

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**EFFECTO DE *Eichhornia crassipes* M y *Lemna minor* L EN LA
EXTRACCIÓN DE NITRATOS, SULFATOS Y FOSFATOS EN AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE JAÉN, PROVINCIA
JAÉN, DEPARTAMENTO CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: OMERY ISABEL CAMPOS TORRES

Asesor:

Dr. GLICERIO EDUARDO TORRES CARRANZA

Cajamarca – Perú

2022

COPYRIGHT © 2022 BY
OMERY ISABEL CAMPOS TORRES
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS APROBADA:

**EFFECTO DE *Eichhornia crassipes* M y *Lemna minor* L EN LA
EXTRACCIÓN DE NITRATOS, SULFATOS Y FOSFATOS EN AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE JAÉN, PROVINCIA
JAÉN, DEPARTAMENTO CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: OMERY ISABEL CAMPOS TORRES

JURADO EVALUADOR

Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza
Asesor

Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

M.Cs. Jimy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador

Cajamarca – Perú

2022



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO Nº 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

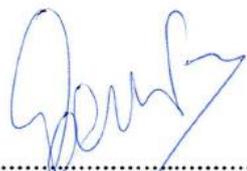
Siendo las 09:05 horas, del día 18 de marzo de dos mil veintidós, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ, Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA, M.Cs. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**, y en calidad de Asesora la **Dr. GLICERIO EDUARDO TORRES CARRANZA**, Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **Efecto de Eichhornia crassipes M y Lemna minor L en la extracción de nitratos, sulfatos y fosfatos en aguas residuales domésticas de la ciudad de Jaén, Provincia Jaén, Departamento Cajamarca.**, presentada por la **Bach. en Ciencias de la Ingeniería Forestal y Ambiental, OMERY ISABEL CAMPOS TORRES**.

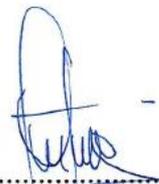
Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de DIECISIETE (17) la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bach. en Ciencias de la Ingeniería Forestal y Ambiental, OMERY ISABEL CAMPOS TORRES**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Siendo las 10:05 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza
Asesor


.....
Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador


.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador


.....
M.Cs. Jimy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador

A:

A mi Madre, Doña María Isabel Torres García

A mis hermanos: Yarithza Margot Ordoñez Torres

Cinthia Paola Ordoñez Torres

Edgar Milton Ordoñez Torres

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida, la salud y la sabiduría, por cuidar de los míos y ayudarme a culminar en este gran camino de crecimiento profesional.

Agradezco a mi madre por el apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida, por ser una madre ejemplar, por ser una madre dedicada a cada uno de sus hijos y enseñarnos el valor del amor, respeto, dedicación y esfuerzo. Agradezco a cada uno de mis hermanos por apoyarme durante todo el desarrollo de la investigación y por enseñarme el valor de la unión familiar.

Agradezco a la Universidad Nacional de Jaén, por haberme formado durante toda mi carrera profesional y agradezco a la Universidad Nacional de Cajamarca, por la oportunidad de seguir creciendo académicamente.

CONTENIDO

Ítem	Página
AGRADECIMIENTO	vi
LISTA DE ILUSTRACIONES	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	4
REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes de la investigación	4
2.2. Bases teóricas	7
2.2.1. Aguas residuales.	7
2.2.2. Nutrientes.	8
2.2.3. Fitorremediación.	10
2.2.4. Plantas Macrófitas.	13
2.3. Definición de términos básicos	18
2.3.1. Aguas residuales.	18
2.3.2. Fitorremediación.	18
2.3.3. Macrófitas.	18
CAPÍTULO III	19
MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Localización de la investigación – PTAR de Jaén	19
3.2. Equipos, materiales y reactivos	22
3.3. Metodología	22
3.4. Diseño experimental	29
3.4.1. Análisis de varianza (ANVA)	29
CAPÍTULO IV	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1 Concentración inicial de nitratos, fosfatos y sulfatos en el agua residual doméstica	30
4.2 Concentración mensual de parámetros	31

4.2.1	Nitratos	31
4.2.2	Fosfatos	33
4.2.3	Sulfatos	35
4.3	Porcentajes de remoción de nitratos, fosfatos y sulfatos y Análisis de varianza	37
4.3.1	Remoción (%) de Nitratos a los 90 días	37
4.3.2	Remoción (%) de Fosfatos a los 90 días	40
CAPÍTULO V	.....	44
CONCLUSIONES	.....	44
RECOMENDACIONES	.....	45
CAPÍTULO VI	.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	46
CAPÍTULO VII	.....	53
ANEXOS	.....	53
	Fotografía N 1: Reconocimiento de área de estudio.....	65
	Fotografía N 3: Acondicionamiento del área e instalación de los estanques.....	67

LISTA DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Georreferenciación del punto de muestro – PTAR Nueva.....	22
Tabla 2. Georreferenciación de las especies de Lenteja de agua y Jacinto de agua.....	23
Tabla 3. Tratamientos aplicados.....	26
Tabla 4 . Monitoreo de parámetros de laboratorio.....	27
Tabla 5. Frecuencia de monitoreo de parámetros.....	27
Tabla 6. Requisitos para la toma de muestra de agua y preservación.....	28
Tabla 7. Método de ensayo utilizado para determinar los parámetros de nitrato, fosfato y sulfato.....	28
Tabla 8. Análisis de varianza para nitratos.....	38
Tabla 9. Análisis de varianza para fosfatos.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación de la PTAR de Jaén.....	20
Figura 2. Mapa de ubicación de la PTAR - Jaén y área experimental	21
Figura 3. Concentración inicial de nitratos, fosfatos y sulfatos en el agua residual doméstica.....	30
Figura 4. Concentración mensual de nitratos (mg/l)	32
Figura 5. Concentración mensual de fosfatos (mg/l).....	34
Figura 6. Concentración mensual de sulfatos (mg/l)	35
Figura 7. Remoción (%) de nitratos a los 90 días.....	38
Figura 8. Remoción (%) de fosfatos a los 90 días	41

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en Febrero del 2021 a Mayo del 2021, en donde se buscó determinar el efecto de *Eichhornia crassipes* M y *Lemna minor* L en la extracción de nitratos, sulfatos y fosfatos en aguas residuales domésticas de la ciudad de Jaén, Provincia Jaén, Departamento Cajamarca, para lo cual se realizaron tres tratamientos: tratamiento uno (T1) aplicación de la *Lemna minor* en los estanques de agua residual doméstica, con tres repeticiones; tratamiento dos (T2) aplicación de la *Eichhornia crassipes* en los estanques de agua residual doméstica, con tres repeticiones; tratamiento tres (T3) aplicación de la *Lemna minor* y la *Eichhornia crassipes* en los estanques de agua residual doméstica, con tres repeticiones; cada estanque contenía un volumen de 100 litros de agua residual doméstica, en donde se realizó una evaluación mensual de la concentración de nitratos, fosfatos y sulfatos de cada uno de los estanques por un lapso de tres meses. Obteniendo como resultados la extracción de nitratos y fosfatos en los tres tratamientos aplicados, el 82.59% de nitratos y 69.27% de fosfatos con *Lemna minor* (T1), un 82.37% de nitratos y 99% de fosfatos con *Eichhornia crassipes* (T2) y el 83.4% de nitratos y 99% de fosfatos con *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* (T3), sin embargo, no se logró remover el parámetro de sulfatos en ninguno de los tratamientos aplicados. Llegando a la conclusión que estadísticamente no existió diferencia significativa entre los tratamientos para la extracción de nitratos y fosfatos, siendo las macrófitas eficientes para la extracción de dichos parámetros, no obstante, en la extracción de sulfatos no existe efecto alguno.

Palabras claves: Extracción, *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes*, agua residual.

ABSTRACT

The research was carried out from February 2021 to May 2021, where it was sought to determine the effect of *Eichhornia crassipes* M and *Lemna minor* L on the extraction of nitrates, sulfates and phosphates in domestic wastewater from the city of Jaén, Province Jaén, Cajamarca Department, for which three treatments were carried out: treatment one (T1) application of *Lemna minor* in domestic wastewater ponds, with three repetitions; treatment two (T2) application of *Eichhornia crassipes* in domestic wastewater ponds, with three repetitions; treatment three (T3) application of *Lemna minor* and *Eichhornia crassipes* in domestic wastewater ponds, with three repetitions; each pond contained a volume of 100 liters of domestic wastewater, where a monthly evaluation of the concentration of nitrates, phosphates and sulfates in each of the ponds was carried out for a period of three months. Obtaining as results the extraction of nitrates and phosphates in the three applied treatments, 82.59% of nitrates and 69.27% of phosphates with *Lemna minor* (T1), 82.37% of nitrates and 99% of phosphates with *Eichhornia crassipes* (T2) and the 83.4% of nitrates and 99% of phosphates with *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor* (T3), however, it was not possible to remove the sulfate parameter in any of the applied treatments. Concluding that there was no statistically significant difference between the treatments for the extraction of nitrates and phosphates, the macrophytes being efficient for the extraction of said parameters, however, in the extraction of sulfates there is no effect.

Keywords: Extraction, *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes*, residual water.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Jaén cuenta con una Planta de tratamiento de aguas residuales ubicado en el Sector Linderos, a 3.8 km, donde se reúnen todas las aguas residuales generadas, dicha planta de tratamiento según Zumaran (2018), fue diseñada para operar hasta el año 2017, con una capacidad de 150.70 l/s, en la actualidad el caudal que ingresa a la planta varía entre 300 l/s a 600 l/s; sobrepasando la capacidad de diseño, consecuencia de esto, existe un olor desagradable hasta una distancia de un kilómetro del lugar, del mismo modo estas aguas van a desembocar en el Río Amojú, el cual es aprovechado por la población para sus necesidades básicas, para la actividad económica agrícola (cultivos de arroz, cacao, maíz, etc.), para irrigar árboles frutales (mango, ciruela, etc.), pastos y forrajes, crianza de animales en general, causando contaminación a dichos productos y por consecuencia problemas en la salud. La especie *Eichhornia crassipes* M y *Lemna minor* L, según diferentes investigaciones (Sandoval, 2019; Alvarado, 2017) se caracterizan por ser macrófitas flotantes remediadoras que logran remover más del 60% y 80% de nitratos, fosfatos, plomo, zinc, cobre, etc. en aguas residuales, mejorando así las condiciones de cuerpos de agua contaminados, es así que se busca mediante la aplicación de este tratamiento biológico mejorar las condiciones de las aguas residuales, antes de ser desembocadas en el río Amojú, mediante la extracción de nitratos, fosfatos y sulfatos los cuales son nutrientes para las macrófitas y contaminantes para un cuerpo natural de agua por encima de los estándares establecidos, por lo que surge la siguiente pregunta, ¿Cuánto es el porcentaje de extracción de nitratos, sulfatos y fosfatos por *Eichhornia crassipes* M y *Lemna minor* L en aguas residuales domésticas de la ciudad de Jaén, provincia Jaén, departamento Cajamarca?, planteando como hipótesis que las

especies *Eichhornia crassipes* M y *Lemna minor* L son eficientes significativamente en la extracción de nitratos, sulfatos y fosfatos en aguas residuales domésticas.

El trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, ubicado en el sector Linderos, provincia de Jaén, en las coordenadas de ubicación: 5°40'48.6" S - 78°46'42.5" W, para lo cual se realizó un reconocimiento del área de investigación, identificación y localización de las especies a trabajar, acondicionamiento e instalación de estanques, recolección y preparación de las especies, recolección y envío de muestras al Laboratorio Regional del Agua, introducción del material vegetativo a los estanques (según los tratamientos descritos en el capítulo de III de materiales y métodos), recojo y envío de muestras al Laboratorio Regional del Agua después de aplicar los tratamientos; los resultados obtenidos demostraron que estadísticamente no existe diferencia significativa para la extracción de nitratos y fosfatos, demostrando ser eficientes y pueden ser replicados en zonas con las mismas condiciones climáticas, sin embargo, no existe ninguna extracción de sulfatos.

El diseño de la investigación es de tipo experimental, aplicado por un Diseño Completamente al Azar (DCA), aplicando una prueba de "F" mediante el método de mínimos cuadrados (ANVA), sin pruebas de comparación de medias.

Con el presente trabajo de investigación se buscó cumplir con los siguientes objetivos: Objetivo general: Evaluar la extracción de nitratos, sulfatos y fosfatos por las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en aguas residuales domésticas de la ciudad de Jaén, provincia Jaén, departamento Cajamarca.

Objetivos específicos: Determinar la concentración inicial de nitratos, fosfatos y sulfatos en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Jaén, provincia de Jaén, departamento

de Cajamarca, evaluar la extracción de nitratos, sulfatos y fosfatos por la especie *Eichhornia crassipes* en aguas residuales domésticas de la ciudad de Jaén, provincia Jaén, departamento Cajamarca, evaluar la extracción de nitratos, sulfatos y fosfatos por la especie *Lemna minor* en aguas residuales domesticas de la ciudad de Jaén, provincia Jaén, departamento Cajamarca.

En el presente proyecto de investigación lo encontraremos seccionado por capítulos, el capítulo uno corresponde a la introducción de la investigación, en donde se plasmó la problemática y el procedimiento; capítulo dos al marco teórico o revisión bibliográfica describiendo los antecedentes internacionales y nacionales, así como bases teóricas; el capítulo tres corresponde a los materiales y métodos empleados; el capítulo cuatro a los resultados y discusiones, según los autores identificados en los antecedentes y con trabajos de investigación similares; el capítulo cinco a las conclusiones de la investigación; el capítulo seis a las referencias bibliográficas y finalmente el capítulo siete que corresponde a los anexos.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Vásquez (2018) manifiesta que, al evaluar el efecto de las plantas *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes* y *Azolla lam* en la descontaminación de aguas residuales, aplicó tres tratamientos; el tratamiento uno (T1), con 25 g/m² de *Lemna minor*, el tratamiento dos (T2) con el 25% de *Eichhornia crassipes* de la superficie de los reservorios, el tratamiento tres (T3), con 25 g/m² de *Azolla lam*, cada tratamiento con tres repeticiones, y un grupo testigo, en un volumen de agua residual de 384 l. Los resultados mostraron que no existió diferencias significativas entre los tres tratamientos evaluados, sin embargo, se determinó mediante el programa estadístico Infostat que el tratamiento con *Lemna minor* logró un mayor porcentaje de reducción con una eficiencia del 75.48 en Demanda Biológica de Oxígeno 5 (DBO₅), un 77,35% de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y un 22.06% de cloruros; Así mismo La *Eichhornia crassipes*, sin embargo estadísticamente no existe diferencia significativa ente tratamientos (p.57).

