/L). Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla se aprecia que la significancia del tratamiento con *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y la asociación de *Lemna minor+Lemna gibba*, dio valores de 0,000, 0,000, y 0,003 respectivamente. Ello indica que la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y la asociación de *Lemna minor+Lemna gibba* tienen una influencia significativa en la remoción de DBO₅ de las aguas residuales domésticas. Por su parte, las ecuaciones de las regresiones lineales resultantes quedarían de la siguiente manera.

- DBO₅ en mg/L = 135,979 – 773,112*(Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna minor*)
- DBO₅ en mg/L = 154,281 – 924,325*(Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas *Lemna gibba*)

- DBO_5 en mg/L = $359,043 - 2512,742^*(\text{Tasa relativa de crecimiento de las macrófitas } Lemna\ minor + Lemna\ gibba)$

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contratación y demostración de la Hipótesis

6.1.1. Contratación y demostración de la Hipótesis con los resultados para Nitrógeno total.

Al analizar las características físico-químicas de las aguas residuales domésticas de la PTAR municipal del distrito de independencia, se obtuvo una concentración inicial de 56 mg/L, tal como se observa en la tabla 7. En donde se evidencia que la concentración de este parámetro supera en 273% la concentración máxima de 15 mg/L de nitrógeno total establecida en la Directiva 91/271/CEE.

Al finalizar los 17 días de la experimentación, se obtuvieron las siguientes concentraciones finales de nitrógeno total en los 3 tratamientos y el control, las cuales se muestran en la tabla 13. Es así que, del análisis de dichas concentraciones, se observa en la tabla 17 que la mayor eficiencia de remoción se dio en el tratamiento de la asociación de la *Lemna minor* y la *Lemna gibba* con 67.72 %, en comparación con los demás tratamientos y el control.

Sin embargo, al realizar el análisis estadístico de los 3 tratamientos, estos no muestran diferencias significativas con respecto al control, dado que al usar la prueba de ANOVA (debido a que los valores de concentración se comportan como una distribución normal) se aprecia un valor de significancia de 0,972, y que al ser este valor superior al nivel de 0,05; **no se rechaza la hipótesis nula**. Significando que los tratamientos utilizados, incluido el control, tienen remociones similares de nitrógeno de las aguas residuales domésticas. En los 3 sistemas de tratamiento, las macrófitas flotantes asimilan el nitrógeno en forma de ion amonio y nitrato tal como se muestran en las figuras 21 y 22

respectivamente, el cual genera una disminución en la concentración del nitrógeno total, tal como se muestra en la figura 19. Respecto al reactor control, que no cuenta con macrófitas flotantes, se pudo haber comportado como un sistema anaerobio, donde el nitrógeno orgánico es transformando por las bacterias anaerobias en nitrógeno amoniacal y debido a que el sistema presenta el pH alcalino (tal como se muestra en la figura 14) este se transformó en gas amoniacal, el cual es susceptible a volatilizarse en el medio ambiente, esto explicaría la eliminación del nitrógeno total en el reactor de control. Demostrando así que el tratamiento con la asociación de ambas especies de macrófitas es eficiente en la remoción del nitrógeno total y es similar a los tratamientos realizados con las especies macrófitas de manera individual.

6.1.2. Contratación y demostración de la Hipótesis con los resultados para el Fósforo total

Al analizar las características físico-químicas de las aguas residuales domésticas de la PTAR municipal del distrito de independencia, se obtuvo una concentración inicial de 8.05 mg/L, tal como se observa en la tabla 7. En donde además se evidencia que la concentración de este parámetro supera en 303% la concentración máxima de 2 mg/L de fósforo total establecida en la Directiva 91/271/CEE.

Al finalizar los 17 días de la experimentación, se obtuvieron las siguientes concentraciones finales de fósforo total en los 3 tratamientos y el control, las cuales se muestran en la tabla 14. Es así que, del análisis de dichas concentraciones, se observa en la tabla 17 que la mayor eficiencia de remoción le logró con el tratamiento de la asociación de la *Lemna minor* y la *Lemna gibba* con un 70.19%, en comparación con el tratamiento de *Lemna gibba*, *Lemna minor* y el control, las cuales presentaron 57.36%, 53.81% y 0% de eficiencia de remoción del fósforo total, respectivamente.

Al analizar la varianza mediante la prueba de Kruskal-Wallis, se pudo demostrar estadísticamente que, de los 3 tratamientos y el control, al

menos uno presenta una influencia diferente en la remoción de fósforo de las aguas residuales domésticas. De acuerdo con tabla de comparaciones por parejas de tratamiento con la prueba Post-Hoc de Dunn-Bonferroni (Tabla 26); se observó que existen diferencias significativas de los 3 tratamientos (*Lemna minor*, *Lemna gibba* y asociación) con respecto al control, siendo esto determinado por la presencia de estas especies macrófitas. Si embargo, no existe diferencias significativas entre los 3 tratamientos. Demostrando así que el tratamiento con la asociación de ambas especies de macrófitas es eficiente en la remoción de fósforo total y es similar a los tratamientos realizados con las especies macrófitas de manera individual.

6.1.3. Contratación y demostración de la Hipótesis con los resultados para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Al analizar las características físico-químicas de las aguas residuales domésticas de la PTAR municipal del distrito de independencia, se obtuvo una concentración inicial de 165 mg/L, tal como se observa en la tabla 7. En donde además se evidencia que la concentración de este parámetro supera en 65% la concentración máxima de 100 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) establecida en el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM.

Al finalizar los 17 días de la experimentación, se obtuvieron las siguientes concentraciones finales de DBO₅ en los 3 tratamientos y el control, las cuales se muestran en la tabla 11. Es así que, del análisis de dichas concentraciones, se observa en la tabla 17 que la mayor eficiencia de remoción le logró con el tratamiento de la asociación de la *Lemna minor* y la *Lemna gibba* con un 80.85%, en comparación con el tratamiento de *Lemna minor*, *Lemna gibba* y el control, las cuales presentaron 78.79%, 77.45% y 54.15% de eficiencia de remoción de DBO₅, respectivamente.

Sin embargo, al realizar el análisis estadístico de los 3 tratamientos, estos no muestran diferencias significativas con respecto al control, dado que al usar la prueba de ANOVA (debido a que los valores de concentración se comportan como una distribución normal) se aprecia un valor de significancia de 0.595, y que al ser este valor superior al nivel de 0,05; **no se rechaza la hipótesis nula**. Significando que los tratamientos utilizados, incluido el control, tienen remociones similares de DBO₅ de las aguas residuales domésticas. Los 3 sistemas de tratamiento que cuentan con macrófitas flotantes presentaron mayor eficiencia de remoción de la DBO₅ comparados con el control, esto se debe a que las macrófitas flotantes proveen de oxígeno a las bacterias aerobias presentes en el agua residual doméstica, así como también sirven como medio de soporte de estas, favoreciendo una mayor capacidad de remoción, tal como se muestra en la figura 17. Respecto al reactor control, que no cuenta con macrófitas flotantes la eficiencia que presentan se puede explicar a que el sistema se pudo haber comportado como un sistema anaerobio, donde la materia orgánica es degradada por las bacterias anaerobias. Demostrando así que el tratamiento con la asociación de ambas especies de macrófitas es eficiente en la remoción del DBO₅ y es similar a los tratamientos realizados con las especies macrófitas de manera individual.

6.1.4. Contratación y demostración de la Hipótesis con los resultados para la Demanda Química de Oxígeno

Al analizar las características físico-químicas de las aguas residuales domésticas de la PTAR municipal del distrito de independencia, se obtuvo una concentración inicial de 383.9 mg/L, tal como se observa en la tabla 7. En donde además se evidencia que la concentración de este parámetro supera en 92% la concentración máxima de 200 mg/L de Demanda Química de Oxígeno (DQO) establecida en el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM.

Al finalizar los 17 días de la experimentación, se obtuvieron las siguientes concentraciones finales de DQO en los 3 tratamientos y el control, las cuales se muestran en la tabla 14. Es así que, del análisis de dichas concentraciones, se observa en la tabla 17 que la mayor eficiencia de remoción se logró con el tratamiento de la asociación de la *Lemna minor* y la *Lemna gibba* con un 86.39%, en comparación con el tratamiento de *Lemna minor*, *Lemna gibba* y el control, las cuales presentaron 83.65%, 80.98% y 58.92% de eficiencia de remoción de DQO, respectivamente.

Al analizar la varianza mediante la prueba de Kruskal-Wallis, se pudo demostrar estadísticamente que los 3 tratamientos, al menos uno presenta una influencia diferente en la remoción de fósforo de las aguas residuales domésticas. De acuerdo con tabla de comparaciones por parejas de tratamiento con la prueba Post-Hoc de Dunn-Bonferroni (Tabla 28); se observó que existen diferencias significativas de los 3 tratamientos (*Lemna minor*, *Lemna gibba* y asociación) con respecto al control, siendo esto determinado por la presencia de estas especies. Si embargo, no existe diferencias significativas entre los 3 tratamientos. Demostrando así que el tratamiento con la asociación de ambas especies macrófitas es eficiente en la remoción de DQO y es similar a los tratamientos realizados con las especies de manera individual.

6.1.5. Contratación y demostración de la Hipótesis con los resultados la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas flotantes

Asimismo, de acuerdo con la tabla 19, se observa que, durante el periodo de 17 días, las variaciones de la tasa relativa de crecimiento (TRC), presentaron un incremento en todos los tratamientos, ya que existió un aumento de número de frondas, tal y como se observa en la tabla 18. denotando un mayor incremento con el tratamiento de la asociación de ambas especies (TRC:0.1229 día⁻¹).