Mendoza (2016) indica que, mediante el uso de la planta *Eichhornia crassipes*, determinó la tasa de remoción de materia orgánica y nutrientes en aguas residuales domésticas, para lo cual aplico como metodología de trabajo, un flujo semicontinuo, con tasas de renovación del afluente de 25, 50 y 75 %, las cubetas utilizadas se diseñaron para un volumen de 0.084 m³, con 0.25 m de ancho, 0.75 m de largo y 0.45 de profundidad, en donde se insertaron 8 plantas, siendo estas protegidas de cualquier eventualidad con mallas de plástico, el tiempo de retención hidráulico (TRH) fue 7 días, evaluándose en un período de 225 días. Logrando obtener como mejor resultado a una tasa de renovación de 75%; llegando a una eficiencia de remoción de materia orgánica del 83% en Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), 87% de Demanda Química de Oxígeno (DQO); nutrientes

al 87% de amonio, 31% de ortofosfatos; 67% de remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y 99% de remoción en bacterias, por lo hay gran probabilidad de remoción de nitratos y fosfatos (p.63).

Gavilánez (2016) indica que, para evaluar el efecto de la *Eichhornia crassipes*, y microorganismos eficientes en aguas residuales urbanas, utilizó un diseño experimental completamente al azar, donde cada unidad experimental estuvo compuesta por 1 m³ de agua residual, con cuatro tratamientos de tres repeticiones, tratamiento uno (T1) compuesto por *Eichhornia crassipes*; tratamiento dos (T2) bacterias comerciales; tratamiento tres (T3) microorganismos nativos obtenidos del arroz fermentado y el tratamiento cuatro (T4) como grupo testigo, el tiempo de retención hidráulica fueron de 7 y 14 días. Entre los resultados obtenidos se demostró que la *Eichhornia crassipes* logró remociones del 50% de ácido sulfhídrico (H₂S), 94.8% de Demanda Biológica de oxígeno 5 (DBO5) y un 87.6% de Demanda Química de Oxígeno (DQO), esto implica que, al mejorar dichos parámetros, también se logrará una eficiente remoción de nitratos y fosfatos (p.34).

Alvarado (2017) manifiesta que, para determinar la influencia de la especie *Lemna minor* en el tratamiento de aguas residuales industriales, aplicó los siguientes tratamientos, tratamiento uno (T1) 100 g de *Lemna minor*, tratamiento dos (T2) 200 g de *Lemna minor* y el tratamiento tres (T3) 300 g de *Lemna minor*, con un tiempo de retención de 10 días, analizando en el tercer, sexto y décimo día, para lo cual empleo un volumen contante de 70 l. Como resultado logró disminuir la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) en un 61%, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en un 68% y en Sólidos Suspendidos Totales (SST) en un 61%; del mismo modo se indica que el tiempo de contacto y la cantidad de la planta influye la remoción de la materia orgánica, al mejorar

los parámetros antes mencionados, los aniones de nitratos y fosfatos también serán removidos (p.108).

Saavedra (2017) señala que, para evaluar la eficiencia de las plantas acuáticas *Phragmites australis* (carrizo común) y *Lemna minor* (lenteja de agua) en la disminución de dureza total y cantidad de cloruros en aguas residuales, construyó humedales artificiales a nivel de laboratorio, donde la investigación se realizó en un período de 8 meses, tomando muestras cada 15 días. Antes del tratamiento se tenía 542.7 ppm de dureza, 300.7 ppm de cloruro, posterior al tratamiento se obtuvieron 502.4 ppm de dureza con *Lemna minor*, 537.6 ppm de dureza con *Phragmites australis* y 489, 8 ppm con ambas especies, en relación a los cloruros se obtuvo 296,9 ppm con *Lemna minor*, 248.8 ppm con *Phragmites australis* y 233.8 ppm con ambas especies, concluyendo que los resultados obtenidos se encuentran por debajo de los Límites Máximos Permisibles para agua (pp.39 - 45).

Cruz et al. (2016) indican que, para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes del agua utilizó la planta *Eichhornia Crassipes*, para lo cual implementó 37 sistemas flotantes alrededor y 7 sistemas flotantes en la zona intermedia de la laguna la Mansión, con un tiempo de retención de 5 días, seguido de la siembra de 600 plantas de *Eichhornia crassipes*; donde concluye la eficiencia de remoción de contaminantes por la especie, logrando conseguir un sistema armonioso con el ambiente, recomendando de esta manera utilizar la *Eichhornia crassipes* como una vía adecuada para el tratamiento de aguas residuales, sumando a esto la baja demanda de costos (pp.59 -60).

Quispe (2017) señala que, al evaluar la eficiencia de la planta *Eichhornia crassipes* en la remoción de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en la laguna de la Universidad Peruana Unión, construyó cinco sistemas flotantes, realizados con tubos de PVC de 2 pulgadas, mallas metálicas y de tela, previo a esto adaptó la especie durante

3 semanas, la investigación duró 2 meses, con una retención de 3 a 5 días. Según los resultados obtenidos se logró una eficiencia del 31% en la remoción de parámetros fisicoquímicos (conductividad, oxígeno disuelto, sólidos totales, turbiedad, pH, temperatura, DBO5, DQO y fosfatos) y plomo total (p, 79).

Castillo (2017) indica que, para determinar la eficiencia de la *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*, en la remoción de nutrientes para aguas residuales, aplicó como metodología un sistema de reactores en serie, constituido por cuatro cajas duraforte de plástico, siendo este monitoreado por un lapso de 6 meses, caracterizándolo de manera mensual. Como resultados se obtuvieron: en *Lemna minor* se removieron 52% de nitrógeno total, 37% de nitratos, 31% fósforo, 34% para fosfatos; en *Eichhornia crassipes* se logró una remoción del 61% de nitrógeno total, 34% para nitratos, 73% para fósforo total, 68% de fosfatos (pp. 45-63).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales.

Las aguas residuales o aguas servidas son aquellas que han sufrido cambios físicos, químicos y biológicos, debido a la incorporación de elementos ajenos a su composición, tales como residuos sólidos o líquidos provenientes del sector doméstico, industrial, agrícola, etc. Como consecuencia de esto se deteriora su calidad y va perdiendo la finalidad para la cual ha sido creada, afectando o causando daños posteriores en el medio ambiente (WWAP-UNESCO, 2017, pp.16 - 82).

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014) las aguas residuales se clasifican en aguas residuales domésticas, industriales y municipales:

- **Aguas residuales domésticas:** Las aguas residuales domésticas son aquellas que contienen desechos fisiológicos, producto de actividad humana, estas pueden ser de fuentes residenciales o comerciales, por lo cual deben de ser tratadas o dirigidas a

una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) aguas residuales, lagunas, tanque Imhoff, etc.

- Aguas residuales industriales: Las aguas residuales industriales es el resultado final de todo proceso productivo donde intervienen elementos, cuyas alteraciones fisicoquímicas y biológicas son diferentes a las aguas residuales domésticas, por lo cual tienen que ser tratadas en procesos diferentes, dentro de las actividades encontramos a la minería, agricultura, agroindustria, actividad energética, etc.
- Aguas residuales municipales: Las aguas residuales municipales, son aquellas conformadas por aguas residuales domésticas con las aguas provenientes del drenaje pluvial, o con aquellas aguas industriales previo tratamiento inicial. (p.3)

2.2.2. Nutrientes.

A. Nitratos.

Alfaro, et al. (2017) mencionan que los nitratos son compuestos solubles, inodoros e incoloros, conformado molecularmente por nitrógeno y oxígeno, cuya importancia radica como elemento principal y esencial para el crecimiento de las plantas, por lo cual lo encontramos principalmente en fertilizantes. Según las reacciones químicas, el nitrato (NO_3^-) es producto de la oxidación del nitrito (NO_2^-), generalmente el nitrato es estable en el ambiente, pero puede ser reducido a nitrito. Según los parámetros establecidos para nitratos, estos no deben de superar los 45 mg/l en el agua potable dada sus graves y fatales consecuencias, del mismo modo para aguas residuales sus concentraciones pueden variar desde los 0 mg/l a 20 mg/l, con valores típicos entre 15 y 20 mg/l. Debido a las aguas residuales industriales, domésticas y municipales que son descargadas a fuentes naturales de agua, sin previo tratamiento o con un tratamiento deficiente trae como consecuencia el ingreso del nitrógeno al agua natural, sumando las descargas clandestinas y las emisiones de gases vehiculares. Los nitratos al entrar encontrarse por encima de los

límites máximos permisibles o sobre los estándares de calidad ambiental y tener contacto directo con el ser humano causa la enfermedad de metahemoglobinemia, manifestándose principalmente en bebés de hasta 6 meses de edad, donde se disminuye el transporte de oxígeno de los glóbulos rojos, ocasionando daños en los órganos, tejidos y en muchos la muerte; sin embargo, no solo afecta al ser humano, sino también al medio acuático, puesto que llega a causar eutrofización, convirtiendo fuentes de agua inservibles para el consumo humano, muerte de especies acuáticas y por ende contaminación ambiental (p. 17).

B. Fosfatos.

Los fosfatos (PO_4^{3-}), también denominados esteres del ácido fosfórico, conformados molecularmente por un átomo de fósforo rodeado de cuatro átomos de Oxígeno en forma tetraédrica, cuya concentración en el agua residuales varía desde los 4 mg/l a los 12 mg/l (Alfaro, et al., 2017, p.18); el ingreso de los fosfatos a una fuente natural de agua, al igual que el nitrato son consecuencia de descargar de aguas domésticas, industriales, agrícolas, mineras, etc., sin o deficiente tratamiento. Al encontrarse dicha sustancia por encima de los estándares de calidad ambiental, afecta negativamente al cuerpo de agua, puesto que puede llegar a causar el proceso de eutrofización, lo que implica que de la mano con el nitrato ayudan al crecimiento acelerado de algas, cianobacterias, lirios acuáticos y lentejas de agua que al morir dichos vegetales y ser descompuestos por bacterias aeróbicas provocan el agotamiento del oxígeno disuelto en el agua, causando la muerte de organismo acuáticos. Se considera un cuerpo de agua eutrofizado cuando presenta un nivel de oxígeno disuelto entre los 9 mg/l a 4 mg/l y al llegar a una concentración de 2 mg/l, significa que no hay vida dentro del medio acuático, por ende, existe una alta elevación de demanda biológica de oxígeno (DOMUS, 2016, pp.7-6).

C. Sulfatos.

Los sulfatos o también conocidos como ésteres del ácido sulfúrico (SO_4^{2-}), estos se obtienen al reaccionar un ácido sulfúrico con metales, hidróxidos y carbonatos o al oxidar un sulfuro. Los sulfatos ingresan a un cuerpo natural de agua ya sea de manera natural producto de la oxidación del mineral de sulfito o como consecuencias de aguas industriales sin o deficiente tratamiento. Al encontrarse dicha sal por encima de los 200 mg/l ayuda en la corrosión de metales, consecuencia de esto cambia el sabor al agua, así como el incremento de plomo disuelto, producto de tuberías de plomo, por lo cual el organismo mundial de la salud indica que para consumo humano se debe de encontrar en los 500 mg/l, de esta manera los sulfatos no solo alteran la calidad del agua sino también trae consecuencias adversas en la salud del ser humano como cuadros de deshidratación, diarrea (generalmente posterior a una ingesta más de 5 gr/d), siendo más crítico en niños y adultos mayores. (Alfaro, et al., 2017, p.17).

2.2.3. Fitorremediación.

La fitorremediación como su mismo nombre lo indica se refiere al uso de plantas con capacidad remediadora, es decir se encargan de reducir, remover, transferir y estabilizar compuesto que en concentraciones elevadas son contaminantes para un determinado medio, es una rama de la biorremediación que aplica diferentes mecanismo para mejorar las condiciones del medio acuático o terrestre, todo esto se realiza gracias a procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos (Delgadillo et al., 2011, p. 598).

2.2.3.1. Mecanismos de fitorremediación.

Según Núñez, et al. (2004) existen 6 mecanismos, la fitodegradación, fitoestimulación, fitovolatilización, fitoestabilización, fitoextracción, rizofiltración, los cuales se describen a continuación:

Fitodegradación o fitotransformación: Consiste en degradar o transformar compuestos (contaminantes orgánicos) a través de reacciones enzimáticas a sustancias menos tóxicas, con la finalidad de poder ser incorporados en las plantas, en donde podrían dirigirse a la vacuola o filados en estructuras celulares insolubles como lignina, estas reacciones se realizan en la rizosfera. Entre los contaminantes orgánicos encontramos a los hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos totales del petróleo, plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), compuestos clorados, explosivos y surfactantes (detergentes).

Fitoestimulación: Se encuentra estrechamente relacionada con las comunidades microbianas, principalmente de hongos y bacterias, que se encuentran en el suelo adheridas a las raíces de las plantas se alimentan gracias a la liberación de azúcares simples, aminoácidos, nutrientes, enzimas, etc., producto de las actividades metabólicas o fisiológicas del vegetal, para lo cual los microorganismos mineralizan los contaminantes.

Fitovolatilización: Consiste en liberar los contaminantes a la atmósfera, durante el proceso de transpiración de la planta, pero siendo estos menos peligrosos en comparación con sus formas oxidadas. Este proceso se realiza gracias a que los contaminantes son absorbidos, metabolizados y transformados desde las raíces hasta las partes superiores de la planta.

Fitoestabilización: Mediante reacciones químicas el sistema radicular de la planta en el suelo logra precipitar, absorber e inmovilizar los contaminantes, todo esto gracias a los mecanismos de secuestro, lignificación o humificación, generando de esta manera reducir la biodisponibilidad de contaminantes en el medio. Tal es el caso de los metales que se fijan en las raíces de las plantas o la materia orgánica del suelo, restringiendo así su biodisponibilidad y su desplazamiento vertical hacia los mantos freáticos.