- Para el Nitrógeno: Al analizar la relación entre la tasa relativa de crecimiento y la concentración nitrógeno total mediante la regresión lineal, según la tabla 36, se observa que el coeficiente de correlación de R dio valores negativos para todos los tratamientos, lo cual significa que se correlacionan inversamente proporcional con sus respectivas concentraciones de nitrógeno total, es decir, a mayor tasa relativa de crecimiento existe una mayor eficiencia de remoción de nitrógeno (relación directa). Asimismo, dio valores de coeficiente de Pearson de -0.9 para el tratamiento con Lemna minor; -0.84 para el tratamiento con Lemna gibba, las cuales al estar entre -0.7 y -1, denotaría que existe un alto grado de correlación entre la TRC y la disminución de la concentración. Del mismo modo, para el tratamiento con la asociación, presentó un valor de -0.6, el cual al estar en el rango de -0,4 y -0.7, denotaría que existe una correlación significativa. Demostrando así que la tasa relativa de crecimiento de las especies macrófitas presenta una relación directa y significativa con la remoción de nitrógeno total.
- Para el fosforo total: Al analizar la relación entre la tasa relativa de crecimiento y la concentración de fósforo total mediante la regresión lineal, según la tabla 40, se observa que el coeficiente de correlación de R dio valores negativos para cada tratamiento empleado, lo cual significa que se correlacionan inversamente proporcional con sus respectivas concentraciones de fósforo total, es decir, a mayor tasa relativa de crecimiento existe una mayor eficiencia de remoción de fosforo total (relación directa). Asimismo, dio valores de coeficiente de Pearson de -0.8 para el tratamiento con Lemna minor; -0.92 para el tratamiento con Lemna gibba, las cuales al estar entre -0.7 y -1, denotaría que existe un alto grado de correlación entre la TRC y la disminución de la concentración. Del mismo modo, para el tratamiento con la asociación, presentó un valor de -0.68, el cual al estar en el rango de -0,4 y -0.7, denotaría que existe una correlación

significativa. Demostrando así que la tasa relativa de crecimiento de las especies macrófitas presenta una relación directa y significativa con la remoción de fósforo total.

- Para la DBO₅: Al analizar la relación entre la tasa relativa de crecimiento y la concentración de DBO₅ mediante la regresión lineal, según la tabla 56, se observa que el coeficiente de correlación de R dio valores negativos para cada tratamiento empleado, lo cual significa que se correlacionan inversamente proporcional con sus respectivas concentraciones de DBO₅, es decir, a mayor tasa relativa de crecimiento existe una mayor eficiencia de remoción de DBO₅ (relación directa). Asimismo, dio valores de coeficiente de Pearson de -0.96 para el tratamiento con Lemna minor; -0.98 para el tratamiento con Lemna gibba y -0.89 para la asociación, las cuales al estar entre -0.7 y -1, denotaría que existe un alto grado de correlación entre la TRC y la disminución de la concentración. Demostrando así que la tasa relativa de crecimiento de las especies macrófitas presenta una relación directa y significativa con la remoción de DBO₅.
- Para la DQO: Al analizar la relación entre la tasa relativa de crecimiento y la concentración de la DQO total mediante la regresión lineal, según la tabla 44, se observa que el coeficiente de correlación de R dio valores negativos para cada tratamiento empleado, lo cual significa que se correlacionan inversamente proporcional con sus respectivas concentraciones de DQO, es decir, a mayor tasa relativa de crecimiento existe una mayor eficiencia de remoción de la DQO (relación directa). Asimismo, dio valores de coeficiente de Pearson de 0.9 para el tratamiento con Lemna minor; 0.95 para el tratamiento con Lemna gibba y la asociación, las cuales al estar entre -0.7 y -1, denotaría que existe un alto grado de correlación entre la TRC y la disminución de la concentración. Demostrando así que la tasa

relativa de crecimiento de las especies macrófitas presenta una relación directa y significativa con la remoción de DQO.

6.2 Contrastación de los resultados con estudios similares.

6.2.1 Nutrientes

- Para el Nitrógeno Total: En la investigación realizada por Casillo (2017), titulada “Eficiencia de *Lemna sp.* y *Eichhornia crassipes* en la Remoción de Nutrientes del Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Celendín”, mediante el uso de reactores de flujo continuo, determinaron la eficiencia de remoción de nutrientes (nitrógeno total) de 52% de la especie *Lemna minor*. Este valor fue inferior al obtenido en la presente investigación, ya que el valor presentado fue de 60.31%. Esto debido a que la presente investigación se realizó en un sistema discontinuo. Asimismo, en la investigación realizada por Abhayawardhana et al. (2019) denominada “Eliminación de metales pesados y nutrientes de las aguas residuales municipales utilizando *Salvinia molesta* y *Lemna gibba*”, el cual fue desarrollado durante un periodo de 7 días, determinaron que la eficiencia de remoción del nitrógeno total, aplicando la especie *Lemna gibba*, fue de 62.1%. Este resultado fue similar al obtenido en la presente investigación ya que el valor fue 61.31%.
- Para el Fósforo Total: Aplicando un cálculo matemático se determinó la eficiencia del tratamiento, dando como resultado una eficiencia en la remoción de fosforo total de 53.81 % con la macrófita flotante *Lemna minor*, 57.36% con la macrófita flotante *Lemna gibba*, 70.19% con la asociación de macrófitas flotantes *Lemna minor* + *Lemna gibba* y un 1.86% en reactor de control, mientras que los resultados en la investigación realizada por Castillo (2017), la eficiencia de remoción de fosforo total utilizando las macrófitas flotantes *Lemna sp* (*Lemna minor*)

fue del 31%, en base a ello podemos decir que la eficiencia de remoción con el tratamiento con *Lemna gibba* de la presente investigación fue presente investigación es mayor.

6.2.2 Materia Orgánica

- Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno: Aplicando un cálculo matemático se determinó la eficiencia del tratamiento, dando como resultado una eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno es de 78.79 % con la macrófita flotante *Lemna minor*, 77.45% con la macrófita flotante *Lemna gibba*, 88.5% con la asociación de macrófitas flotantes *Lemna minor+Lemna gibba* y un 54.15% en reactor de control, mientras que los resultados en la investigación realizada por Tuesta Flores, (2016) la eficiencia de remoción de la materia orgánica utilizando la macrófita flotante *Lemna minor* es del 50%. Asimismo, Saavedra Castillo, (2017) determinó la eficiencia de remoción de la demanda bioquímica oxígeno utilizando macrófitas flotantes de oxígeno es de 65.18%, en base a ello podemos decir que la eficiencia de remoción de la asociación de macrófitas flotantes *Lemna minor+Lemna giba* de la presente investigación es mayor.
- Para la demanda Química de Oxígeno: Aplicando un cálculo matemático se determinó la eficiencia del tratamiento, dando como resultado una eficiencia en la remoción de la demanda química de oxígeno de 83.65 % con la macrófita flotante *Lemna minor*, 80.98% con la macrófita flotante *Lemna gibba*, 86.39% con la asociación de macrófitas flotantes *Lemna minor + Lemna gibba* y un 58.92% en reactor de control, mientras que los resultados en la investigación realizada por Tuesta Flores, (2016) la eficiencia de remoción de la materia orgánica utilizando la macrófita flotante *Lemna minor* es del 50%, así mismo Saavedra Castillo, (2017) la eficiencia de remoción de la demanda química oxígeno utilizando macrófitas flotantes fue de 57.18%, en base a ello podemos decir que la

eficiencia de remoción de la asociación de macrófitas flotantes *Lemna minor*+*Lemna gibba* de la presente investigación es mayor.

6.2.3 Tasa Relativa de Crecimiento

Aplicando la ecuación se calculó la tasa relativa de crecimiento de la *Lemna minor*, *Lemna gibba*, y de la asociación de *Lemna minor* y *Lemna Gibba* en el día 17, donde se obtuvieron los siguientes resultados 0.1187 d^{-1} , 0.1202 d^{-1} , y 0.1229 d^{-1} respetivamente, así mismo Sierra et al. (2016), determino que la tasa relativa de crecimiento encontrada aproximadamente fue de 0.1560 d^{-1} en los reactores evaluados, en base a ello podemos decir que la tasa relativa de crecimiento de *Lemna minor*, *Lemna gibba* y la asociación de *Lemna minor* y *Lemna gibba* son menores. Sin embargo, aun así los resultados obtenidos evidencian la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica del agua residual doméstica las cuales fueron degradadas de forma rápida gracias a la presencia de las macrófitas flotantes.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Durante la ejecución del trabajo de investigación, el cual va desde el planteamiento del proyecto, revisión bibliográfica, planteamiento del problema, diseño y metodología, la parte experimental y el procesamiento de la información en gabinete, se siguieron los procedimientos establecidos por las buenas prácticas de la ingeniería, cumpliendo con el Código Nacional de la Integridad Científica del Concytec y el código de ética de investigación de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por RDU N° 210-2017-CU. Así mismo se precisa que para el desarrollo del contenido de la presente investigación, no se incurrió en el plagio parcial ni total de otros autores.

V. CONCLUSIONES

- De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos se concluye que la asociación de las macrófitas *Lemna minor* y *Lemna gibba* como tratamiento para la remoción de nutrientes (Nitrógeno total y Fósforo total) y materia orgánica (Demanda química de oxígeno y Demanda bioquímica de oxígeno) es viable, ya que se obtuvieron eficiencias de remoción de 67.72%, 70.19%, 86.39 % y 80.85%, respectivamente.
- Las aguas residuales provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal de distrito de Independencia presentó concentraciones iniciales de 56 mg/L de Nitrógeno Total y 8.05 mg/L de Fósforo Total (nutrientes) sobrepasando los valores establecidos en Directiva 91/271/CEE en 303% y 273%, respectivamente. Asimismo, presentó concentraciones de iniciales de 165 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxígeno y 383.9 mg/L de Demanda Química de Oxígeno, las cuales sobrepasaron el D.S 003-2010-MINAM en 65% y 92%, respectivamente.
- De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos se concluye que el tratamiento con *Lemna minor* presentó eficiencias de remoción 60.82% para nitrógeno total, 53.81% para fósforo total, 78.70 % para DBO₅, 83.65% para DQO. Asimismo, de igual forma, el tratamiento con *Lemna gibba* presentó eficiencias de remoción de 61.31%, 57.36%, 77.45% y 80.98% para nitrógeno total, fósforo total, DBO₅ y DQO, respectivamente.
- La tasa relativa de crecimiento de la *Lemna minor*, *Lemna gibba* y la asociación de estas, tienen una influencia significativa y directamente proporcional en la remoción de nutrientes y materia orgánica, debido a que el aumento de la cantidad de macrófitas influyó en la disminución de las concentraciones, ya que la tasa relativa de crecimiento promedio determinada fue de 0.1206 d⁻¹ en los tratamientos evaluados, denotando así que existe una degradación rápida de los nutrientes por ser esenciales para su crecimiento.
- Las eficiencias de remoción de nutrientes y materia orgánica en las aguas residuales domésticas del distrito de Independencia, son similares

aplicando tratamientos con *Lemna gibba*, *Lemna minor* de forma individual, así como de forma asociada.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar pruebas de tratamiento de la asociación de la *Lemna minor* y *Lemna gibba*, en diferentes condiciones de clima, para evaluar su efectividad en la remoción nutrientes y materia orgánica presentes en las aguas residuales domésticas, ya que la temperatura y disponibilidad de luz son factores que contribuyen a la remoción de contaminantes.
- Se recomienda usar este tipo de sistemas de tratamiento a gran escala para remediar aguas contaminadas, ya que se ha demostrado su eficiencia de remoción y su efecto en la reducción de los parámetros de DBO₅, DQO, fosforo total y nitrógeno total.
- Se recomienda realizar pruebas con otros tipos de aguas residuales, para evaluar su eficiencia de remoción de la asociación de las especies *Lemna minor* y *Lemna gibba*, debido a presenta una alta adaptabilidad a medios contaminados.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abhayawardhana, M. L. D. D., Bandara, N. J. G. J., & Rupasinge, S. K. L. S. (2019). Removal of Heavy Metals and Nutrients from Municipal Wastewater using *Salvinia molesta* and *Lemna gibba*. *Journal of Tropical Forestry and Environment*, 9(2). <https://doi.org/10.31357/jtfe.v9i2.4469>.
- Alameda, D., & Villar, R. (2009). Moderate soil compaction: Implications on growth and architecture in seedlings of 17 woody plant species. *Soil and Tillage Research*, 103(2), 325–331. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.10.029>
- Alarcón-Herrera, T., Zurita Martínez, F., Garcia-Peréz, A., Vidal, G., Maine, A., Rivas, A., Moeller, G., & Vera Puerto, I. L. (2018). Humedales de tratamiento : alternativa de saneamiento de aguas. In *ResearchGate* (Issue June).
- Alarcón Herrera, T. T., Zurita Martínez, F., Lara Borrero, J. A., & Vidal, G. (2018). Humedales de tratamiento : alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina. In *ResearchGate* (Issue June). https://www.researchgate.net/publication/325722763_Humedales_de_tratamiento_alternativa_de_tratamiento_de_aguas_residuales_aplicable_en_America_Latina?enrichId=rgreq-8585dd610e95c4a91c9d2c5bb1b036f8-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzMyNTcyMjc2MztBUzo2MzY3OTc
- Alegría Muñoz, W. (2016). *Texto Básico para Profesional en Ingeniería Forestal en el Área de Fisiología Vegetal*.
- Aponte, H., & Pacherres, C. O. (2013). *Crecimiento y Propagación de Limnobium Laevigatum (Hydrocharitaceae) Bajo Diferentes Concentraciones Denutrientes*.
- Arteaga-Cortez, V. M., Quevedo-Nolasco, A., Del Valle-Paniagua, D. H., Castro-Popoca, M., Bravo-Vinaja, Á., & Ramírez-Zierold, J. A. (2019). Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(5), 319–342. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12>

- Aurelio, R., López, N., Vong, Y. M., Ortega, R., & Olgúin, E. J. (2004). *fundamentos y aplicaciones*. 69–83.
- Beascochea, E. de M., Muñoz, J. de M., & Fernandez de la Mora, M. D. C. (2004). *Manual de fitodepuración Filtros de macrofitas flotantes*.
- Blanco, S., Barrios Barcia, E., Puig Infante, A., Fernández Rodríguez, R., Rodríguez-Carreño Alonso, B., & Corrochano Codorníu, A. (2015). *Id_Tax. Catálogo y claves de identificación de organismos fitobentónicos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico* (Issue August).
- Brack Egg, A., & Mendiola Vargas, C. (2012). *Ecología del Perú (3ra ed.)*.
- Callohuanca Pariapaza, M. A. (2019). *Uso de Macrófitas Flotantes en la Remoción de Nitrógeno, Fósforo y Sulfatos de las Aguas Residuales de Puno*.
- Canales-Gutiérrez, Á. (2010). EVALUACIÓN DE LA BIOMASA Y MANEJO DE *Lemna gibba* (LENTEJA DE AGUA) EN LA BAHÍA INTERIOR DEL LAGO TITICACA, PUNO. *Ecología Aplicada*, 9(1–2), 91. <https://doi.org/10.21704/rea.v9i1-2.399>
- Castillo, E. (2017). *Eficiencia de Lemna sp y Eichhornia crassipes, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín.(Tesis de grado)*. 107.
- Ceschin, S., Crescenzi, M., & Iannelli, M. A. (2020). Phytoremediation potential of the duckweeds *Lemna minuta* and *Lemna minor* to remove nutrients from treated waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(13), 15806–15814. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08045-3>
- Culley, D. D., Rejmánková, E., Květ, J., & Frye, J. B. (2009). Production, Chemical Quality and Use of Duckweeds (Lemnaceae) in Aquaculture, Waste Management, and Animal Feeds. *Journal of the World Mariculture Society*, 12(2), 27–49. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1981.tb00273.x>
- Espigares García, M., & Pérez López, J. A. (n.d.). *Aguas Residuales. Composición*.

- Fernandez Gonzales, J., Beascochea, E. de M., Muñoz, J. de M., & Curt Fernandez de la Mora, D. (2019). *Manual de fitodepuración. Filtro de macrofitas en flotación. July.*
- García-Gozalbes, C. C., Arbib, Z., & Perales-Vargas-Machuca, J. A. (2015). Cinéticas de crecimiento y consumo de nutrientes de microalgas en aguas residuales urbanas con diferentes niveles de tratamiento. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 6(1), 49–68.
- García Murillo, P., Fernández Zamudio, R., & Cirujano Bracamonte, S. (2000). Habitantes del agua. *Comunitec Nueva Epoca*, 2(6), 278.
- García, Z. (2012). Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Tesis*, 282.
- Gardner, W. S., Chandler, J. F., & Laird, G. A. (1989). Organic nitrogen mineralization and substrate limitation of bacteria in Lake Michigan. *Limnology and Oceanography*, 34(2), 478–485. <https://doi.org/10.4319/lo.1989.34.2.0478>
- Gómez Lordan, Y. M. (2017). *Evaluación de la Eficiencia de Humedales Artificiales Verticales empleando Cyperus alternifolius y Chrysopogon zizanioides para el Tratamiento de Aguas Servidas TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS*. 10–12.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). Metodología de la investigación. In *Metodología de la investigación*. <https://doi.org/-> ISBN 978-92-75-32913-9
- Jiménez, A. R., & Jacinto, A. O. P. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 82, 175–195.
- Körner, S., Lyatuu, G. B., & Vermaat, J. E. (1998). The influence of Lemna gibba L. on the degradation of organic material in duckweed-covered domestic wastewater. *Water Research*, 32(10), 3092–3098. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00054-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00054-2)

- Lacuesta, C., & Cristobal, M. (2013). *Eficiencia de tres macrófitas en la remediación de las aguas del arroyo Miguelete*.
- Landolt, E., & Schmidt-mumm, U. (2009). *Lemnaceae*.
- Larios Ortiz, L. (2009). Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 13(2), 0–0.
- Lazcano Carreño, C. (2016). *Biología ambiental de aguas y aguas residuales*. 552. <https://www.ecoediciones.com/libros/libros-de-ingenieria-ambiental/biologia-ambiental-de-aguas-y-aguas-residuales-1ra-edicion/>
- Luévano Vargas, J. D. (2016). *Propuesta metodológica para reducir la concentración de nutrientes (PO 4 3 , NH 4 + , NO 3 -) en bioensayos a la intemperie con Spirodela polyrhiza*.
- Manahan, S. E. (2011). *Introducción a la Química Ambiental*.
- Masters, G. M., & Ela, W. P. (2008). Introducción a la ingeniería medioambiental. In *British Journal of Cancer* (Vol. 25, Issue 3).
- Melcón Fernández, E. (2019). *Aguas Residuales como Fuente de Nutrientes*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10017/41899>
- Metcalf, & Eddy. (1995a). *Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización*.
- Metcalf, & Eddy. (1995b). INGENIERIA DE LAS AGUAS RESIDUALES. *TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACIÓN , VOLUMEN I*, 53–53.
- MINAM. (2009). Tratamiento y reuso de aguas residuales. *Manual Para Municipios Ecoeficientes*, 511, 179.
- Ministerio de vivienda construcción y saneamiento. (2018). Reglamento Nacional De Edificaciones. *Reglamento Nacional De Edificaciones*, 53(9), 1689–1699.
- Mkandawire, M., & Dudel, E. (2007). Are Lemna spp. effective phyto remediation agents? *Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability*, 1(1), 56–71.
- Mkandawire, M., & Dudel, E. G. (2005). Assignment of Lemna gibba L.

- (duckweed) bioassay for in situ ecotoxicity assessment. *Aquatic Ecology*, 39(2), 151–165. <https://doi.org/10.1007/s10452-004-5411-1>
- Núñez López, R. A., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R., & Olguín, E. J. (2004). Fitorremediación: Fundamentos y Aplicaciones. *Diversity*.
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental*, 36.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2017a). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. In (Vol. 8, Issue 18, p. 180).
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2017b). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*.
- Oron, G. (1990). Economic considerations in wastewater treatment with duckweed for effluent and nitrogen renovation. *Water Pollution Control Federation*, 62, 692.
- Oron, G., Wildschut, L. R., & Porath, D. (1985). Waste water recycling by duckweed for protein production and effluent renovation. *Water Science and Technology*, 17(4-5-5 pt 2), 803–817. <https://doi.org/10.2166/wst.1985.0181>
- Paris, C., Hadad, H., Maine, M. A., & Suñe, N. (2005). Eficiencia de dos macrófitas flotantes libres en la absorción de metales pesados. *Limnetica*, 24(3-4), 237–244.
- Patel, D., & Kanungo, V. (2010). Phytoremediation Potential of Duckweed (Lemna Minor L: a Tiny Aquatic Plant) in the Removal of Pollutants From Domestic Wastewater With Special Reference To Nutrients. *The Bioscan*, 5(3), 355–358.
- Pérez, H. (2012). Naturaleza del Agua Residual Doméstica y su Tratamiento. *Universidad de Piura*, 1–23.