Fitoextracción o fitoacumulación: Este mecanismo consiste en acumular los contaminantes en diferentes partes de la planta, con la finalidad de ser tratados posteriormente, así podemos encontrarlos en las raíces, tallos, frutos, hojas; aquí encontramos generalmente a los metales pesados o algún contaminante orgánico e isótopos reactivos.

Rizofiltración: las plantas desarrollar un denso sistema radicular con la finalidad de eliminar del medio hídrico contaminantes gracias a las raíces en donde logran absorber, concentrar y precipitar metales pesado (pp. 69 - 71).

A. Mecanismo de fitorremediación de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*.

Las plantas *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* se caracterizan por ser macrófitas remediadores, y como fuente principal de alimento tienen al nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales son esenciales para un crecimiento invasivo de estas; es así donde Carrión (2012) manifiesta que, el Jacinto de agua tiene una capacidad de bioacumular y traslocar los contaminantes; dentro de los resultados obtenidos en su investigación para determinar el aprovechamiento potencial del Jacinto de agua, determinó que, la concentración de contaminantes en la raíz o parte sumergida llega al doble o hasta cinco veces más en comparación con las estructura aérea, la capacidad acumuladora se percibió más en aquellas plantas jóvenes y la translocación de los contaminantes se deben a diferentes procesos, el acumular sustancias con la finalidad de protegerse de los depredadores como gusanos, hongos y bacterias; sin embargo, también existen factores externos que interfieren, como por ejemplo a mayor concentración de contaminantes en el exterior, mayor será la presión para el desplazamiento hacia el interior de la raíz, así mismo las temperaturas elevadas ayudan al desplazamiento del agua desde la parte inferior a la parte aérea, y con ello el traslado de contaminantes; Entre algunos metales bioacumulados tenemos aluminio, fierro, manganeso, Zinc, Níquel, Cobre, Cadmio, Cobalto, Plomo, etc. (pp.613 - 619).

Arenas, Lúe y Gosmyr (2011) mencionan que, la *Lemna minor* al igual que la *Eichhornia crassipes*, tiene la capacidad de bioacumular y traslocar los contaminantes al interior de la planta, acumulando gran parte de esto en sus tejidos, en el interior de las células dentro de las vacuolas, o en otros casos son liberados al medio ambiente con contaminantes menos tóxicos (p.7).

Según estudios realizados en sistemas de depuración de aguas residuales, con las plantas *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, mencionan que dichas macrófitas cumplen funciones principales para mejorar las condiciones del agua, como: airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizosfera, estos microorganismo ayudan a la degradación de materia orgánica, produciendo así metabolitos que son absorbidos por la planta junto con el nitrógeno, fósforo y otros minerales, eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos, filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular (León, 2015, p.1).

Guevara y Ramírez (2015) mencionan que, el crecimiento y desarrollo de las macrófitas, se beneficia en aguas con altas concentraciones de una variedad de nutrientes tales como: potasio, nitrógeno y potasio; sin embargo, también se deben encontrar nutrientes en menores cantidades como calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, aluminio, boro, cobre, molibdeno y cinc (p.6).

2.2.4. Plantas Macrófitas.

Las plantas macrófitas son aquellas que habitan en lugares inundados ya sea de manera permanente o por largos períodos, estas plantas son de gran importancia puesto que ayudan a la remoción de nutrientes que, en cierto grado de concentraciones, altera al medio y por ende a las especies del lugar, sin embargo, también remueven contaminantes

que pueden ser altamente tóxico o perjudiciales para el medio ambiente y la salud de las especies (Flores y plantas. Net, 2017, p.1).

Según Núñez et al., (2004) clasifican a las plantas macrófitas en relación a su forma de vida, así tenemos a las plantas de libre flotación o no fijas, plantas fijas y plantas sumergidas.

Plantas de libre flotación (no fijas): Son plantas en donde las raíces no están fijas en algún sustrato, sus hojas y tallos se encuentran sobre la superficie del agua, claro ejemplo de dichas plantas tenemos al Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*); helecho de agua (*Salvinia sp* y *Azolla sp*), lechuga de agua (*Pistia sp*) y lentejas *Lemna sp*; *Wolffia sp* y *Wolffiella sp*).

Plantas fijas: Como su mismo nombre lo dice son plantas en donde sus raíces están fijas en algún sustrato y sus hojas se encuentran flotando sobre la superficie del agua, dentro de estas plantas tenemos a *Nymphaea elegans* y *Nymphoides fallax*

Sumergidas: Se caracterizan por desarrollarse dentro de la superficie del agua, en donde sus órganos reproductores pueden estar sumergidas o quedar encima, entre estas tenemos *Cerathophyllum demersum*, *Hydrilla verticillata*, *Phyllospadix torreyi* (p. 72).

El realizar un sistema con plantas acuáticas implica un bajo costo en la construcción y mantenimiento, así como la disponibilidad del recurso (Alvarado 2017, p. 9).

2.2.4.1. Descripción *Eichhornia crassipes* o Jacinto de agua.

El Jacinto de agua es considerada dentro de las 100 especies invasoras del mundo por la Unión Mundial para la Naturaleza, puesto que dicha planta es de rápido crecimiento, muy competitiva, es trasladada de un lugar a otro por el viento, propagada por el ser humano con fines ornamentales, del mismo es muy utilizada en diferentes investigaciones por caracterizarse como una especie remediadora de diferentes

contaminantes (Cabi, 2015, p. 18). Taxonómicamente la *Eichhornia crassipes* está considerada en:

Reino: Plantae

Phylum: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Pontederiales

Familia: Pontederiaceae

Género: Eichhornia

Especie: crassipes

Nombre común: Lirio acuático, Jacinto de agua, lechuguilla, lila de agua, etc. (Mart.) (Solms, 1883, p.1).

Es una herbácea perenne acuática flotante de agua dulce, sus raíces (raíces adventicias o fibrosas) son sumergidas, con una longitud que puede llegar hasta los 30 cm, de color azulado o lila, caracterizada porque contienen pigmentos solubles lo cual los protege de los herbívoros, los brotes axilares forman estolones (tallos débiles) de crecimiento horizontal lo cual da una planta hija; los pecíolos son cortos y bulbosos (esponjosos), las hojas tienen forma ovoidea, oval o elíptica, gruesas, brillantes de aspecto ceroso, de 2 a 15 cm de largo y 2 a 10 cm de ancho, los cuales se encuentran formando una roseta basal; los tallos son pubescentes (superficie vellosa) con dos brácteas y una estípula que produce normalmente entre 8 y 25 flores, los pétalos son de color azulados o violáceos, el superior de todos tiene en centro una mancha amarilla rodeada por un borde azul, con hasta 4 cm de longitud; el fruto es una capsula que contiene hasta 450 semillas; las semillas son ovales en la base, ápice afilado con una medida de 1 x 4 mm. Se caracterizan por ser de reproducción sexual y asexual (vegetativa), siendo está la más prolifera, en donde de 6 a 15 días pueden duplicarse (Verdejo et al., 2006, p. 2).

El alto grado de remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos se debe gracias al microorganismo aerobios y anaerobios que crecen adheridos a las raíces, quienes ayudan a una mayor degradación de residuos, quienes actúan como sustrato vida de microorganismos adheridos, que luego proporcionan un grado significativo de tratamiento (Yadav, et al., 2011, pp. 435 - 441).

❖ *Distribución.*

Originario de la cuenca del Amazonas y los extensos lagos y pantanos de la región del Pantanal del occidente de Brasil, sin embargo, también se encuentra en Estados Unidos, México, Centroamérica y partes calidad del hemisferio occidental (Solms como se citó en GISD, 2006).

❖ *Parámetros de crecimiento.*

Para un crecimiento óptimo y adecuado de dichas plantas es necesario cumplir con ciertos parámetros los cuales ayudarán a una mejor utilidad de la planta, por lo cual dicha especie necesitan estar en semisombra o iluminación intensa, la temperatura de las aguas entre 20 a 30°C (viéndose afectado a los 10°C, llegando a morir en algunos casos), con un pH entre los 6.5 - 8.5, su desarrollo y crecimiento se ve muy favorecido en aguas ricas en nutrientes de nitrógeno, fósforo y potasio, como también, calcio, hierro, boro, cobre, zinc, aluminio (Verdejo et al., 2006, p, 3).

2.2.4.2. Descripción de la *Lemna minor* o *Lenteja de agua*.

La *Lemna minor* es una planta acuática flotante pequeña, conocida comúnmente como lenteja de agua, la cual según Jaramillo y Flores (2012) los clasifica taxonómicamente en:

Reino: Plantae

División: Fanerógama Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Familia: Lemnaceae
Género: Lemna
Especie: minor L (p. 43).

Arroyave (2004) indica que, es una planta angiosperma (plantas con flores), monocotiledónea de tamaño muy reducido, entre 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho, su cuerpo vegetativo corresponde a una forma taloide, esto quiere decir, que no se diferencian el tallo y las hojas, es una estructura plana y verde de una sola raíz delgada de color blanco, cuya longitud de la raíz es de 1-2 cm de largo, sus hojas son ovaladas y planas, flores unisexuales, las masculinas están constituidas por un solo estambre y las flores femeninas consisten en un pistilo formado por un solo carpelo y no tiene el periantio (envoltura que rodea los órganos sexuales), las flores brotan de una hendidura ubicada en el borde de la hoja, dentro de una bráctea denominada espata, muy común en las especies del orden arales, sin embargo, rara vez en pocas ocasiones producen flores (1 mm de diámetro), el fruto contiene de 1 a 4 semillas. La forma más común de reproducción es la asexual, puesto que en los bordes basales se desarrolla una yema pequeña que origina una planta nueva que se separa de la planta progenitora (p. 34).

❖ *Distribución.*

Es una planta caracterizada por encontrarse en diferentes regiones de los hemisferios norte y sur, sumando a esto América, Europa, Asia, Australia y Nueva Zelanda. Su habitat son áreas encharcadas de agua dulce, ciénagas, lagos y ríos calmados (Arroyave como se citó en Armstrong, 2003, p. 35).

❖ *Parámetros de crecimiento.*

Para un óptimo desarrollo de la lenteja de agua, deben de existir condiciones adecuadas, para lo cual esta especie presenta los siguientes parámetros: temperaturas

entre los 5 °C Y 30 °C, sin embargo, un crecimiento óptimo se da entre los 15° C y 18° C, respecto a la iluminación esta se adapta a cualquier condición, su pH se encuentra ente los 3 – 10, se desarrolla muy bien en aguas calmadas y ricas en nitrógeno y fosfatos, sin embargo, generalmente el hierro limita su desarrollo (Arroyave como se citó en Rook, 2002, p. 35).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Aguas residuales.

Conjunto de aguas que han sufrido alteraciones en sus características físicas, químicas y biológicas (WWAP-UNESCO, 2017, p. 39).

2.3.2. Fitorremediación.

Rama de la biorremediación, en donde se aplica un conjunto de tecnologías que reducen, remueven, transfieren y estabilizan in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos (Delgadillo et al., 2011, p. 598).

2.3.3. Macrófitas.

Son plantas caracterizadas por vivir en áreas inundadas de manera permanente o por algunos periodos, clasificándose en plantas fijas, no fijas y sumergidas (Flores y plantas. Net 2017, p.1).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de la investigación – PTAR de Jaén

Presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de aguas residuales domésticas, ubicado en el sector Linderos, Provincia de Jaén, Departamento de Cajamarca, Perú (figura 1). Este sector se encuentra ubicado a 3.8 km de la ciudad de Jaén, con coordenadas de ubicación: 5°40'48.6" S y 78°46'42.5" W.

Características climatológicas según SENAMHI:

Temperatura máxima: 33 °C

Temperatura mínima: 19 °C

Precipitación media: 780.9 mm

Límites.

Por el Norte con la Provincia de San Ignacio.

Por el Este con las provincias de Bagua y Utcubamba.

Por el Sureste y Sur con la Provincia de Cutervo.

Por el Suroeste con las provincias de Ferreñafe.

Por el Oeste con la provincia de Huancabamba.

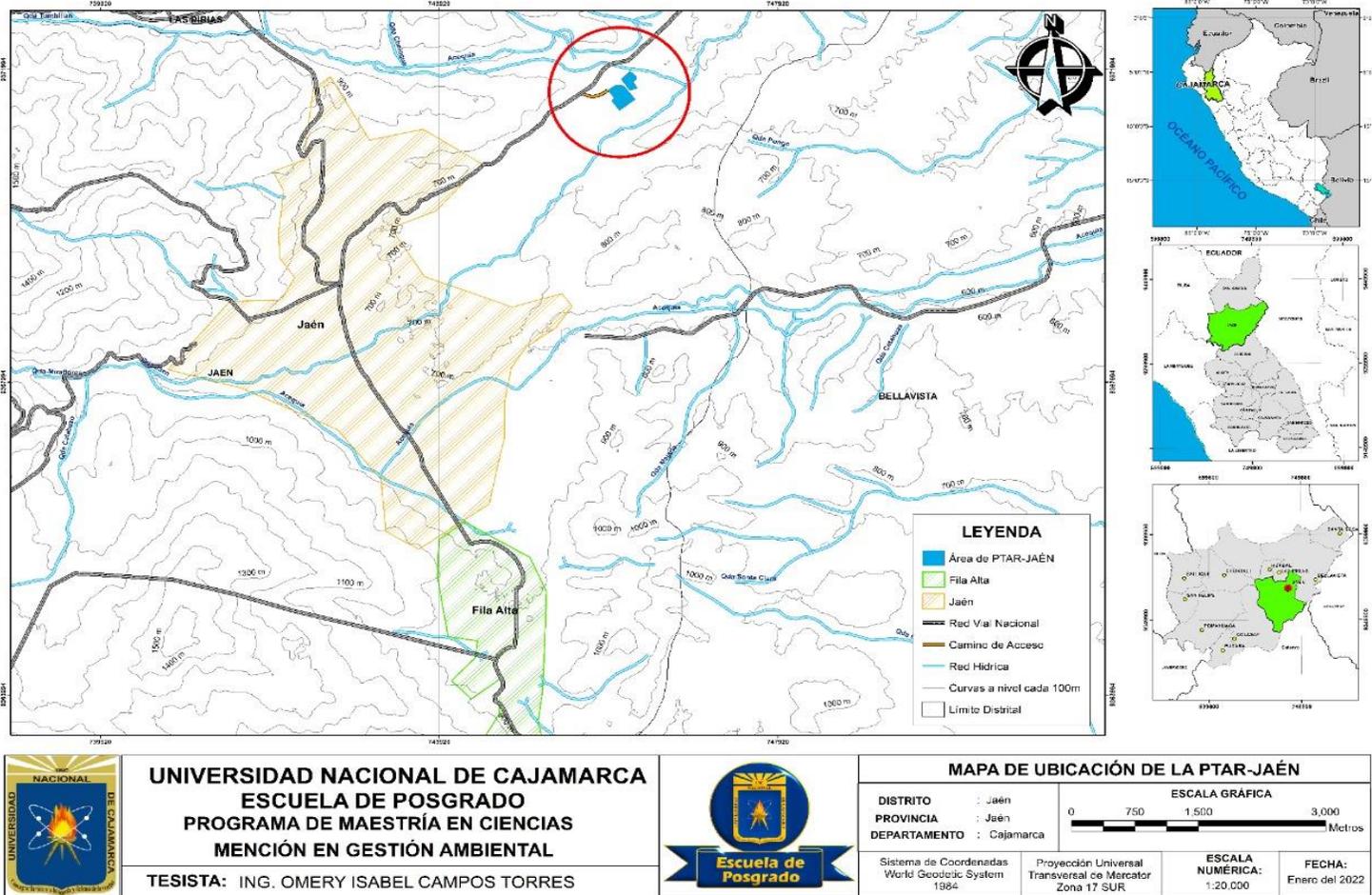
Extensión: 5,232.57 Km² (Carranza 2015).