- Prieto Martinez, H. E. (2017). Manual práctico de hidroponía (3ra ed.). *Aprenda Fácil Editora*.
- Roldán Pérez, G. (2008). *Fundamentos de la Limnología Neotropical* (2 ° Edició).
- Romero Rojas, J. A. (2016). Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño (3ra ed.). In *Escuela Colombiana de Ingeniería*.
- Saavedra Castillo, B. (2017). Aplicación de macrofitas en flotación como ayuda en el tratamiento de aguas residuales en la laguna UDEP. *Universidad de Piura*, 118.
- Secretariado de Alianza por el agua. (2008). Manual de depuración de aguas residuales urbanas. *Secretariado de Alianza Por El Agua*, 264.
- Sierra Cuello, L., Hernández., Ramírez Francisco, L., Rodríguez, M., Pablo, J., F, S. C. L., Hernández, R., Francisco, L., Miranda, R., Pablo, J., & Popular, U. (2016). *Determinacion de la tasa relativa de crecimiento de la lemna minor sp en el sistema de tratamiento de aguas residuales municipales Determination of relative effluent treatment system municipal wastewater treatmen minor sp en el tratamiento de efluentes de*.
- Stephenson, M., Turner, G., Pope, P., Colt, J., Knight, A., & Tchobanoglous, G. (1980). *The use and potential of aquatic species for wastewater treatment*.
- Trapote Jaume, A. (2013). Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas. *Kio y Gu*, 11–16. <https://doi.org/10.2307/j.ctt20fw7zh.4>
- Tuesta Flores, N. V. (2016). Evaluación de las especies Lemna minor L. (“Lenteja de agua”) y Eichhornia crassipes M. (“Jacinto de agua”) en remoción de materia orgánica biodegradable en efluentes de piscigranjas de la empresa acuícola Alto Mayo, provincia de Moyobamba-2014. *Universidad Nacional de San Martín*, 85. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/201/6052414.pdf?squence=1>
- UNESCO. (2009). *Water in a Changing World*. https://doi.org/10.1142/9781848160682_0002

- United Nations. (2019). *World population prospects 2019: highlights*.
- Western, D. (2001). Human-modified ecosystems and future evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(10), 5458–5465. <https://doi.org/10.1073/pnas.101093598>
- Yoval, M. I. L. S. (n.d.). *Capítulo IV Reúso de agua residual* . 171–210.
- Zirschky, J., & Reed, S. (1998). The use of duckweed for wastewater treatment. Research Journal of Water Pollution Control Federation. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 60, 1253–1258.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UND.	CATEGORIZACIÓN DE LA VARIABLE	TÉCNICA	INSTRUMENTO	MÉTODO
¿Cuál será la eficiencia en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia, usando Lemna minor y Lemna gibba en forma asociada?	Evaluar la eficiencia de la asociación de las macrófitas <i>Lemna gibba</i> y <i>Lemna minor</i> en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.	La asociación de las macrófitas <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> es eficiente en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia	V1 independiente:	La Lemna es género de macrófitas acuáticas monocotiledóneas de flotación libre de la familia Lemnaceae., conocidas comúnmente como lenteja de agua (Mkandawire & Dudel, 2007). Asimismo, su crecimiento está determinado por la disponibilidad de nutrientes (Sierra Cuello et al., 2016).	Se efectuará la medición del crecimiento para cada especie de manera individual y asociadas	D.1 <i>Lemna minor</i>	Tasa relativa de crecimiento (TRC)	d-1	Numérica continua	Observación experimental	Ficha de observación	Hipotético deductivo
						D.2 <i>Lemna gibba</i>	Tasa relativa de crecimiento (TRC)	d-1				
						D.3 <i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i> (asociación)	Tasa relativa de crecimiento (TRC)	d-1				
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPOTESIS ESPECÍFICO	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UND.	CATEGORIZACIÓN DE LA VARIABLE	TÉCNICA	INSTRUMENTO	MÉTODO
P.1 ¿Cuáles serán las concentraciones de nutrientes y materia orgánica que tienen las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia?	O.1 Determinar las concentraciones de materia orgánica y nutrientes de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia	Las concentraciones de materia orgánica y nutrientes de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia superan los valores establecidos en los Límites Máximos Permisibles (LMP) del D.S N°003- 2010-MINAM y la Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales.	Macrófitas flotantes									
P.2 ¿Cuál será la eficiencia de las macrófitas <i>Lemna gibba</i> y <i>Lemna minor</i> en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia?	O.2 Determinar la eficiencia de las macrófitas <i>Lemna gibba</i> y <i>Lemna minor</i> en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.	H.2 Las macrófitas <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> tienen una alta eficiencia en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.	V2 dependiente:	Eliminación de nutrientes y materia orgánica de forma directa e indirecta por la absorción y metabolismo de la planta (Fernández	Se efectuará la medición de remoción de nitrógeno, fósforo mediante la diferencia de su concentración final e inicial. De	D.1.Nutrientes	Porcentaje de remoción de Nitrógeno Total Porcentaje de remoción de Fósforo Total	% %	Numérica continua	Observación experimental	Ficha de observación	

<p>P.3 ¿Cómo influirán la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia?</p>	<p>O.3 Analizar la influencia la tasa relativa de crecimiento de las macrófitas <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia</p>	<p>H.3 La tasa relativa de crecimiento de las macrófitas <i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i> tienen una influencia significativa y directa en la remoción de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales domésticas provenientes del tratamiento primario de la PTAR municipal del distrito de Independencia.</p>	<p>las aguas residuales domésticas</p>	<p>Gonzales et al., 2019; Arteaga-Cortez et al., 2019)</p>	<p>igual manera, la medición de remoción de materia orgánica me mediante la diferencia de la concentración final e inicial de la DBO₅ y DQO</p>	<p>Porcentaje de remoción de DBO₅</p>	<p>%</p>
					<p>D.2 Materia orgánica</p>	<p>Porcentaje de remoción de DQO</p>	<p>%</p>

ANEXO 2. FICHAS DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

FICHA PARA LA VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO						
I. Datos generales						
1.1. Nombres y apellidos del experto:	JULIO RODRIGUEZ VALENCIA	N° DNI	06781102			
1.2. Especialidad:	TRATAMIENTO DE AGUAS					
1.3. Título profesional:	INGENIERO QUÍMICO					
1.4. Institución en la que labora:	DAS EXPÉRTO AMBIENTAL					
1.5. Cargo que ocupa:	GERENTE DE VENTAS					
1.6. Autor del instrumento:	Kevin Junnior Alvarez Ccatamayo/Jilton Muñoz Quilo					
1.7. Título de la investigación:	"MACRÓFITAS FLOTANTES (Lemna minor y Lemna gibba) PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA"					
II. Aspectos de la validación						
Marcar con una x la calificación que corresponda a cada criterio						
Criterios		Deficiente	Baja	Regular	Buena	Muy buena
Claridad	Está formulado con lenguaje claro y preciso					X
Objetividad	Expresado en conductas observables					X
Relevancia	Adecuado para cumplir los objetivos de la investigación					X
Organización	Existe un orden lógico					X
Especificidad	Acorde al nivel de información				X	
Intencionalidad	Adecuado para identificar las características de la información seleccionada				X	
Suficiencia	Comprende aspectos de cantidad y calidad de la información				X	
Coherencia	Entre las dimensiones e indicadores de la variable				X	
Metodología	Responde a la metodología establecida para la investigación				X	
Pertinencia	Es adecuado para el tipo de investigación				X	
Cuento total			0	0	6	4
		A	B	C	D	E
III. Coeficiente de validez						
Fórmula = $\frac{(1 \times A) + (2 \times B) + (3 \times C) + (4 \times D) + (5 \times E)}{50} = 0.88$						
Calificación : Aprobado.....				<i>Categoría</i>	<i>Intervalo</i>	
				Desaprobado	0.00 - 0.60	
				Observado	< 0.60 - 0.70	
				Aprobado	< 0.70 - 1.00	
IV. Opinión del experto						
Fecha: 10/06/2021			Firma del experto: 			

FICHA PARA LA VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO						
I. Datos generales						
1.1. Nombres y apellidos del experto:	Zulay Vanessa Guillermo Paccori	N° DNI	46303877			
1.2. Especialidad:	Biología					
1.3. Título profesional:	Bióloga					
1.4. Institución en la que labora:	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental					
1.5. Cargo que ocupa:	Especialista Ambiental					
1.6. Autor del instrumento:	Kevin Junnior Alvarez Ccatamayo/Jilton Muñoz Quilo					
1.7. Título de la investigación:	"MACRÓFITAS FLOTANTES (Lemna minor y Lemna gibba) PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA"					
II. Aspectos de la validación						
Marcar con una x la calificación que corresponda a cada criterio						
Criterios		Deficiente	Baja	Regular	Buena	Muy buena
Claridad	Está formulado con lenguaje claro y preciso					X
Objetividad	Expresado en conductas observables				X	
Relevancia	Adecuado para cumplir los objetivos de la investigación				X	
Organización	Existe un orden lógico					X
Especificidad	Acorde al nivel de información					X
Intencionalidad	Adecuado para identificar las características de la información seleccionada				X	
Suficiencia	Comprende aspectos de cantidad y calidad de la información				X	
Coherencia	Entre las dimensiones e indicadores de la variable				X	
Metodología	Responde a la metodología establecida para la investigación				X	
Pertinencia	Es adecuado para el tipo de investigación				X	
Cuento total			0	0	7	3
		A	B	C	D	E
III. Coeficiente de validez						
Fórmula = $\frac{(1 \times A) + (2 \times B) + (3 \times C) + (4 \times D) + (5 \times E)}{50} = 0.86$						
Calificación : <u>Aprobado</u>		Categoría		Intervalo		
		Desaprobado		0.00 - 0.60		
		Observado		< 0.60 - 0.70		
		Aprobado		< 0.70 - 1.00		
IV. Opinión del experto						
Fecha: 10/06/2021			Firma del experto:			
						