Relieve.

El relieve es accidentado, constituido básicamente por los contrafuertes de las cordilleras Occidental y Oriental de los Andes y los valles que descienden de estos contrafuertes hacia la hoya amazónica (Carranza 2015).

Figura 1

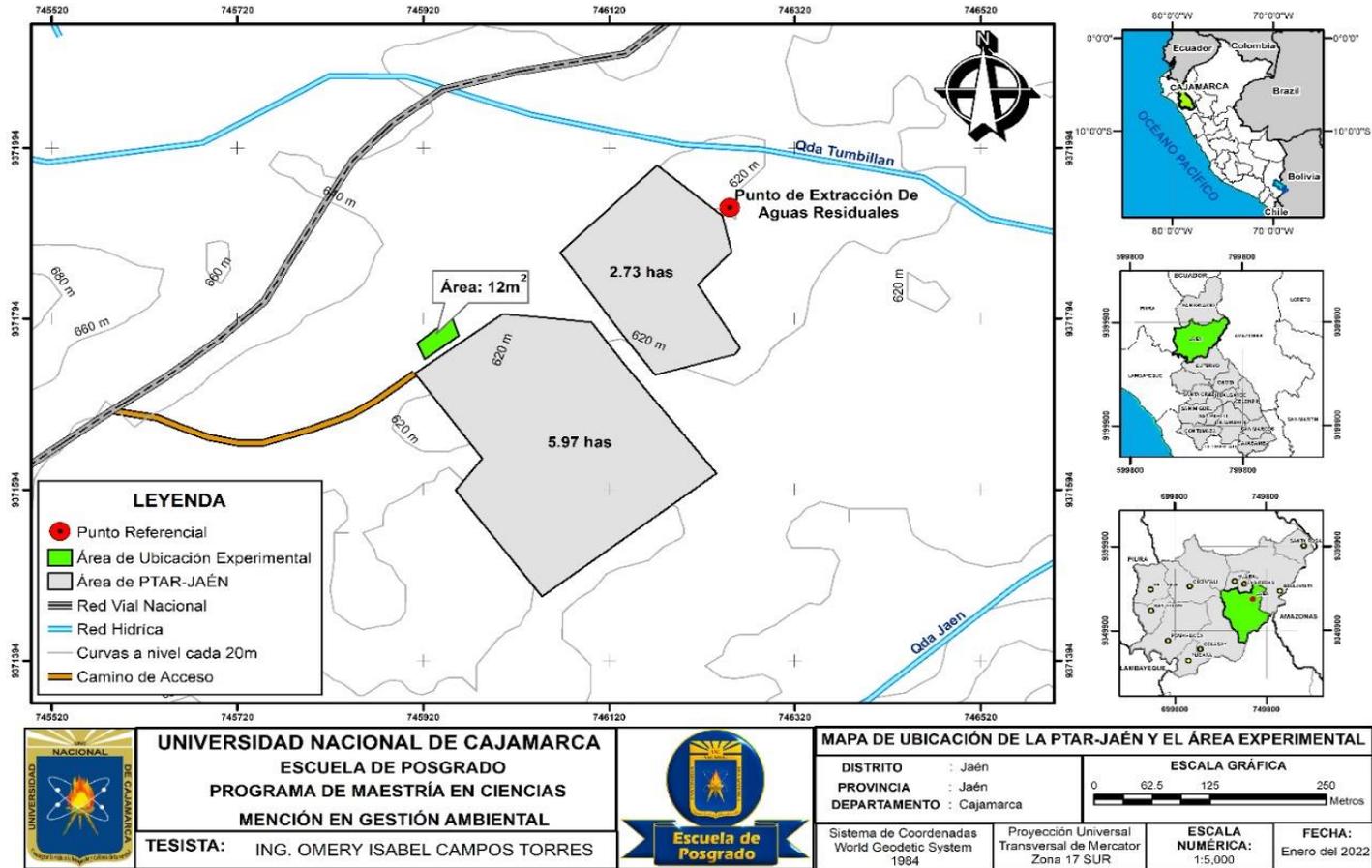
Mapa de Ubicación de la PTAR de Jaén



Nota: El mapa representa la ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del distrito de Jaén, con su departamento de Cajamarca, País Perú.

Figura 2:

Mapa de ubicación de la PTAR - Jaén y área experimental



Nota: El mapa representa la ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas, así como el área in situ donde se realizó la investigación.

3.2. Equipos, materiales y reactivos

Material experimental: Efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, ejemplares de *Lemna minor*, ejemplares de *Eichhornia crassipes*.

Equipos y materiales de campo: GPS de marca Garmin, cámara fotográfica; tinas de plástico, balde de plástico, colador de plástico, manguera de plástico, estantes de 120 l de capacidad, machete, palana, barreta.

Equipos de protección personal: guantes quirúrgicos, mascarilla.

Equipos, materiales y reactivos empleados en laboratorio: envases de plástico, cooler térmico mediano, cromatógrafo,

3.3. Metodología

A. Reconocimiento de área de estudio.

Se reconoció la ubicación exacta del punto de extracción de agua residual, PTAR Nueva Punto N°02, cuyas coordenadas son las mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1

Georreferenciación del punto de muestro – PTAR Nueva

Altitud (msnm)	Coordenadas
626	746250 E 9371924 N

Nota: La tabla muestra la coordenada y altitud de ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

B. Identificación de las especies.

Se identificó las especies de lenteja de agua y Jacinto de agua, las cuales se encontraron en el sector de linderos – Jaén y en la Laguna Azul – Huarandoza, respectivamente cuyas coordenadas son las mostradas en la Tabla 2.

Tabla 2

Georreferenciación de las especies de Lenteja de agua y Jacinto de agua

Especie	Altitud (msnm)	Coordenadas
<i>Lemna minor</i>	622	746213 E 9371570 N
<i>Eichhornia crassipes</i>	1057	744453 E 9425100 N

Nota: La tabla muestra las coordenadas y altitud de donde se obtuvieron las especies de *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*.

C. Dimensiones de los estanques.

Los estanques utilizados fueron de 120 litros de capacidad, de los cuales solo se llenó 100 litros con agua residual doméstica. Se adquirieron un total de 10 estanques, puesto que se tenía tres tratamientos, con tres repeticiones cada uno, y un grupo testigo.

Las dimensiones de los estanques fueron las siguientes:

Largo: 77.5 cm

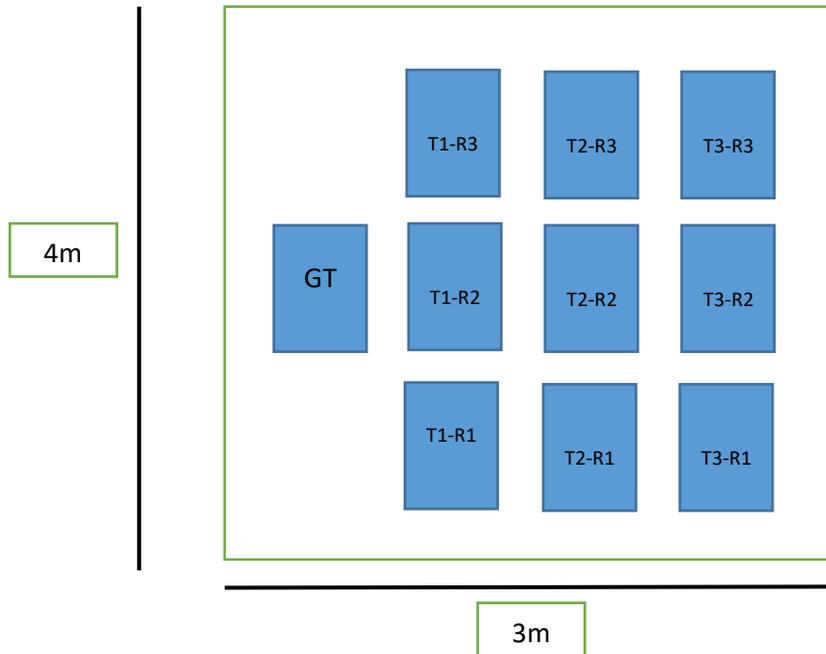
Altura: 47.4 cm

Ancho: 45.7 cm

D. Acondicionamiento del área e instalación de los estanques.

El acondicionamiento del lugar, consistió en la limpieza de 12 m² (largo 4 m y ancho 3 m) ubicado en la planta de tratamiento de aguas residuales, en donde se inició eliminando la vegetación, piedras, etc., se realizaron los hoyos para instalar las cañas de Guayaquil, el cual sirvió de sostén para la colocación del techo de plástico, protegiendo

de esta manera las unidades experimentales de las lluvias, así como la nivelación del área. Una vez acondicionado el área, se instalaron los estanques, los cuales se colocaron de la siguiente manera:



E. Recolección y preparación de las especies vegetales.

Se recolectó la especie de *Lemna minor* L de las parcelas de arroz, ubicadas en la parte baja de la PTAR con un colador de plástico y colocadas en un recipiente lleno de agua, el colador es utilizado con la finalidad de evitar dañar las raíces y disminuir en lo posible la extracción de impurezas. Posteriormente la especie fue lavada, con el mayor cuidado posible, para finalmente ser colocadas en un nuevo recipiente con agua, por un periodo de una semana, para su acondicionamiento respectivo.

Se recolectó la especie de *Eichhornia crassipes* M de la laguna azul, ubicada en Huarandoza, estas fueron colocadas en recipientes con agua propia de la zona, para ser trasladadas a la ciudad de Jaén. Posteriormente la especie fue lavada y colocada en agua por un periodo de una semana, para su acondicionamiento respectivo.

Se consideraron especies en etapa de crecimiento, puesto que son de mayor asimilación de nutrientes, disminuyendo el riesgo de muerte de los vegetales, en

comparación a las plantas adultas (Sarango y Sánchez, 2016), del mismo modo se buscó especies con la misma similitud física, tamaño, número de hojas, pigmentación y sin anomalías.

El establecimiento de la especie, se realizó con la finalidad de que la especie vegetal se adapte de una manera regular con la fotosíntesis, así como la identificación de plantas marchitas o con anomalías (Sarango y Sánchez, 2016; Coronel, 2016) (Jaramillo y flores, 2012).

F. Recolección y envío de muestra de agua residual.

Se realizó la recolección de muestras de agua residual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) NUEVA, las cuales fueron colocadas en los 10 estanques, así como la toma de la muestra para determinar la concentración de nitratos, sulfatos y fosfatos, bajo el protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales (DIGESA, 2007), la muestra de agua residual fue enviada en envases de plástico dentro de un cooler térmico al Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca.

G. Introducción del material vegetativo a los estanques.

Las especies acondicionadas fueron introducidas en los estanques de agua residual (100 L), en donde fueron introducidas solamente en 9 recipientes (3 tratamientos y 3 repeticiones), dejando un estanque sin especies, pues este actuó como grupo testigo.

Tabla 3

Tratamientos aplicados

Tratamiento	Código	Repeticiones	Proporción de plantas por recipiente
Grupo testigo	T0	0	0
<i>Lemna minor</i>	T1	T1 – R1 T1 – R2 T1 – R3	Hasta la mitad del recipiente
<i>Eichhornia crassipes</i>	T2	T2 – R1 T2 – R2 T2 – R3	Hasta la mitad del recipiente
<i>Lemna minor</i> y <i>Eichhornia crassipes</i>	T3	T3 – R1 T3 – R2 T3 – R3	Cuarta parte del recipiente con lenteja. Cuarta parte del recipiente con Jacinto. Abasteciendo de esta manera la mitad del recipiente con ambas especies.

Nota: En la tabla se muestra los tres tratamientos aplicados (tratamiento uno: *Lemna minor*, tratamiento dos: *Eichhornia crassipes* y tratamiento tres: *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*) con sus respectivas codificaciones y número de repeticiones.

H. Recojo y envío de muestras, después de aplicar los tratamientos.

Se tomó la muestra de cada unidad experimental para determinar la concentración de nitratos, sulfatos y fosfatos, bajo el protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales (DIGESA, 2007) e inmediatamente la muestra de agua residual fue enviada en envases de plástico dentro de un cooler térmico al Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca.

Tabla 4

Monitoreo de parámetros de laboratorio

Parámetro	T1	T2	T3
	<i>Lemna minor</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Lemna minor</i> y <i>Eichhornia crassipes</i>
Nitratos	El envío de las muestras al laboratorio fue el 22 de cada		
Fosfatos	mes, durante tres meses.		
Sulfatos			

Nota: En la tabla se muestra los parámetros analizados (nitratos, fosfatos y sulfatos) en el Laboratorio Regional del Agua, en los tres tratamientos aplicados.