FICHA PARA LA VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO						
I. Datos generales						
1.1. Nombres y apellidos del experto:	Godofredo Teodoro León Ramírez	N° DNI	6048665			
1.2. Especialidad:	Química					
1.3. Título profesional:	Ingeniero Químico					
1.4. Institución en la que labora:	Sedapal					
1.5. Cargo que ocupa:	Especialista de Planta					
1.6. Autor del instrumento:	Kevin Junnior Alvarez Ccatamayo/Jilton Muñoz Quilo					
1.7. Título de la investigación:	"MACRÓFITAS FLOTANTES (Lemna minor y Lemna gibba) PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA"					
II. Aspectos de la validación						
Marcar con una x la calificación que corresponda a cada criterio						
Criterios		Deficiente	Baja	Regular	Buena	Muy buena
Claridad	Está formulado con lenguaje claro y preciso					X
Objetividad	Expresado en conductas observables				X	
Relevancia	Adecuado para cumplir los objetivos de la investigación					X
Organización	Existe un orden lógico				X	
Especificidad	Acorde al nivel de información					X
Intencionalidad	Adecuado para identificar las características de la información seleccionada					X
Suficiencia	Comprende aspectos de cantidad y calidad de la información				X	
Coherencia	Entre las dimensiones e indicadores de la variable					X
Metodología	Responde a la metodología establecida para la investigación				X	
Pertinencia	Es adecuado para el tipo de investigación				X	
Cuento total			0	0	5	5
		A	B	C	D	E
III. Coeficiente de validez						
Fórmula = $\frac{(1 \times A) + (2 \times B) + (3 \times C) + (4 \times D) + (5 \times E)}{50} = 0.90$						
Calificación : <u>Aprobado</u>					<i>Categoría</i>	<i>Intervalo</i>
					Desaprobado	0.00 - 0.60
					Observado	< 0.60 - 0.70
					Aprobado	< 0.70 - 1.00
IV. Opinión del experto						
Fecha: 10/06/2021			Firma del experto: 			

ANEXO 3 INFORMES DE ENSAYO DE LABORATORIO

CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA


L: F096-142
R: 01
V.V: 2020-08-03

Datos del cliente
 Razón Social: **Silton Muñoz Quiro**
 Persona de contacto: **Silton Muñoz Quiro** Correo / Teléfono: **simunozquiro@gmail.com**
 Nombre del proyecto:

Orden de servicio: **2663**
 Plan de Muestreo:
 Informe de ensayo: **DE-21-6174 / CC-21-6103**
 Procedencia o lugar de muestreo:

Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		UBICACIÓN		N° FRASCOS		PRESERVANTE		PARAMETROS DE ENSAYO					PARAMETRO IN SITU		OBSERVACIONES		
				Grupo	Sub-grupo	Coordenadas (UTM)	V	P	Resq	Resq	Resq	Resq	T° Nitro (°C)	pH (medida en PH)	CE (uakem) Sólidos (ppm)	OD (mg/L)	Cloro Libre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)			
1	Evaluados-PTAR	M-21	F: 11-06-21 H: 12:15 M	AR	Municipal	N: E		6		Resq	Resq	Resq	Resq								
2			F: H:			N: E:															
3			F: H:			N: E:															
4			F: H:			N: E:															
5			F: H:			N: E:															
6			F: H:			N: E:															
7			F: H:			N: E:															
8			F: H:			N: E:															

Descripción de equipos utilizados:

Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo
1		
2		
3		
4		

Observaciones / Comentarios:

Leyenda

F: Fecha	N: Norte	V: Vidrio	T° Nitro: Temperatura de Muestra
H: Hora	E: Este	P: Plástico	T° Amb: Temperatura ambiente

Muestreado por: Silton Muñoz Quiro **Cliente:** _____

Nombre: _____ **Fecha:** 11-06-21 **Firma:** [Firma]

Observaciones:

Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042

DRPD	SUBTERANEA	Municipal	SUB-GRUPO
AN: Agua Natural	AB: Agua de Red	AD: Agua de Consumo	AE: Agua para Uso Industrial
AF: Agua para Uso Agrícola	AG: Agua para Uso Doméstico	AH: Agua para Uso Industrial	AI: Agua para Uso Industrial
AL: Agua para Uso Industrial	AM: Agua para Uso Industrial	AN: Agua para Uso Industrial	AO: Agua para Uso Industrial
AP: Agua de Proceso	AQ: Agua de Proceso	AR: Agua de Proceso	AS: Agua de Proceso

Muestreado por: ALAB Cliente

SEDE PRINCIPAL: Prodigación Zaremla M.D. 2da 3 Belén-Cajal - Al Guarco, Chilo - 187 Belén, Chile
 SEDE AREQUIBA: Prodigación Zaremla M.D. 2da 3 Belén-Cajal - Al Guarco, Chilo - 187 Belén, Chile
 Web: www.alab.com.pe Email: ventas@alab.com.pe - RUC: 2060601801 - T: 01 4531888 - 01 9817 6665 / 1827 4531 9344 4955

INFORMES

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6174

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : JILTON MUÑOZ QUILO
2.-DIRECCIÓN : Jr. Historia 157, San Borja
3.-PROYECTO : NO APLICA
4.-PROCEDENCIA : NO APLICA
5.-SOLICITANTE : JILTON MUÑOZ QUILO
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 0000002663-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2021-06-22

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-06-11
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-06-11 al 2021-06-22



Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP N° 191207



Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6174
III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Amonio ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23 rd Ed. 2017	Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Fósforo Total ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P B(Item 5) y E, 23 rd Ed. 2017	Phosphorus. Ascorbic Acid Method
Nitrato ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO3- E, 23 rd Ed. 2017	Nitrogen (Nitrate). Colorimetric Method
Nitrógeno Total ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23 rd Ed. 2017	Nitrogen (Total). Colorimetric Method

SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6174
IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-21811
CÓDIGO DEL CLIENTE:				ECUALIZADOR PTAR
COORDENADAS:				NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				11-06-2021 12:15
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Amonio (*)	(mg NH4/L)	0,05	0,13	94,70
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	165,0
Demanda Química de Oxígeno (*)	(mg O2/L)	2,0	5,0	383,9
Fósforo Total (*)	mg P/L	0,004	0,010	8,505
Nitrato (*)	(mg NO3-/L)	0,018	0,044	1,022
Nitrógeno Total ²	(mg N/L)	0,050	0,120	56,217

¹) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"



CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA

L: 006142
P: 2004-0-0
IV: de

Orden de servicio: OS-2021-2754 Pág. de

Plan de Muestreo:

Informe de ensayo: E-21-6442 / CC-21-6359

Procedencia o lugar de muestreo: Universidad Nacional del Callao

Datos del cliente

Razón Social: Jiltau Muñoz Quiro

Persona de contacto: Jiltau Muñoz Quiro

Nombre del proyecto: Investigación

Correo / Teléfono: jmunozquito@gmail.com

Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		Ubicación	N° Frascos	PARAMETROS DE ENLAYO								OBSERVACIONES			
				Grupo	Sub-grupo			Coordenadas (UTM)	V	P	T° Agua (°C)	pH (valor de pH)	CE (micro Sialidad (ppm))	OD (mg/L)	Cloro Libre (mg/L)		Cloro Total (mg/L)		
1	B1km	H-021 22676	F: 15-06-21 H: 17:26	AR	Municipal	N	1	X											
2	B2km	H-021 22677	F: 15-06-21 H: 17:26	AR	Municipal	N	1	X											
3	B1Lg	H-021 22678	F: 15-06-21 H: 17:26	AR	Municipal	N	1	X											
4	B2Lg	H-021 22679	F: 15-06-21 H: 17:26	AR	Municipal	N	1	X											
5	B1mtz	H-021 22680	F: 15-06-21 H: 17:26	AR	Municipal	N	1	X											
6	B2mtz	H-021 22681	F: 15-06-21 H: 17:26	AR	Municipal	N	1	X											
7	Pc	H-021 22682	F: 15-06-21 H: 17:26	AR	Municipal	N	1	X											
8			F: H:			N E													

Descripción de equipos utilizados:

Item	Código interno del equipo	Número de equipo
1		
2		
3		
4		

Legenda: V: Vaseo; P: Plástico; T° Agua: Temperatura de Muestra; T° Amb: Temperatura ambiente

Muestreado por: Jiltau Muñoz Quiro

Nombre: Jiltau Muñoz Quiro

Fecha: 15-06-21

Firma: [Firma]

Ubicación: [Ubicación]

Coordenadas: [Coordenadas]

Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042

GRUPO: SUBTERRANEO MUNICIPAL, DOMESTICO INDUSTRIAL MUNICIPAL, REGION Y LAGUNA ARTIFICIAL, REDDA (Redda, Mar, Embalse), AGUA POTABLE Y ENTUBACION, OTRAS FUENTES DE AGUA POTABLE, AGUA SUBTERRANEO, AGUA SUPERFICIAL, AGUA DE SUPERFICIE

Muestreado por: ALAB Cliente



Web site: www.alab.com.pe E-mail: grupo.comercial@alab.com.pe RUC: 20606951801 - T: (01402) 389 - (0171) 0605 Cel: 94699598 - 92044498

Documento controlado. Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización de ALAB.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6442

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : JILTON MUÑOZ QUILO
2.-DIRECCIÓN : Jr. Historia 157, San Borja
3.-PROYECTO : INVESTIGACION
4.-PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
5.-SOLICITANTE : JILTON MUÑOZ QUILO
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 0000002754-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2021-07-05

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 7
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-06-15
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-06-15 al 2021-07-05



Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP N° 191207



Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6442

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Nitrógeno Total ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23 rd Ed. 2017	Nitrogen (Total), Colorimetric Method

SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

² Ensayo acreditado por el IAS

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6442

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-22676	M-21-22677	M-21-22678	M-21-22679
CÓDIGO DEL CLIENTE:	R1LM	R2LM	R1LG	R2LG
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Residual Doméstica	Residual Doméstica	Residual Doméstica	Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :	15-06-2021 17:26	15-06-2021 17:26	15-06-2021 17:26	15-06-2021 17:26
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Nitrógeno Total ²	(mg N/L)	0,050	0,120	45,270 48,804 42,367 43,537

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6442

ITEM	5	6	7			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-22680	M-21-22681	M-21-22682			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	R1LM-LG	R2LM-LG	RC			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Doméstica	Residual Doméstica	Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	15-06-2021 17:26	15-06-2021 17:26	15-06-2021 17:26			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Nitrógeno Total ²	(mg N/L)	0,050	0,120	43,342	40,026	45,098

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"



CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA

P-096.142
L: 2023-06-03
IV:

Datos del cliente: **Jilton Muñoz Quiro**
 Razón Social: **Jilton Muñoz Quiro**
 Persona de contacto: **Jilton Muñoz Quiro** Correo / Teléfono: **jmunozquiro@gmail.com / 962329244**
 Nombre del proyecto: **Universidad Nacional de Callo**

Orden de servicio: **OS-2021-2754**
 Plan de Muestreo: **15-21-6685**
 Informe de ensayo: **15-21-6685**
 Procedencia o lugar de muestreo: **Universidad Nacional de Callo**

Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		Ubicación	N° Frascos	Preservante	PARAMETROS DE ENSAYO					PARAMETRO IN SITU			OBSERVACIONES	
				Grupo	Sub-grupo				Coordenadas (UTM)	V	P	T° Mtra (°C)	pH (Unidad de pH)	CE (adcm)	OD (mg/L)	Cloro Libre (mg/L)		Cloro Total (mg/L)
1	R1m	4-21 23742	F: 15-06-21 H: 17:00	Q Municipal	N	E	1	X										
2	R2Lm	23743	F: 15-06-21 H: 17:00	Q Municipal	N	E	1	X										
3	R1Lg	23744	F: 15-06-21 H: 17:00	Q Municipal	N	E	1	X										
4	R2Lg	23745	F: 15-06-21 H: 17:00	Q Municipal	N	E	1	X										
5	R1matg	23746	F: 15-06-21 H: 17:00	Q Municipal	N	E	1	X										
6	R2LmLg	23747	F: 15-06-21 H: 17:00	Q Municipal	N	E	1	X										
7	Rc	23748	F: 15-06-21 H: 17:00	Q Municipal	N	E	1	X										
8			F: H:		N: E:													

Descripción de equipos utilizados:

Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo
1		
2		
3		
4		

Observaciones / Comentarios:

Legenda

F: Fecha	H: Hora	N: Norte	E: Este	V: Vidrio	P: Plastico	T° Mtra: Temperatura de Muestra	T° Amb: Temperatura ambiente
----------	---------	----------	---------	-----------	-------------	---------------------------------	------------------------------

Muestreado por: **Jilton Muñoz Quiro**
 Fecha: **18-06-21**
 Firma: *[Firma]*

CE: Congruencia Electrónica
 OD: Oxiómetro
 T° Mtra: Termómetro
 T° Amb: Termómetro

ANALITICA
 18 JUN 2021
 17:50
 CALLO

Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042

grupo	Sub-grupo	Muestra	Templ	sub-grupo
AK	Agua Industrial			
AR	Agua Residual			
AS	Agua Salada			
AP	Agua de Proceso			

Muestreado por: ALAB Cliente

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6685

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : JILTON MUÑOZ QUILO
2.-DIRECCIÓN : Jr. Historia 157, San Borja
3.-PROYECTO : SOIN REGISTRAR
4.-PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
5.-SOLICITANTE : JILTON MUÑOZ QUILO
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 0000002754-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2021-06-30

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 7
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-06-18
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-06-18 al 2021-06-30



Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP N° 191207



Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6685

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Nitrógeno Total ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23 rd Ed. 2017	Nitrogen (Total), Colorimetric Method

SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

² Ensayo acreditado por el IAS

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6685

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-23742	M-21-23743	M-21-23744	M-21-23745
CÓDIGO DEL CLIENTE:	R1LM	R2LM	R1LG	R2LG
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :	18-06-2021 17:00	18-06-2021 17:00	18-06-2021 17:00	18-06-2021 17:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Nitrógeno Total ²	(mg N/L)	0,050	0,120	33,956 36,687 34,893 39,418

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6685

ITEM	5	6	7			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-23746	M-21-23747	M-21-23748			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	R1LMLG	R2LMLG	RC			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	18-06-2021 17:00	18-06-2021 17:00	18-06-2021 17:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Nitrógeno Total ²	(mg N/L)	0,050	0,120	34,269	31,304	34,269

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA

Datos del cliente
 Razón Social: JITON MUÑOZ GUILLO
 Persona de contacto: JITON MUÑOZ GUILLO Correo / Teléfono: jmunozaquillo@gmsi.ig63295u
 Nombre del proyecto: Investigación

L: F-09E-1.42
M: 300046-11

Orden de servicio: OS-2021-2438-Vero Pág. 06 de 06
 Plan de Monitoreo: CC-21-0834
 Informe de ensayo: LG-21-6908
 Procedencia o lugar de muestreo: Universidad Nacional del Callao

Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		Ubicación	N° Frascos	PARAMETROS DE ENSAYO						OBSERVACIONES		
			Muestreo	Sub-grupo			Coordenadas (UTM)	V	P	T° Agua (°C)	pH (medida de saturación)	CE (µm/cm)		OD (mg/L)	Cloro Libre (mg/L)
1	R1 Lm	24425	F: 23/06/21 H: 13:50	Municipal	N: E	1	X								
2	R2 Lm	24426	F: 23/06/21 H: 13:50	Municipal	N: E	1	X								
3	R1 Lg	24427	F: 23/06/21 H: 13:50	Municipal	N: E	1	X								
4	R2 Lg	24428	F: 23/06/21 H: 13:50	Municipal	N: E	1	X								
5	R1 Lm Lg	24429	F: 23/06/21 H: 13:50	Municipal	N: E	1	X								
6	R2 Lm Lg	24430	F: 23/06/21 H: 13:50	Municipal	N: E	1	X								
7	RC	24431	F: 23/06/21 H: 13:50	Municipal	N: E	1	X								
8			F: H:		N: E:										

Descripción de equipos utilizados:

Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo
1		
2		
3		
4		

Legenda
 F: Fecha N: Norte V: Vidrio
 H: Hora E: Este P: Plástico T°: Temperatura de Muestra
 T°: Temperatura ambiente

Muestreado por: Kevin Alvarez (Casta Mayor)
Fecha: 23/06/21
Firma: [Firma]

Clasificación de la Matriz Agua Ref: NTP 214.042

GRUPO	SUB GRUPO
AN: Agua Natural	S: SIFERANCA Mariscal - Termal
AR: Agua Residual	CO: COMESTICA INDUSTRIAL MUNICIPAL
AM: Agua para Uso y Consumo	PR: PRODUCCION Y AGUA INDUSTRIAL
AS: Agua Salada	BE: BEBIDA Potable - Mesa (Envasada)
AP: Agua de Proceso	AG: AGUA DE PRODUCCION Y AGUA DE PRODUCCION
	AGUA PURIFICADA - AGUA DE INYECCION Y REBENCION

Muestreado por: ALAB Cliente

RECIBIDA RECEPCION DE MUESTRAS
23 JUN 2021
19:00
CALLAO

SEDE PRINCIPAL: Investigación, Zamboanga No. 20, 3 Salas de Caldo / SEDE CALLE CALAO: Calle Calao, No. 120, Ciudad Chelva, NTP, Salas de Caldo
 SEDE AREQUIPA: Ubicación: Tumbayán No. 10, Calle Calao, No. 120, Ciudad Chelva, NTP, Salas de Caldo
 SEDE PIURA: Ubicación: Los Grales No. 1120, Graña de Pura, Pura
 Web: www.alab.com.pe Email: ventas@alab.com.pe - RUC: 20600501901 - T: 01 4533388 Cx: 9517-6822 / 9427-4353 / 6326-4648

Documento controlado. Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización de ALAB.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-9242

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : JILTON MUÑOZ QUILO
2.-DIRECCIÓN : Jr. Historia 157, San Borja
3.-PROYECTO : INVESTIGACION
4.-PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
5.-SOLICITANTE : JILTON MUÑOZ QUILO
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 0000002938-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2021-08-04
10.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME MODIFICADO : 2021-08-04

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 6
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-06-23
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-06-23 al 2021-08-04



Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP N° 191207



Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
CIP N° 152207



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-9242

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Nitrógeno Total ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23 rd Ed. 2017	Nitrogen (Total), Colorimetric Method

¹"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

² Ensayo acreditado por el IAS

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-9242

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-24425	M-21-24426	M-21-24427	M-21-24428
CÓDIGO DEL CLIENTE:	R1 Lm	R2 Lm	R1 Lg	R2 Lg
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	I-OPE-1.5			
FECHA y HORA DE MUESTREO :	23-06-2021 13:50	23-06-2021 13:50	23-06-2021 13:50	23-06-2021 13:50
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Nitrógeno Total ²	(mg N/L)	0,050	0,120	30,601 30,679 24,597 27,230

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-9242

ITEM	5	6			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-24430	M-21-24431			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	R2 LmLg	RC			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Municipal	Residual Municipal			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	I-OPE-1.5				
FECHA y HORA DE MUESTREO :	23-06-2021 13:50	23-06-2021 13:50			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Nitrógeno Total ²	(mg N/L)	0,050	0,120	22,451	25,182

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

VI. MODIFICACIONES A LOS INFORMES DE ENSAYO

"Modificación es un Subdivisión del Informe Ensayo Original, Identificado con Número de Serie IE-21-6908, con Fecha de Emisión del 2021-07-06"

"FIN DE DOCUMENTO"

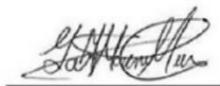
INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-7228

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : JILTON MUÑOZ QUILO
2.-DIRECCIÓN : Jr. Historia 157, San Borja
3.-PROYECTO : INVESTIGACION
4.-PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
5.-SOLICITANTE : JILTON MUÑOZ QUILO
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 0000002938-2021-0001
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2021-07-22

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 7
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-06-28
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-06-28 al 2021-07-22



Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP N° 191207



Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-7228

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Nitrógeno Total ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23 rd Ed. 2017	Nitrogen (Total), Colorimetric Method

SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

² Ensayo acreditado por el IAS

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-7228

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-28305	M-21-28306	M-21-28307	M-21-28308
CÓDIGO DEL CLIENTE:	R1LM	R2LM	R1LG	R2LG
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	I-OPE-1.5			
FECHA y HORA DE MUESTREO :	28-06-2021 16:00	28-06-2021 16:00	28-06-2021 16:00	28-06-2021 16:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Nitrógeno Total ²	(mg N/L)	0,050	0,120	22,877 21,004 21,628 21,706

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-7228

ITEM	5	6	7			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-28309	M-21-28310	M-21-28311			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	R1LM-LG	R2LM-LG	RC			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	I-OPE-1.5					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	28-06-2021 16:00	28-06-2021 16:00	28-06-2021 16:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Nitrógeno Total ²	(mg N/L)	0,050	0,120	19,053	17,103	19,756