Tabla 5

Frecuencia de monitoreo de parámetros

Actividades	Período de ejecución de la investigación			
	Febrero 2021	Marzo 2021	Abril 2021	Mayo 2021
Monitoreo de parámetros de laboratorio	X	X	X	X
Tipo de tratamiento caracterizado	T0	T1 T2 T3	T1 T2 T3	T1 T2 T3

Nota: En la tabla se muestra los meses de ejecución (febrero, marzo, abril y mayo) del trabajo de investigación.

Tabla 6

Requisitos para la toma de muestra de agua y preservación

Parámetro	Recipiente	Volumen de la muestra	Tipo de matriz	de Conservación/Preservación	Tiempo máximo de duración
Nitrato	Plástico	100 ml	Agua residual	Refrigerar a 4°C	48 horas
Fosfato	Plástico	100 ml	Agua residual	Refrigerar a 4°C	48 horas
Sulfato	Plástico	100 ml	Agua residual	Refrigerar a 4°C	28 días

Fuente: Resolución Directoral N°2254 /2007/DIGESA/SA

Tabla 7

Método de ensayo utilizado para determinar los parámetros de nitrato, fosfato y sulfato.

Parámetro	Método de ensayo utilizado	Tipo de matriz
Nitrato	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography	Agua residual
Fosfato	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography	Agua residual
Sulfato	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography	Agua residual

Fuente: Laboratorio Regional del Agua - Gobierno Regional de Cajamarca

3.4.Diseño experimental

Se empleó el diseño Completamente al Azar. Se analizó el efecto de la *Lemna minor* y la *Eichhornia crassipes* en la extracción de nitratos, sulfatos y fosfatos en un volumen de agua residual es de 100 litros de capacidad, evaluado durante tres meses.

En la prueba de hipótesis para las medias se verificará que:

Ho: $T_0 = T_1 = T_2 = T_3$, No hay remoción de nitratos, fosfatos y sulfatos (aniones) por *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*.

Ha: $T_0 \neq T_1 \neq T_2 \neq T_3$ Si hay remoción de nitratos, fosfatos y sulfatos (aniones) por *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*.

3.4.1. Análisis de varianza (ANVA)

Se realizó un análisis de varianza (ANVA) de una vía, con la finalidad de determinar las diferencias significativas entre el tratamiento y el control, empleando el programa IBM SPSS Statistics

CAPÍTULO IV

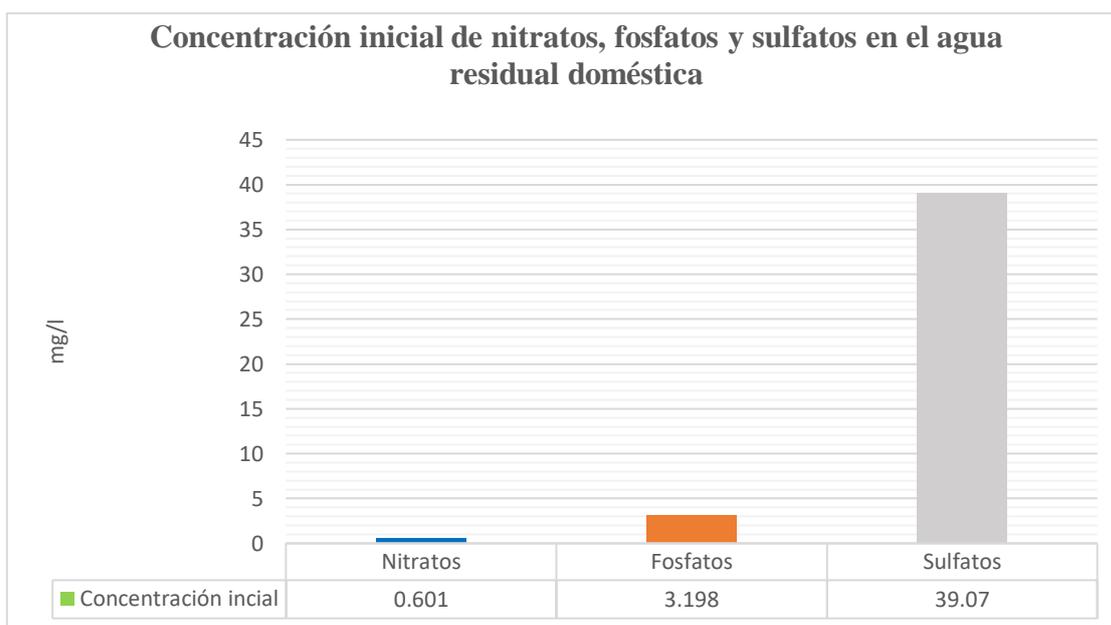
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Concentración inicial de nitratos, fosfatos y sulfatos en el agua residual doméstica

En la figura 3 se muestra los resultados de concentración (mg/l) de nitratos, fosfatos y sulfatos presentes en el agua residual previa aplicación de los tratamientos, en donde se encontró 0.601 mg/l de nitratos, 3.198 mg/l de fosfatos y 39.07 mg/l de sulfatos.

Figura 3

Concentración inicial de nitratos, fosfatos y sulfatos en el agua residual doméstica.



La presencia de nitratos, fosfatos y sulfatos es propia de los diferentes productos utilizados en actividades del hogar, sin embargo, a esto se suma que a la PTAR de Jaén ingresan las aguas provenientes del camal municipal de Jaén, con una alta carga orgánica, sin tratamiento previo, del mismo modo se ha observado muchas actividades industriales, a pequeña escalada, que derivan sus residuos líquidos al alcantarillado.

Londoño y Marín (2009) indican que la presencia de nitratos, fosfatos y sulfatos en las aguas residuales es producto de las distintas actividades humanas, como la utilización de combustibles fósiles, generación de fertilizantes, suplementos alimenticios, fabricación de cosméticos, tintas, adhesivos, papel, excretas, productos de limpieza, descomposición de microorganismos, descargas industriales, etc.

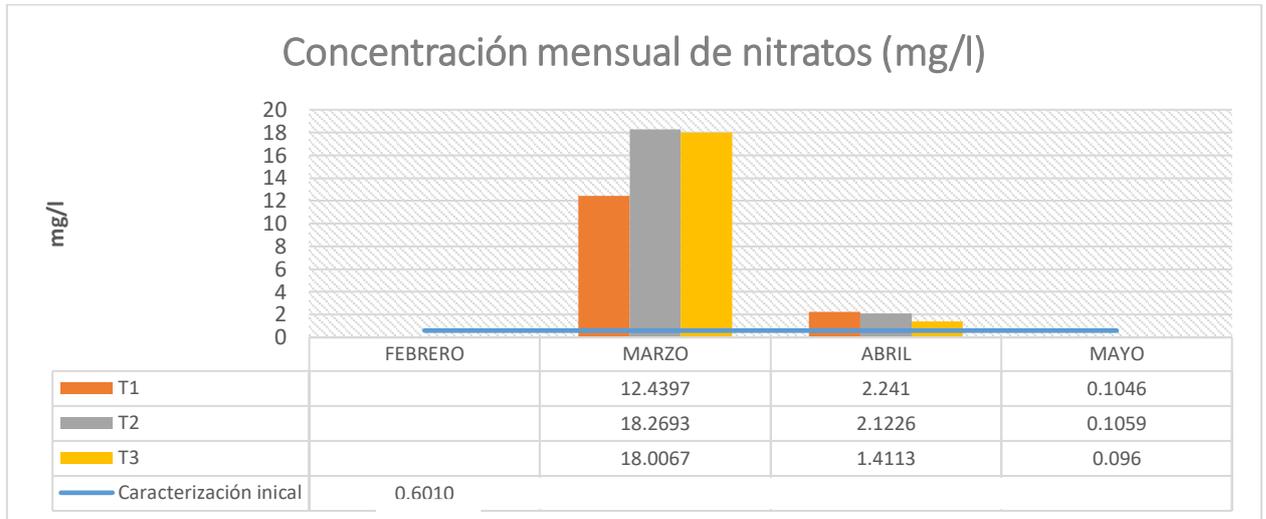
4.2 Concentración mensual de parámetros

4.2.1 Nitratos.

En la figura 4 se muestra los resultados de los tratamientos aplicados en la remoción de nitratos en los meses de Marzo, Abril y Mayo; determinándose que en el mes de Marzo el tratamiento uno (T1), presenta una menor concentración de nitratos con 12.4397 mg/l, y el tratamiento dos (T2) y tres (T3) tienen concentraciones muy similares, con 18.2693 mg/l y 18.0067 mg/l respectivamente; en el mes de Abril, el tratamiento tres (T3), presenta una menor concentración de nitratos con 1.4113 mg/l, y el tratamiento uno (T1) y dos (T2), tienen concentraciones muy similares con 2.241 mg/l y 2.1226 mg/l, respectivamente; en el mes de Mayo el tratamiento tres (T3) presenta una menor concentración de nitratos con 0.096 mg/l, y el tratamiento uno (T1) y dos (T2), presentan concentraciones muy similares con 0.1046 mg/l y 0.1059 mg/l, respectivamente. Así mismo en la figura 3 se observa que los tratamientos uno (T1), tratamiento dos (T2) y tratamiento tres (T3) la remoción de nitratos es efectiva a partir del mes de Mayo, encontrándose por debajo de la concentración inicial.

Figura 4

Concentración mensual de nitratos (mg/l)



Según los resultados obtenidos observamos que, en el primer mes, no se evidencia una remoción de nitratos, por el contrario existe un incremento, los cuales se deben a diferentes razones, acondicionamiento de la especie a su nuevo medio o por las reacciones propias que suceden diariamente en el medio acuático, sin embargo, a partir del mes de abril se observan remociones significativas de nitratos en todos los tratamientos aplicados y esto se debe a la capacidad remediadora de dichas especies, llegando a obtener en el tercer mes, concentraciones del anión evaluado en trazas, es decir por debajo de límite de cuantificación del método, lo que significa que se encuentra apta para ser vertida a un cuerpo natural de agua y no afectar al medio, por lo cual podemos decir que las especies a partir del tercer mes han logrado una remoción eficientemente significativa.

Alarcón (2018), menciona que en el agua residual el nitrógeno se encuentra en forma de amonio, mediante el proceso de nitrificación el amonio es convertido en nitrato (fijación, por bacterias como Clostridium sp, Anabaena, Nostoc, Bacterias pupúreas), esto se lleva a cabo en dos etapas, la primera consiste en que el amonio es convertido en nitrito, la segunda reacción donde el nitrito se oxida a nitrato, forma en el cual puede ser

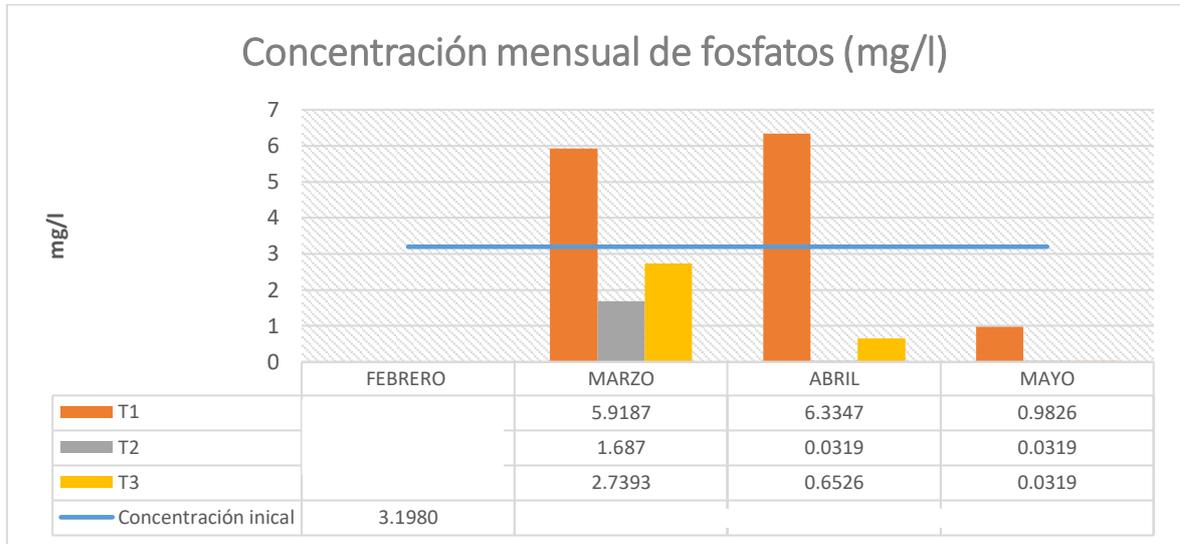
asimilada por la planta, a través de sus raíces (p.25), dentro de las bacterias nitrificante aeróbicas que pueden estar presentes en la zona más oxigenada del estanque tenemos a las nitrosomonas y nitrobacter, sin embargo también podemos tener desnitrificación llevadas a cabo por las bacterias de Pseudomonas y Alcaligenes, la absorción del nitrato en los meses posteriores se debe a la eficiencia en la remoción de nitratos y fosfatos al proceso de fitorremediación de las macrófitas ya que estas absorben los nitratos y fosfatos formados como elemento esencial para su crecimiento y desarrollo (León, 2015, p.1).

4.2.2 Fosfatos

En la figura 5 se muestra los resultados de los tratamientos aplicados en la remoción de fosfatos en los meses de Marzo, Abril y Mayo; determinándose que en el mes de Marzo el tratamiento dos (T2), presenta una menor concentración de fosfatos con 1.687 mg/l, seguido del tratamiento tres (T3) con 2.7393 mg/l, siendo el tratamiento uno (T1) de mayor concentración con 5.9187 mg/l; en el mes de Abril, el tratamiento dos (T2) presenta una menor concentración de fosfatos con 0.0319 mg/l, seguido del tres (T3) con 0.6526 mg/l; siendo el tratamiento uno (T1) de mayor concentración con 6.3347 mg/l; en el mes de Mayo el tratamiento dos (T2) y tres (T3) presenta una menor concentración de fosfatos con 0.0319 mg/l, seguido del tratamiento uno (T1), con una concentración de 0.9826 mg/l. Así mismo en la figura 4 se observa que la remoción de fosfatos es efectiva a partir del mes de abril en los tratamientos dos (T2) y tres (T3), y en el mes de Mayo la remoción de fosfatos ya se encuentra por debajo de la concentración inicial en todos los tratamientos aplicados.

Figura 5

Concentración mensual de fosfatos (mg/l)



Observamos que los resultados obtenidos para fosfatos tienen la misma tendencia que los nitratos, notando que en el primer mes existe un incremento, lo cual se debe también a que la especie se encuentra adaptándose a su nuevo medio, así como a las reacciones constantes llevadas a cabo en el medio acuático, en los meses posteriores, sin embargo, notamos una remoción de dicho parámetro, lo que conlleva a indicar que la especie está realizando su capacidad remediadora.

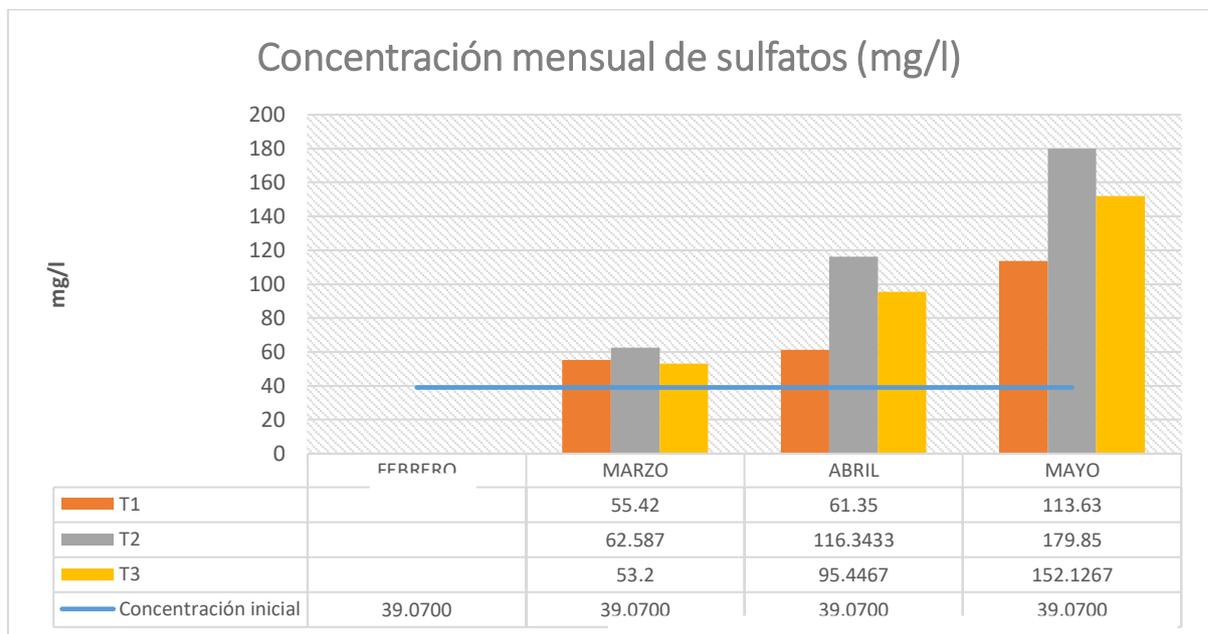
Alarcón (2018), menciona que el fósforo ingresa a las aguas residuales generalmente por productos de limpieza fertilizantes, excretas, etc; lo cual para que este se encuentre disponible para la planta tiene que encontrarse en forma de fosfatos solubles, es donde destacan las bacterias del género de *Stenotrophomonas* sp, *Burkholderia* sp, *Pseudomonas* sp, etc. quienes aumentan los iones de fósforo y al ser hidrolizados con la enzima fitasa y fosfatasa (proteínas), son transformados en compuestos solubles (p.26), a partir del segundo mes las especies utilizadas absorben los fosfatos puesto que según León (2015), menciona que la eficiencia en la remoción de nitratos y fosfatos se debe específicamente al proceso de fitorremediación de las macrófitas ya que estas absorben los nitratos y fosfatos formados como elemento esencial para su crecimiento y desarrollo.

4.2.3 Sulfatos

En la figura 6 se muestra los resultados de los tratamientos aplicados en la remoción de sulfatos en los meses de marzo, abril y Mayo; determinándose que los sulfatos van aumentando de manera mensual, en donde en el mes de marzo el tratamiento uno tiene una concentración de 55.42 mg/l y en el mes de Mayo tiene una concentración de 113.63 mg/l; el tratamiento dos (T2) en el mes de Abril tiene una concentración de 62.587 mg/l y en el mes de Mayo tiene una concentración de 179.85 mg/l; finalmente el tratamiento tres (T3), en el mes de Marzo tiene una concentración de 53.2 mg/l y en el mes de Mayo llega a los 152.1267 mg/l. Así mismo en la figura 5 se observa que no existe una remoción de sulfatos durante los tres meses de evaluación, aumentando la concentración de dicho nutriente en relación a la concentración inicial.

Figura 6

Concentración mensual de sulfatos (mg/l)



Según los resultados obtenidos observamos que los sulfatos tienen una tendencia a aumentar a medida que pasa los meses, pueden existir muchas razones como por ejemplo a que las condiciones no son adecuadas para que los microorganismos realicen

sus funciones adecuadamente, así como la presencia de azufre en el agua quien mediante reacciones anaeróbicas sean convertidos en sulfatos.

Estos resultados coinciden con lo señalado por Vásquez (2018), quien menciona que al realizar la remoción de sulfatos con las especies de *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*, observó un incremento representativamente, (misma muestra de agua residual), esto coincide con España (2006) quien indica que las macrófitas pueden remover hasta el 50% de sulfatos mediante la aplicación de un sistema complementario de aireación (lagunas de aireación), de esta manera se logra mejorar el sistema y las condiciones aeróbicas para los microorganismos, que viven adheridos al sistema radicular de la planta quienes ayuda en la eliminación de contaminantes y nutrientes, caso contrario en un medio anaeróbico las bacterias reductoras de sulfato, como lo indica Gavilanes (2016) utilizan el sulfato como aceptor final de electrones en la degradación de la materia orgánica (proceso llamado sulfato reducción – vía anaerobia) dando como resultado la producción del ácido sulfhídrico, es así que Gavilanes (2016) reportó en su investigación que la *Eichhornia crassipes* mostró el 50% de remoción de Ácido sulfhídrico (H_2S)

Alarcón et al., (2018), mencionan que en las aguas residuales la presencia de azufre se debe a lixiviados de fertilizantes agrícolas, descomposición de microorganismos, descargas industriales, etc, sin embargo, para que este sea asimilado por las raíces de la planta este tiene que están en forma de sulfato, es donde intervienen microorganismos como Thio bacterias quienes se encargan de transforman el azufre en sulfatos, sin embargo el azufren en condiciones anaeróbicas se transforma en ácido sulfhídrico (caracterizado por su olor a huevo podrido) junto con las bacterias reductoras de sulfatos, coincidiendo nuevamente con España en la implementación de un sistema de aireación.

Es así que según Delgadillo et al., (2001) gracias a la microscopia electrónica determinó que las macrófitas para suministrar el oxígeno de la atmosfera y transferirla a las raíces, cuentan con el tejido aerénquima o parenquimáticos aeríferos, el cual se especializa en formar una red de espacios intercelulares llenos de gas que logran interconectar toda la planta, de esta manera el oxígeno ingresa por los estomas y se mueve mediante difusión molecular pasiva mejorando así las condiciones aeróbicas del microorganismo que se encuentran en una relación simbiótica junto a las raíces. Entre los microorganismos que se encuentran adheridos en las raíces se tienen: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios, sin embargo, para lograr una remoción de sulfatos es necesario una aireación mecánica en el sistema (España, 2006).

Guerrero y Jibaja (2019) indican que la *Eichhornia crassipes* tiene una tendencia a neutralizar el agua (es decir se acerca a 7), mientras que la *Lemna minor* tiene la tendencia de alcalinizar ligeramente el agua (es decir mayor a 7), esto concuerda con Rodier (citado en Castillo 2017), quien menciona que el pH óptimo de las aguas residuales para ser descargadas debe estar entre 6.5 y 8.5 entre neutra y ligeramente alcalina, y con lo cual el Ph no fue un parámetro determinante para la remoción de sulfatos puesto que este solo se encuentra no disponible por debajo de 6.5, concordando con España (2006), con la implantación de un sistema de aireación al momento de utilizar estas especies con fines remediadores.

4.3 Porcentajes de remoción de nitratos, fosfatos y sulfatos y Análisis de varianza.

4.3.1 Remoción (%) de Nitratos a los 90 días.

En la figura 7 se muestra los porcentajes (%) de remoción de nitratos, a los 90 días, en donde el mejor tratamiento de remoción de nitratos corresponde al tratamiento tres (T3) con 83.4%, seguido del tratamiento uno (T1) y dos (T2), con remoción similar 82.6 % y 82.4 % respectivamente.

Figura 7

Remoción (%) de nitratos a los 90 días

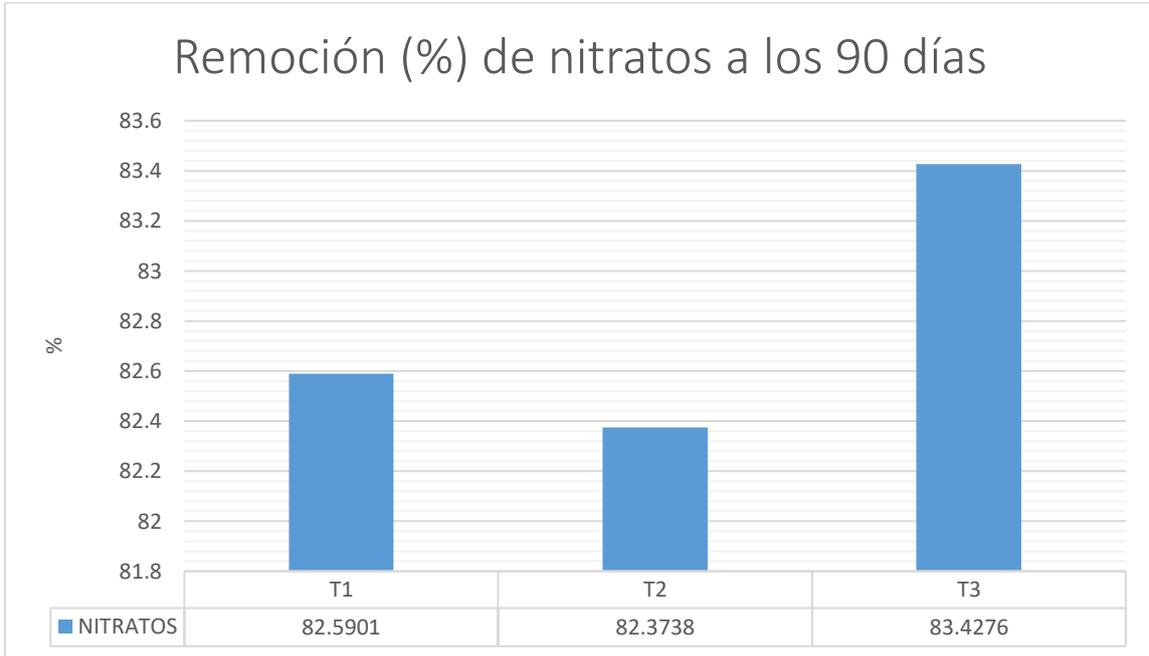


Tabla 8

Análisis de varianza para nitratos

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	1.859	2	0.929	0.008	0.992
Error	686.226	6	114.371		
Total	688.085	8			

Según la tabla 8, el análisis de varianza para nitratos podemos observar un nivel de significancia de 0.05 (95% de confiabilidad), por lo cual se afirma que los tratamientos resultaron estadísticamente no significativos; es decir, las especies evaluadas remueven en niveles similares la concentración de nitratos en el agua residual estudiada.

En los resultados obtenidos observamos que los nitratos a los tres meses se encuentran inclusive por debajo de los límites de cuantificación del método, es decir en trazas, lo que quiere decir que las remociones con dichas especies son eficientes, corroborándose con lo encontrado en los resultados quienes superan una remoción del 80%.

Los resultados obtenidos concuerdan con Vásquez (2018), quien en su investigación con las especies de *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*, afirma que no existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados; del mismo modo Coronel (2016), logró una remoción del 87, 8% de nitratos, con *Lemna minor* y un 86,5% de nitratos con *Eichhornia crassipe*, así como Mendoza (2016) con *Eichhornia crassipes* remueve el 87% de amonio y 31% de ortofosfato.

Castillo (2017), menciona que la *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* puede remover el 34% y 37% respectivamente, de nitratos, así como Gavilanes (2016) con la especie *Eichhornia crassipes* logró una remoción del 31.7 % de nitrógeno total Kjeldahl y según los resultados obtenidos en la presente investigación estos se encuentran por encima del 80%, a lo cual en la presente investigación se obtuvieron resultados por encima del 80% de remoción de nitratos.

La eficiencia en la remoción de nitratos y fosfatos se debe específicamente al proceso de fitorremediación de las macrófitas ya que estas absorben los nitratos formados que sirven como fertilizantes utilizándolo como elemento esencial para su crecimiento León (2015).

Alarcón (2018), menciona que en el agua residual el nitrógeno se encuentra en forma de amonio (fijación, por bacterias como *Clostridium* sp, *Anabaena*, *Nostoc*, Bacterias pupúreas), mediante el proceso de nitrificación el amonio es convertido en nitrato, esto se lleva a cabo en dos etapas, la primera consiste en que el amonio es convertido en nitrito, la segunda reacción en donde el nitrito se oxida a nitrato, forma en el cual puede ser asimilada por la planta, a través de sus raíces (p.25).