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

ANEXO 4. REGISTRO DE CAMPO



FICHA DE REGISTRO DE DATOS

FECHA		11/06/2021		Caracterización de la residual domestica									
DATOS DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA													
Componentes del reactor	Código de reactor	Parámetros medidos en laboratorio										Observaciones	
		Potencial de Hidrógeno (Unidad)	Conductividad (µs/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Turbiedad (UNT)	Nitrito (mg/L)*	Ion amonio (mg/L)*	Nitrogeno total (mg/L)*	Fósforo total (mg/L)*	DBO ₅ (Demanda biológica de oxígeno) (mg/L)*	DQO (Demanda química de oxígeno) (mg/L)*		
<i>Lemna minor</i> +agua residual domestica: Reactor 1	R1Lm	6.92	1529	...	50.5	1.022	94.7	56	8.05	165	383.9		
<i>Lemna minor</i> +agua residual domestica: Reactor 2	R2Lm	6.92	1529	...	50.5	1.022	94.7	56	8.05	165	383.9		
<i>Lemna gibba</i> +agua residual domestica: Reactor 1	R1Lg	6.92	1529	...	50.5	1.022	94.7	56	8.05	165	383.9		
<i>Lemna gibba</i> +agua residual domestica: Reactor 2	R2Lg	6.92	1529	...	50.5	1.022	94.7	56	8.05	165	383.9		
<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i> +agua residual domestica	R1Lm-Lg	6.92	1529	...	50.5	1.022	94.7	56	8.05	165	383.9		
<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i> +agua residual domestica	R2Lm-Lg	6.92	1529	...	50.5	1.022	94.7	56	8.05	165	383.9		
Agua residual domestica	RC	6.92	1529	...	50.5	1.022	94.7	56	8.05	165	383.9		
(*) : Resultados del informe de ensayo N° IE-21-6174													
VALIDADO POR:													
Ing° Godofredo León Ramírez				Blga. Zulay Vanessa Guillermo Paccori				Ing° Julio Rodríguez Valencia					
													
CIP: 42651				CBP: 11367				CIP:117061					



FICHA DE REGISTRO DE DATOS

FECHA

15/06/2021

Día de Análisis:

Nº 4

DATOS DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA

Componentes del reactor	Código de reactor	Parámetros medidos en laboratorio																								Observaciones							
		Potencial de Hidrógeno (Unidad de pH)				Conductividad (µs/cm)				Oxígeno disuelto (mg/L)				Turbiedad (UNT)			Nitrito (mg/L)			Ion amonio (mg/L)		Nitrogeno total (mg/L)*			Fósforo total (mg/L)			DBO: (Demanda biológica de oxígeno) (mg/L)		DQO (Demanda química de oxígeno) (mg/L)			
		A1	A2	A3	Promedio	A1	A2	A3	Promedio	A1	A2	A3	Promedio		A1	A2	Promedio	A1	A1	A1	A2	Promedio	A1	A1	A2		Promedio	A1	A1	A2	Promedio		
Lemna minor + agua residual domestica: Reactor 1	R1Lm	8.23	8.25	8.22	8.23	2229.00	2308.00	2301.00	2279.33	1.33	1.27	1.25	1.28	18.30	1.26	1.53	1.39	31.88	45.27	6.53	6.88	6.71	116.42	130.00	134.00	132.00							
Lemna minor + agua residual domestica: Reactor 2	R2Lm	8.27	8.30	8.28	8.28	1952.00	2200.00	2285.00	2145.67	3.22	3.05	2.94	3.07	12.00	1.55	1.68	1.61	40.16	48.80	6.97	6.18	6.57	124.96	116.00	114.00	115.00							
Lemna gibba + agua residual domestica: Reactor 1	R1Lg	8.27	8.29	8.28	8.28	2201.00	2274.00	2275.00	2250.00	3.38	3.21	3.11	3.23	8.33	1.28	1.48	1.38	31.88	42.37	6.71	6.44	6.57	137.37	170.00	172.00	171.00							
Lemna gibba + agua residual domestica: Reactor 2	R2Lg	8.27	8.28	8.29	8.28	2205.00	2159.00	2250.00	2204.67	3.68	3.54	3.46	3.56	4.99	1.61	1.73	1.67	33.82	43.54	6.09	6.35	6.22	129.45	168.00	172.00	170.00							
Lemna minor + Lemna gibba + agua residual domestica	R1Lm-Lg	8.29	8.26	8.29	8.28	2215.00	2256.00	2286.00	2252.33	3.45	3.35	3.29	3.36	4.73	1.43	1.69	1.56	35.82	43.34	5.83	6.27	6.05	149.00	158.00	146.00	152.00							
Lemna minor + Lemna gibba + agua residual domestica	R2Lm-Lg	8.23	8.26	8.25	8.25	2310.00	2306.00	2308.00	2308.00	2.48	2.46	2.37	2.44	6.90	1.43	1.65	1.54	32.99	40.03	6.27	6.35	6.31	146.07	142.00	164.00	153.00							
Agua residual domestica	RC	8.31	8.34	8.33	8.33	2310.00	2327.00	290.00	1642.33	3.67	3.60	3.54	3.60	21.70	1.26	1.40	1.33	35.29	45.10	7.58	8.81	8.20	118.49	380.00	320.40	350.20							

A1: Análisis N° 1

A2: Análisis N° 2

A3: Análisis N°3

(*): Resultados del informe de ensayo N° IE-21-6442

VALIDADO POR:

Ing° Godofredo León Ramírez Blga. Zulay Vanessa Guillermo Paccori Ing° Julio Rodríguez Valencia

CIP: 42651

CBP: 11367

CIP: 117061



FICHA DE REGISTRO DE DATOS

FECHA		18/06/2021												Día de Analisis:				Nº7											
DATOS DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA																													
Componentes del reactor	Código de reactor	Parámetros medidos en laboratorio																								Observaciones			
		Potencial de Hidrógeno (Unidad de pH)				Conductividad (µs/cm)				Oxígeno disuelto (mg/L)			Turbiedad (UNT)			Nitrito (mg/L)			Ion amonio (mg/L)	Nitrogeno total (mg/L)*		Fósforo total (mg/L)		DBO: (Demanda biológica de oxígeno) (mg/L)			DQO (Demanda química de oxígeno) (mg/L)		
		A1	A2	A3	Promedio	A1	A2	A3	Promedio	A1	A2	Promedio	A1	A2	Promedio	A1	A2	Promedio	A1	A1	A1	A2	Promedio	A1	A1		A2	Promedio	
<i>Lemma minor</i> +agua residual domestica: Reactor 1	R1Lm	8.19	8.18	8.18	8.18	2298.00	2344.00	2334.00	2325.33	5.60	5.80	5.70	3.79	4.10	3.95	1.33	1.17	1.25	29.77	33.96	5.83	5.39	5.61	63.88	85.00	87.00	86.00		
<i>Lemma minor</i> +agua residual domestica: Reactor 2	R2Lm	8.17	8.18	8.17	8.17	2259.00	2266.00	2274.00	2266.33	6.21	5.09	5.65	3.88	4.88	4.38	1.10	0.98	1.04	42.56	36.69	6.00	5.74	5.87	73.52	92.00	105.00	98.50		
<i>Lemma gibba</i> +agua residual domestica: Reactor 1	R1Lg	8.12	8.16	8.16	8.15	2229.00	2244.00	2223.00	2232.00	6.30	6.70	6.50	4.32	4.34	4.33	1.13	0.99	1.06	30.96	34.89	5.12	5.21	5.17	68.20	123.00	118.00	120.50		
<i>Lemma gibba</i> +agua residual domestica: Reactor 2	R2Lg	8.17	8.18	8.17	8.17	2242.00	2256.00	2223.00	2240.33	7.10	6.80	6.95	4.20	4.30	4.25	1.08	1.01	1.04	31.79	39.42	4.86	5.04	4.95	77.65	105.00	109.00	107.00		
<i>Lemma minor</i> + <i>Lemma gibba</i> +agua residual domestica	R1Lm-Lg	8.07	8.12	8.16	8.12	2321.00	2339.00	2342.00	2334.00	6.50	6.30	6.40	3.88	3.89	3.89	1.19	1.14	1.17	36.21	34.27	5.04	6.09	5.56	93.34	95.00	98.00	96.50		
<i>Lemma minor</i> + <i>Lemma gibba</i> +agua residual domestica	R2Lm-Lg	8.19	8.20	8.22	8.20	2207.00	2183.00	2157.00	2182.33	6.80	6.40	6.60	4.21	4.19	4.20	1.21	1.19	1.20	21.12	31.30	6.09	5.83	5.96	94.78	79.00	82.00	80.50		
Agua residual domestica	RC	8.20	8.23	8.22	8.22	2206.00	2239.00	2234.00	2226.33	7.40	7.60	7.50	3.47	2.62	3.05	1.09	1.13	1.11	27.93	34.27	8.46	9.08	8.77	107.88	211.15	217.33	214.24		
A1: Análisis N° 1		A2: Análisis N° 2		A3: Análisis N°3		(*) : Resultados del informe de ensayo N° IE-21-6685																							
VALIDADO POR:																													
								Ing° Godofredo León Ramírez								Blga. Zulay Vanessa Guillermo Paccori								Ing° Julio Rodriguez Valencia					
								CIP: 42651								CBP: 11367								17061+B17:AE28816:AE28811B18:B18:					