Pereyra (2001), menciona que cuando el nitrato es absorbido por las raíces, para su transporte a través de la membrana plasmática al citoplasma se da mediante un proceso

termodinámicamente desfavorable, mediante canales iónico (canal permeable al nitrato el cual permite el flujo de aniones hacia la célula mediante un Transporte pasivo y para mantener el nitrato intracelular es un transporte activo), en donde dentro de la planta antes de metabolizarse debe llevarse a la forma de amonio (es decir de nitrato se reduce a nitrito por acciones enzimáticas nitrato – reductasa utilizando NADH o NADPH), proceso llevado a cabo en el citoplasma y estos reducidos a amonio por la acción de la nitrito reductasa, llevados a cabo en los cloroplastos) una vez obtenido el amonio este es incorporado a los aminoácidos (glutamina y glutamato) gracias a las enzimas glutamina sintetasa y glutamato sintasa (las cuales se encuentra dentro y fuera de la célula), este a su vez es incorporado a otros aminoácidos por reacciones de transaminación (gracias a las enzimas aminotransferasas, encontradas en el citoplasma, cloroplastos, mitocondrias, glioxisomas y peroxisomas) los aminoácidos (constituidos por esqueletos carbonatados y nitrógeno) forman parte de la sabia elaborada, el cual será transportado por el floema a hacia las zonas de consumo, o sumideros (meristemas de tallos y raíces) o zonas de almacenamiento (frutos, semillas y raíces). El nitrógeno en la planta sirve para la producción de hojas y el color verde principalmente, del mismo modo este nitrato puede ser almacenado como nitrato en los tejidos radiculares o depositados en el Xilema y ser transportados por el tallo (pp. 1 - 16).

4.3.2 Remoción (%) de Fosfatos a los 90 días.

En la figura 8 se muestra los porcentajes (%) de remoción de fosfatos, a los 90 días, en donde el mejor tratamiento de remoción de fosfatos corresponde a los tratamientos dos (T2) y tres (T3), con 99%, seguido del tratamiento uno (T1) con 69.3%.

Figura 8

Remoción (%) de fosfatos a los 90 días

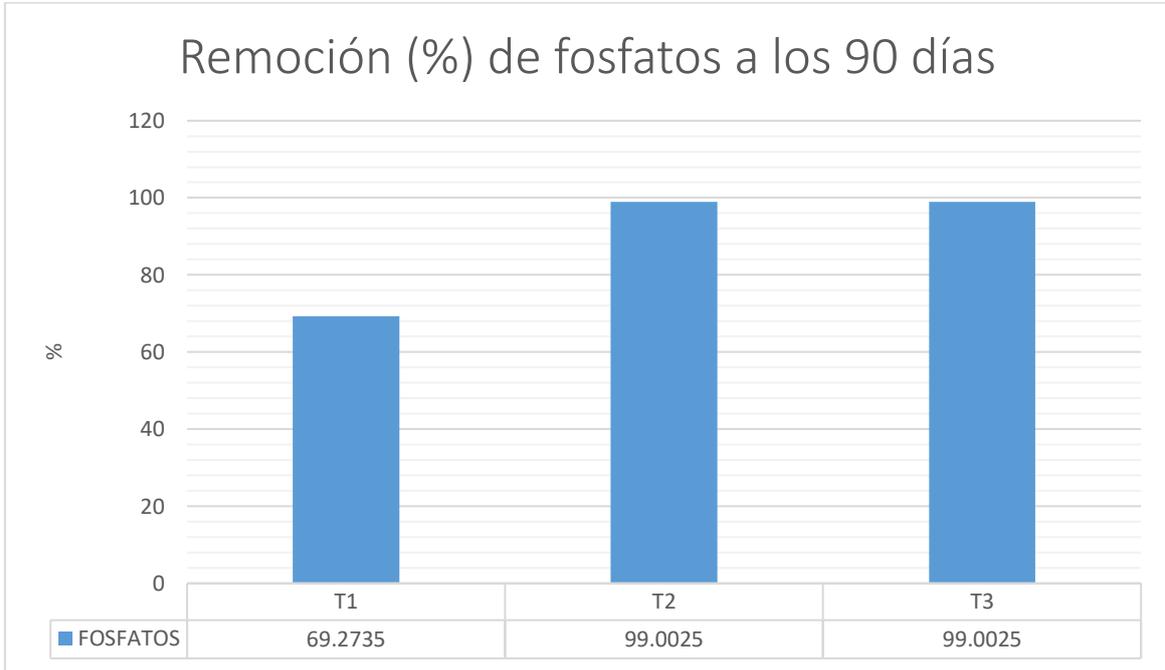


Tabla 9

Análisis de varianza para fosfatos

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	1,767.627	2	883.813	3.958	0.080
Error	1,339.849	6	223.308		
Total	3,107.476	8			

Según la tabla 9, el análisis de varianza para sulfatos podemos observar un nivel de significancia de 0.05 (95% de confiabilidad), por lo cual se afirma que los tratamientos resultaron estadísticamente no significativos; es decir, las especies evaluadas remueven en niveles similares la concentración de fosfatos en el agua residual estudiada.

Según los resultados obtenidos observamos que los fosfatos tienen la misma tendencia que los nitratos, es decir a disminuir de manera mensual, donde a los tres meses se encuentra por debajo de los límites de cuantificación del método, es decir en trazas, lo que quiere decir que tanto nitratos como fosfatos son removidos de manera paralela por

las especies aplicadas, siendo estas macrófitas eficientes en la remoción de dichos parámetros.

Los resultados obtenidos concuerdan con Coronel (2016), quien menciona que la *Eichhornia crassipes* logró un mayor porcentaje de remoción de fosfatos con un 93,70%, concordando con Castillo (2017) quien logró remover un 68% y con Cruz et al (2016), quien indica que la *Eichhornia crassipes* es totalmente eficiente para la remoción de contaminantes en aguas, lográndose mejores resultados que Quispe (2017), quien solo removió el 31% de fosfatos con *Eichhornia crassipes*.

En la presente investigación se logró remover un 69,3% con *Lemna minor*, concordando con Coronel (2016), quien indica que logró una remoción de fosfatos con *Lemna minor* un 87,40%, lográndose mejor resultados que Castillo (2017), quien logró una remoción de fosfatos en un 34%, y Vásquez (2018), quien logró solamente una remoción de fósforo total del 18%.

Guerrero y Jibaja (2019) indican que la *Eichhornia crassipes* tiene una tendencia a neutralizar el agua (es decir se acerca a 7), mientras que la *Lemna minor* tiene la tendencia de alcalinizar ligeramente el agua (es decir mayor a 7), lo cual explica porque la *Lemna minor* logró una menor remoción de fosfatos en comparación a la otra especie, ya que la solubilidad del fosfato se ve afectado por un Ph mayor a 6, sin embargo en un Ph alcalino hace que el fósforo que se encuentra en forma de partícula, sedimento por procesos de absorción y coagulación (el cual puede incorporarse nuevamente en procesos anaerobios).

Alarcón (2018), menciona que el fósforo ingresa a las aguas residuales generalmente por productos de limpieza fertilizantes, excretas, etc.; lo cual para que este se encuentre disponible para la planta tiene que encontrarse en forma de fosfatos solubles,

es donde destacan las bacterias del género de género de *Stenotrophomonas* sp, *Burkholderia* sp, *Pseudomonas* sp, etc. quienes aumentan los iones de fósforo y al ser hidrolizados con la enzima fitasa y fosfatasa (proteínas), son transformados en compuestos solubles (p.26). Al ser absorbido el fósforo (en forma de ortofosfato primario $H_2PO_4^-$, fosfato secundario HPO_4^- , esta se da gracias al incremento del pH) a través de las raíces este permanece en su mismo estado de oxidación mayor (es decir no es reducido dentro de la planta), esta absorción es llevada a cabo gracias a un cotransporte de H^+ (el H^+ es bombeado por una ATPasa localizado en la membrana plasmática hacia el apoplasto), una vez que es absorbido estos fosfatos son incorporados a compuestos orgánicos como ácidos nucleicos, fosfoproteínas, fosfolípidos, enzimas y compuestos fosfatados ricos en energía como Adenosín Trifosfato (ATP). Cuando el ortofosfato es esterificado con grupos oxhidrilo de azúcares y alcoholes o enlazados por un pirofosfato ligado a otro grupo fosfato se logra la formación de compuestos orgánicos de fosfatos, ejemplo de un éster fosfato esta la fructuosa – 6 – fosfato, estos compuestos son intermediarios en el metabolismo, Del mismo modo los fosfatos se unen a compuestos lipofílicos (fosfolípidos), como ejemplo tenemos a la lecitina el cual es un componente esencial para la membrana. Los grupos fosfatados contienen enlaces de alta energía (enlaces pirofosfatos), quienes ayudan a la formación del Adenosín Trifosfato (ATP), los cuales al romperse los enlaces liberan la energía almacenada. La energía absorbida durante la fotosíntesis, o liberada durante la respiración o por ruptura anaeróbica de carbohidratos es utilizada en la síntesis del enlace pirofosfato del ATP, de esta manera las reacciones de los fosfatos de alta energía, proporcionan energía a los procesos celulares, absorción activa de iones, síntesis de compuestos orgánicos (generalmente por procesos de fosforilación, es decir transporte de energía desde donde se produce a donde se necesita) (Mengel y Kirkby,2000, p. 364).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- Se logró una del 83.4% de Nitratos y 99% de fosfatos con *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, sin embargo, no se logró ninguna remoción de sulfatos con ambas especies.
- Según la concentración inicial de nitratos, fosfatos y sulfatos previo tratamiento se obtuvo 0.601 mg/l de nitratos, 3.198 mg/l de fosfatos y 39.07 mg/l de sulfatos.
- Se logró una extracción del 82.37% de nitratos y 99% de fosfatos con *Eichhornia crassipes*, sin embargo, no se logró remoción de sulfatos.
- Se logró una extracción del 82.59% de nitratos y 69.27% de fosfatos con *Lemna minor*, sin embargo, no se logró remoción de sulfatos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con la investigación, implementando un sistema de aireación con la finalidad de observar el comportamiento de los sulfatos e implementar parámetros de evaluación como como el pH, temperatura y oxígeno disuelto.
- Realizar trabajos de investigaciones con la especie *Eichhornia Crassipes*, debido que dicha especie, es menos sensible al momento de ser trasladada y manipulada durante los tratamientos y estadísticamente no hay diferencia significativa con la especie *Lemna minor*, en la extracción de nitratos y fosfatos.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcon, M., Zurita, F. y Lara, J. (2018). “Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina”. Pontificia Universidad Javeriana. <http://hdl.handle.net/10554/34519>
- Alfaro, J., Codero, G., Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en Marcha*, 30(4), 15 – 27. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>
- Alvarado, K. (2017). Influencia del uso de *Lemna minor* en el tratamiento de la contaminación orgánica de los efluentes industriales de Cotexsur, Lurin [Tesis de maestría, Universidad de Huánuco]. <http://distancia.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1499/ALVARADO%20PEREZ%2C%20KARINA%20MILAGROS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alvarado Pérez, K. (2017). Influencia del uso de *Lemna minor* en el tratamiento de la contaminación orgánica de los efluentes industriales de Cotexsur, Lurin, 2017 [Tesis de maestría, Universidad de Huánuco]. <http://200.37.135.58/bitstream/handle/123456789/1499/ALVARADO%20PEREZ%2c%20KARINA%20MILAGROS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arenas, A., Lué, M. y Torres, G. (2011). Evaluación de la planta *Lemna minor* como biorremediadora de contaminantes de mercurio. <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323627683001.pdf>
- Arroyave, M. (2004). La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): Una planta acuática promisoriosa. *Revista EIA*, 1, 33 - 38.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372004000100004

CABI. 2015. *Eichhornia crassipes*. Invasive Species Compendium. Wallingford, UK:

CAB International. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/108967>

Carranza, R. (Agosto 2015). Ubicación geográfica y relieve. Conociendo Jaén.

Recuperado de: <https://conociendojaen.pe/detallesjaen.php?id=2>

Carrión, C. (2012). Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)

en Xochimilco para fitorremediación de metales. Scielo.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000600007)

[31952012000600007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000600007)

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. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

[file:///C:/Users/user/Downloads/INFORME%20CLV%20WILSON/TESIS%20](file:///C:/Users/user/Downloads/INFORME%20CLV%20WILSON/TESIS%20C%3%89SAR%20VALDIVIA.pdf)

[C%3%89SAR%20VALDIVIA.pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/INFORME%20CLV%20WILSON/TESIS%20C%3%89SAR%20VALDIVIA.pdf)

Coronel, E. (2016). Eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de

agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad

Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas- Chachapoyas 2015.

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

[http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIA%](http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIA%20DEL%20JACINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[20DEL%20JACINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIA%20DEL%20JACINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Cruz, M., Carbo, N., Javier L., Gonzales, L., Tito, G., Depaz, K., Torres, S., Núñez,

R., Torres, J., Quispe, W (2016). Tratamiento De Las Aguas De La Laguna

“Mansión” Mediante La Especie *Eichhornia crassipes*, Para El Riego De Áreas

Verdes En La Universidad Peruana Unión. IOSR Journal of Agriculture and

Veterinary Science (IOSR-JAVS) e-ISSN: 2319-2380, p-ISSN: 2319-2372, 9(2).

https://www.researchgate.net/publication/308080922_Tratamiento_De_Las_Aguas_De_La_Laguna_Mansion_Mediante_La_Especie_Eichhorniacrassipes_Para_El_Riego_De_Areas_Verdes_En_La_Universidad_Peruana_Union

Delgadillo, A. Gonzales, C. Prieto, F. Villagómez, J. y Acevedo, O. (2011).

Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. Tropical and Subtropical Agroecosystems.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>

Delgadillo, O., Camacho, A. y Pérez, L. (2010). “Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales”. Universidad mayor de San Simón.

[https://blogdelagua.com/wp-](https://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/02/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf)

[content/uploads/2013/02/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf](https://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/02/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf).

DOMUS. (2016). Calidad de agua.

[\[%20hidrocarburos/EIA/EIA%20CEPSA%20LOTE%20114/SubCap%201.7%20Calidad%20de%20Agua.pdf\]\(http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/estudios/EIAS%20-%20hidrocarburos/EIA/EIA%20CEPSA%20LOTE%20114/SubCap%201.7%20Calidad%20de%20Agua.pdf\)](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/estudios/EIAS%20-</p></div><div data-bbox=)

España, J. (2006). Estanques de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para tratamiento de residuos industriales. Universidad del Valle. Santiago del Valle.