FICHA DE REGISTRO DE DATOS

FECHA		23/06/2021												Día de Análisis:			N° 11																
DATOS DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA																																	
Componentes del reactor	Código de reactor	Parámetros medidos en laboratorio																								Observaciones							
		Potencial de Hidrógeno (Unidad de pH)				Conductividad (µs/cm)				Oxígeno disuelto (mg/L)				Turbiedad (UNT)			Nitrito (mg/L)		Ion amonio (mg/L)			Nitrogeno total (mg/L)*			Fósforo total (mg/L)			DBO ₅ (Demanda biológica de oxígeno) (mg/L)		DQO (Demanda química de oxígeno) (mg/L)			
		A1	A2	A3	Promedio	A1	A2	A3	Promedio	A1	A2	A3	Promedio	A1	A2	Promedio	A1	Promedio	A1	A2	Promedio	A1	A1	A2	Promedio		A1	A1	A2	Promedio			
<i>Lemma minor</i> +agua residual domestica: Reactor 1	R1Lm	8.17	8.30	8.40	8.29	2174.00	2184.00	2134.00	2164.00	5.34	5.09	4.90	5.11	4.88	4.57	4.73	0.39	0.39	15.79	19.10	17.44	30.60	3.10	3.54	3.32	49.28	78.40	81.60	80.00				
<i>Lemma minor</i> +agua residual domestica: Reactor 2	R2Lm	8.42	8.36	8.42	8.40	2068.00	2075.00	2090.00	2077.67	6.00	5.81	5.71	5.84	2.65	2.63	2.64	0.45	0.45	13.49	18.82	16.16	30.68	3.81	3.81	3.81	51.23	84.00	71.00	77.50				
<i>Lemma gibba</i> +agua residual domestica: Reactor 1	R1Lg	8.38	8.35	8.37	8.37	2148.00	2925.00	2133.00	2402.00	5.58	5.89		5.74	2.86	3.01	2.94	0.50	0.50	15.14	10.36	12.75	24.60	3.98	4.25	4.11	50.45	98.56	108.52	103.54				
<i>Lemma gibba</i> +agua residual domestica: Reactor 2	R2Lg	8.46	8.43	8.45	8.45	2145.00	2110.00	2125.00	2126.67	5.31	5.33	5.35	5.33	3.33	3.32	3.33	0.48	0.48	18.09	19.56	18.82	27.30	3.28	3.72	3.50	53.67	88.00	98.00	93.00				
<i>Lemma minor</i> + <i>Lemma gibba</i> +agua residual domestica	R1Lm-Lg	8.44	8.42	8.42	8.43	2050.00	2100.00	2060.00	2070.00	5.57	5.50	5.45	5.51	3.72	3.42	3.57	0.47	0.47	13.30	13.39	13.35	47.91	3.72	3.19	3.45	46.48	87.26	80.74	84.00				
<i>Lemma minor</i> + <i>Lemma gibba</i> +agua residual domestica	R2Lm-Lg	7.97	7.92	7.90	7.93	2149.00	2063.00	2059.00	2090.33	5.63	5.56	5.54	5.58	3.66	3.15	3.41	0.49	0.49	7.60	6.77	7.18	22.45	2.84	3.02	2.93	50.68	75.32	70.88	73.10				
Agua residual domestica	RC	8.41	8.44	8.42	8.42	2119.00	2223.00	2403.00	2248.33	5.25	5.30	5.38	5.31	5.45	5.55	5.50	0.69	0.69	14.59	12.93	13.76	25.18	8.38	8.73	8.55	100.58	191.84	200.96	196.40				

A1: Análisis N° 1 A2: Análisis N° 2 A3: Análisis N° 3 (*): Resultados del informe de ensayo N° IE-2021-9242

VALIDADO POR:

Ing° Godofredo León Ramírez	Blga. Zulay Vanessa Guillermo Paccori	Ing° Julio Rodríguez Valencia
CIP: 42651	CBP: 11367	CIP: 117061



FICHA DE REGISTRO DE DATOS

FECHA: **28/06/2021** Día de Análisis: Nº 17

DATOS DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA

Componentes del reactor	Código de reactor	Parámetros medidos en laboratorio																								Observaciones							
		Potencial de Hidrógeno (Unidad de pH)				Conductividad (µs/cm)				Oxígeno disuelto (mg/L)				Turbiedad (UNT)				Nitrato (mg/L)		Ion amonio (mg/L)		Nitrógeno total (mg/L)*			Fósforo total (mg/L)			DBO ₅ (Demanda biológica de oxígeno) (mg/L)		DQO (Demanda química de oxígeno) (mg/L)			
		A1	A2	A3	Promedio	A1	A2	A3	Promedio	A1	A2	A3	Promedio	A1	A2	A3	Promedio	A1	Promedio	A1	Promedio	A1	A1	A2	Promedio		A1	A1	A2	Promedio	A1	A1	A2	Promedio
<i>Lemma minor</i> +agua residual domestica: Reactor 1	R1Lm	8.38	8.36	8.38	8.37	1206.00	1226.00	1222.00	1218.00	6.29	6.48	6.42	6.40	2.67	2.70	2.71	2.69	1.16	1.16	1.19	1.19	22.88	3.72	3.28	3.50	33.00	61.25	69.35	65.30				
<i>Lemma minor</i> +agua residual domestica: Reactor 2	R2Lm	8.61	8.62	8.63	8.62	1108.00	1127.00	1120.00	1118.33	6.72	6.58	6.45	6.58	3.11	3.08	3.09	3.09	1.05	1.05	9.16	9.16	21.00	3.89	3.98	3.94	37.00	59.26	61.14	60.20				
<i>Lemma gibba</i> +agua residual domestica: Reactor 1	R1Lg	8.36	8.37	8.40	8.38	1154.00	1199.00	1188.00	1180.33	6.47	6.38	6.28	6.38	1.89	1.88	1.90	1.89	1.19	1.19	5.48	5.48	21.63	3.81	3.45	3.63	37.54	78.25	82.15	80.20				
<i>Lemma gibba</i> +agua residual domestica: Reactor 2	R2Lg	8.39	8.42	8.39	8.40	1132.00	1161.00	1175.00	1156.00	6.24	6.30	6.26	6.27	2.02	2.17	2.25	2.15	1.21	1.21	6.40	6.40	21.71	3.10	3.37	3.23	36.87	69.35	62.25	65.80				
<i>Lemma minor</i> + <i>Lemma gibba</i> +agua residual domestica	R1Lm-Lg	8.42	8.48	8.47	8.46	1118.00	1130.00	1110.00	1119.33	6.60	6.57	6.65	6.61	3.35	3.73	3.53	3.54	1.54	1.54	12.80	12.80	19.05	2.31	2.14	2.22	33.00	55.00	52.00	53.50				
<i>Lemma minor</i> + <i>Lemma gibba</i> +agua residual domestica	R2Lm-Lg	8.54	8.55	8.56	8.55	1094.00	1129.00	1133.00	1118.67	6.56	6.32	6.40	6.43	2.09	2.43	2.47	2.33	1.25	1.25	5.48	5.48	17.10	2.49	2.66	2.58	30.20	48.67	53.33	51.00				
Agua residual domestica	RC	8.37	8.39	8.40	8.39	1431.00	1459.00	1475.00	1455.00	6.45	6.48	6.46	6.46	4.04	3.97	4.07	4.03	1.17	1.17	19.30	19.30	19.76	8.02	8.38	8.20	75.65	163.28	152.10	157.69				

A1: Análisis N° 1 A2: Análisis N° 2 A3: Análisis N° 3 (*): Resultados del informe de ensayo N° IE-2021-7228

VALIDADO POR:		
Ing° Godofredo León Ramirez	Blga. Zulay Vanessa Guillermo Paccori	Ing° Julio Rodriguez Valencia
CIP: 42651	CBP: 11367	CIP: 117061



FICHA DE REGISTRO DE DATOS

DATOS DE CRECIMIENTO DE LA ESPECIE			CONTEO DE FRONDAS					TASA RELATIVA DE CRECIMIENTO			
Especie(s)	Componentes del reactor	Código de reactor	11/06/2021	15/06/2021	18/06/2021	22/06/2021	28/06/2021	15/06/2021	18/06/2021	22/06/2021	28/06/2021
			Número de frondas totales (unidad)	Número de frondas totales (unidad)	Número de frondas totales (unidad)	Número de frondas totales (unidad)	Número de frondas totales (unidad)	Tasa Relativa de Crecimiento $[\ln N]_t = [\ln N]_0 + TRC * t$	Tasa Relativa de Crecimiento $[\ln N]_t = [\ln N]_0 + TRC * t$	Tasa Relativa de Crecimiento $[\ln N]_t = [\ln N]_0 + TRC * t$	Tasa Relativa de Crecimiento $[\ln N]_t = [\ln N]_0 + TRC * t$
<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna minor</i> + agua residual domestica Reactor 1	R1Lm	1800	1968	3777	5950	13552	0.022307783	0.105877626	0.108691323	0.118749851
	<i>Lemna minor</i> + agua residual domestica: Reactor 2	R2Lm	1735	1824	3520	5734	13057	0.01250612	0.101064797	0.108673269	0.118724528
<i>Lemna gibba</i>	<i>Lemna gibba</i> + agua residual domestica: Reactor 1	R1Lg	1645	1719	3245	5523	12824	0.011000586	0.097053567	0.110107346	0.120798708
	<i>Lemna gibba</i> + agua residual domestica: Reactor 2	R2Lg	1690	1916	3321	5617	12915	0.031377788	0.096505345	0.109188108	0.119627112
<i>Lemna minor</i> y <i>Lemna gibba</i>	<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i> + agua residual domestica	R1Lm-Lg	1725	2383	3925	6307	13762	0.080783287	0.117448472	0.117857552	0.122157889
	<i>Lemna minor</i> + <i>Lemna gibba</i> + agua residual domestica	R2Lm-Lg	1667	2351	3845	6221	13621	0.085953791	0.119392571	0.119718642	0.123563948
Sin especie	Agua residual domestica	RC	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VALIDADO POR:											
Ing ^o Godofredo León Ramírez				Blga. Zulay Vanessa Guillermo Paccori				Ing ^o Julio Rodríguez Valencia			
											
CIP: 42651				CBP: 11367				CIP: 117061			

ANEXO 4: REGISTRO FOTOGRÁFICO

Toma de muestra de agua residual de la PTAR municipal del distrito de Independencia



Fotografía 1.- Toma de muestra de agua residual para análisis de laboratorio



Fotografía 2.-Toma de muestra del Tanque Ecuilizador (tratamiento primario)



Fotografía 3.-Fracos con muestra de agua residual

Etapa de acondicionamiento de la parte experimental



Fotografía 4.-Colocación de los reactores en la parte posterior de la Planta Piloto de la FIARN



Fotografía 5.-Colocación de protección a los reactores

Codificación de reactores



Fotografía 6.-Reactor 1-Tratamiento con Lemna minor



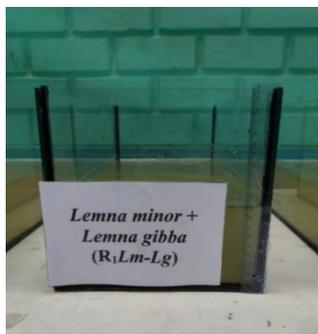
Fotografía 7.-Reactor 2-Tratamiento con Lemna minor



Fotografía 8.-Reactor 1-Tratamiento con Lemna gibba



Fotografía 9.-Reactor 2-Tratamiento con Lemna gibba



Fotografía 10.-Reactor 1-Tratamiento con la asociacion de especies



Fotografía 11.-Reactor 2- Tratamiento con la asociacion de especies



Fotografía 12.-Reactor control