<http://www.monografias.com/trabajos37/estanques-de-jacinto/estanques-dejacinto2.shtml>

Gavilánez Luna, F. (2016). Influencia de *Eichhornia crassipes* y microorganismos eficientes sobre contaminantes químicos y orgánicos de las aguas residuales de

- Naranjito, Ecuador [Universidad Agraria del Ecuador].
http://www.uagraria.edu.ec/publicaciones/revistas_cientificas/12/039-2016.pdf
- Guerrero, J. Jibaja, F. (2019). Tratamiento del afluyente de la laguna de oxidación mediante fitorremediación del *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*; en Jaén - Cajamarca. Universidad Nacional de Jaén, Jaén.
http://m.repositorio.unj.edu.pe/bitstream/handle/UNJ/249/Guerrero_BJ_Jibaja_BFK.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Guevara, M. y Ramírez, L. (2015). *Eichhornia crassipes*, su invasividad y potencial fitorremediador. Revista de ciencias de la vida. a 22(2) 2015: 5-11.
<file:///C:/Users/user/Downloads/INFORME%20CLV%20WILSON/Dialnet-EichhorniaCrassipesSuInvasividadYPotencialFitorrem-5969837.pdf>
- Instituto nacional de defensa civil – INDECI. (2005). Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Jaén.
http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_cajamarca/jaen/jaen.pdf
- León, M. (2015). Plantas acuáticas en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas. <http://www.utn.edu.ec/ficayaemprende/?p=796&print=print>
- Londoño, L.A. y Marín, C. 2009. “A Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética”. Tesis para Optar el Título de Tecnólogo Químico. Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología. Pág. 215.
- Martelo, J y Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. Ingeniería y Ciencia, ing. cienc.
[file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/946-Article%20Text-2915-1-10-20120615%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/946-Article%20Text-2915-1-10-20120615%20(5).pdf)

- Mendoza Guerra, Y. (2016). Tratamiento de aguas residuales domésticas usando la planta acuática *Eichhornia crassipes*. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., 31(1), 63 – 75.
https://www.researchgate.net/publication/321603715_Tratamiento_de_aguas_residuales_domesticas_usando_la_planta_acuatica_Eichhornia_crassipes
- Mengel, K. y Kirkby, E. (2000). “Principios de nutrición vegetal”. Instituto nacional de la Potasa Basilea, Suiza.
<file:///C:/Users/user/Downloads/INFORME%20CLV%20WILSON/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf>
- Núñez, R, Yunny, R. Meas V. y Olgúin, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones.
https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf
- Organismo de evaluación y fiscalización ambiental. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Recuperado de: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Pereyra, M. (2001). “Asimilación del nitrógeno en la planta”. Universidad de la Pampa.
<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Asimilacion%20del%20nitrogeno.pdf>
- Plantas macrófitas. (2017). Flores y plantas. Net. <https://www.floresyplantas.net/plantas-macrofitas/>
- Quispe, L. (2017). Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adaptación al medio en una laguna experimental. Revista de investigación científica, Tecnología y

desarrollo, 3(1), 79-93. file:///C:/Users/user/Downloads/650-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1496-1-10-20180806.pdf

Rodríguez, I., Rodas, J., & Poch, M. (2008). Capítulo III Contaminación del agua: Origen, Control y Monitoreo. http://www.creaf.uab.es/propies/pilar/LibroRiesgos/12_Cap%C3%ADtulo11.pdf

Saavedra Chumacero, L. (2017). Influencia de las plantas acuáticas de *Phragmites australis* (carrizo común) y la *Lemna minor* (lenteja de agua) en la disminución de dureza total y cantidad de cloruros presentes en las aguas de pozos de Huanchaquito – Trujillo [tesis de maestría, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12518/Saavedra%20Chumacero%20Lourdes%20Eulalia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sandoval, J. (2019). Eficiencia del Jacinto de agua *Eichhornia crassipes* y lenteja de agua *Lemna minor* L. en la remoción de cadmio en aguas residuales [Tesis de pregrado]. file:///C:/Users/CLIENTE/Desktop/Maestr%C3%ADa%20GESTI%20ON%20AMBIENTAL/SANDOVAL.pdf

Sarango, O. y Sánchez, J. (2016). “Diseño y construcción de 2 biofiltros con *Eichhornia Crassipes* y *Lemna Minor* para la evaluación de la degradación de contaminantes en aguas residuales de la extractora Río Manso EXA S.A. “Planta la comuna”, Quinindé”. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4930>

SENAMHI (Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú). (en línea). Disponible en: [www. Senamhi.gob.pe](http://www.Senamhi.gob.pe).

Solms. (1883). Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México - *Eichhornia crassipes* (Mart.).

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/222545/Eichhornia_crassipes.pdf

Vargas, C., Oviedo, A., Montañez, M., Polania, A. (2018.). Estado del arte; del uso de la Eichhornia crassipes en la fitorremediación de aguas residuales industriales. Revista Ingenio MAGNO ISSN. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7021685>

Vásquez Segura, E. (2018). Depuración biológica y su efecto en la descontaminación de las aguas residuales descargadas en las piscinas de oxidación del Canton Pedro Carbo, año 2017 [Tesis de maestría, Universidad Técnica estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/5022/1/T-UTEQ-005.pdf>

Verdejo, E., Palmerín, J. A., Aibar, J., Cirujeda, A., Taberner, A. & Zaragoza, C. (2006). El lirio de Agua Eichhornia crassipes. Plantas Invasoras. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_FSV%2FFSV_2006_1_1_8.pdf

WWAP-UNESCO. (2017). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado. París, Francia: UNESCO Publishing.

Yadav, S., Jadhav, A., Chonde, S., & Raut, P. (2011). Performance Evaluation of Surface Flow Constructed Wetland System by Using Eichhornia crassipes for Wastewater Treatment in an Institutional Complex. Universal Journal of Environmental Research and Technology, 435-441

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Registro de informes de ensayo de laboratorio.

Anexo 2. Panel fotográfico.

Anexo 1: Registro de informes de ensayo de laboratorio



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0221097

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **OMERY ISABEL CAMPOS TORRES**
Dirección **VILLANUEVA PINILLOS N° 1400**
Persona de contacto - Correo electrónico omecampos@outlook.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **18.02.2021** Hora de Muestreo **10:00 - 10:50**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
Procedimiento de Muestreo -
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **01**
Ensayos solicitados **Físico químicos**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
Referencia de la Muestra: **PTAR-JAÉN**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-118** Cadena de Custodia **CC - 097 - 21**
Fecha y Hora de Recepción **19.02.2021 07:40** Inicio de Ensayo **19.02.2021 07:55**
Reporte Resultado **02.03.2021 14:30**

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 02 de Marzo del 2021

INFORME DE ENSAYO N° IE 0221097

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código de la Muestra	Tratamiento "0" - T.O.		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0221097-01		-	-	-	-	-	-
Matriz	RESIDUAL		-	-	-	-	-	-
Descripción	Industrial		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	PTAR JAÉN		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.0380	0.072	-	-	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.0650	22.02	-	-	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0500	0.056	-	-	-	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.0350	<LCM	-	-	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0640	0.601	-	-	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.0700	39.07	-	-	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.0320	3.198	-	-	-	-	-

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDAD O) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (**) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe conciernen única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-R01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 02 de Marzo del 2021

INFORME DE ENSAYO N° IE 0321161

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **OMERY ISABEL CAMPOS TORRES**
 Dirección **VILLANUEVA PINILLOS N° 1400**
 Persona de contacto **OMERY ISABEL CAMPOS TORRES** Correo electrónico omecampos@outlook.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **22.03.21** Hora de Muestreo **17:30 a 17:48**
 Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° **-**
 Procedimiento de Muestreo **-**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de puntos de muestreo **10**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
 Referencia de la Muestra: **Provincia de Jaén**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-118** Cadena de Custodia **CC - 161 - 21**
 Fecha y Hora de Recepción **23.03.21 08:45** Inicio de Ensayo **25.03.21 08:00**
 Reporte Resultado **05.04.21 08:45**

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

FIRMA DIGITAL Firmado digitalmente por NEYRA
 JAIICO Edder Miguel CAJ
 20452744108.ssh
 Número de serie del documento
 Fecha: 05/04/2021 16:19:33 -0500

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 05 de abril de 2021

INFORME DE ENSAYO N° IE 0321161

ENSAYOS			Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			T2= <i>Eichornia crassipes</i> repetición N° 02	Ta= Grupo testigo	T2= <i>Eichornia crassipes</i> repetición N° 01	T1= <i>Lemna Minor</i> Repetición N°02	T1= <i>Lemna Minor</i> Repetición N°01	T3= <i>Lemna Minor</i> y <i>Eichornia crassipes</i> Repetición N°01
Código Laboratorio			0321161-01	0321161-02	0321161-03	0321161-04	0321161-05	0321161-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal
Localización de la Muestra			PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Aniones					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.0380	0.109	0.242	0.119	0.125	0.110	0.113
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.0650	28.07	25.22	21.87	32.61	27.77	34.27
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0500	0.102	0.706	0.091	<LCM	0.125	0.252
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.0350	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0640	42.89	22.82	11.54	14.40	21.70	33.17
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.0700	61.42	49.97	61.79	58.48	51.40	58.26
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.0320	3.917	4.205	1.112	5.619	5.877	5.669

ENSAYOS			Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			T3= <i>Lemna Minor</i> y <i>Eichornia crassipes</i> Repetición N°02	T3= <i>Lemna Minor</i> y <i>Eichornia crassipes</i> Repetición N°03	T1= <i>Lemna Minor</i> Repetición N°03	T2= <i>Eichornia crassipes</i> repetición N° 03	-	-
Código Laboratorio			0321161-07	0321161-08	0321161-09	0321161-10	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Aniones					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.0380	0.112	0.120	0.131	0.135	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.0650	14.10	24.40	54.39	6.225	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0500	<LCM	1.295	0.222	<LCM	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.0350	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0640	0.685	14.00	1.219	0.378	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.0700	45.02	56.32	56.38	64.55	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.0320	<LCM	2.517	0.626	<LCM	-	-

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación de Método, va br <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

INFORME DE ENSAYO N° IE 0321161

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO2, N-NO3, P-PO4, N-NO2+N-NO3)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
 (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
 ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
 ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
 ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en el Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
 ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
 ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 05 de abril de 2021



**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

INFORME DE ENSAYO N° IE 0521295

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **OMERY ISABEL CAMPOS TORRES**
 Dirección **VILLANUEVA PINILLOS N° 1400**
 Persona de contacto **OMERY ISABEL CAMPOS TORRES** Correo electrónico omecampos@outlook.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **21.04.21** Hora de Muestreo **17:30 a 18:30**
 Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° **-**
 Procedimiento de Muestreo **-**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de puntos de muestreo **09**
 Ensayos solicitados **Físico químicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
 Referencia de la Muestra: **Provincia de Jaén**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-118** Cadena de Custodia **CC-295-2021**
 Fecha y Hora de Recepción **22.04.21 08:10** Inicio de Ensayo **08:40**
 Reporte Resultado **30.04.21 14:10**



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 30 de abril de 2021

INFORME DE ENSAYO N° IE 0521295

ENSAYOS			Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			T1: Lemna Minor Repetición N°1	T1: Lemna Minor Repetición N°2	T1: Lemna Minor Repetición N°3	T2: Eichhornia Crassipes N°1	T2: Eichhornia Crassipes N°2	T2: Eichhornia Crassipes N°3
Código Laboratorio			0521295-01	0521295-02	0521295-03	0521295-04	0521295-05	0521295-08
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal
Localización de la Muestra			PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Aniones					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.0380	0.105	0.108	0.110	0.187	0.166	0.278
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.0650	32.11	32.44	31.27	4.47	32.13	7.62
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0500	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.0350	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0640	2.278	2.478	1.967	0.262	6.042	<LCM
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.0700	61.56	62.18	60.31	100.38	94.85	153.8
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.0320	5.876	6.688	6.440	<LCM	<LCM	<LCM

ENSAYOS			Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			T3: Lemna Minor y Eichhornia Crassipes N°1	T3: Lemna Minor y Eichhornia Crassipes N°2	T3: Lemna Minor y Eichhornia Crassipes N°3	-	-	-
Código Laboratorio			0521295-06	0521295-07	0521295-09	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Aniones					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.0380	0.163	0.171	0.266	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.0650	20.05	37.23	29.36	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0500	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.0350	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0640	0.380	3.653	0.201	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.0700	81.07	90.87	114.4	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.0320	<LCM	1.894	<LCM	-	-	-

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación de Método, va br <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 30 de abril de 2021

INFORME DE ENSAYO N° IE 0521295

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromato, Sulfato, Nitrito, Fosfato, NO_2 , NO_3 , P-PO_4 , NO_2+NO_3)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (**) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo, luego serán eliminadas salvo pedido del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL - DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 30 de abril de 2021



**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

INFORME DE ENSAYO N° IE 0521383

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **OMERY ISABEL CAMPOS TORRES**
 Dirección **VILLANUEVA PINILLOS N° 1400**
 Persona de contacto **OMERY ISABEL CAMPOS TORRES** Correo electrónico omecampos@outlook.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **21.05.21** Hora de Muestreo **17:30 a 18:30**
 Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° **-**
 Procedimiento de Muestreo **-**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de puntos de muestreo **09**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**
 Referencia de la Muestra: **Provincia de Jaén**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-118** Cadena de Custodia **CC-383-2021**
 Fecha y Hora de Recepción **22.05.21 08:00** Inicio de Ensayo **08:30**
 Reporte Resultado **27.05.21 12:30**

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 27 de mayo de 2021

INFORME DE ENSAYO N° IE 0521383

ENSAYOS			Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			T1 Rep N° 01	T1 Rep N° 02	T1 Rep N° 03	T2 Rep N° 01	T2 Rep N° 02	T2 Rep N° 03
Código Laboratorio			0521383-02	0521383-03	0521383-04	0521383-05	0521383-06	0521383-07
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal
Localización de la Muestra			PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Aniones					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.0380	0.301	0.162	0.148	0.325	0.318	0.291
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.0650	15.97	48.39	46.10	1.25	45.49	43.89
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0500	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.0350	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.0640	0.08	0.17	<LCM	0.19	<LCM	0.233
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.0700	162.25	91.67	86.97	190.20	178.02	171.33
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.0320	<LCM	6.543	6.373	<LCM	<LCM	<LCM

ENSAYOS			Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			T3 Rep N° 01	T3 Rep N° 02	T3 Rep N° 03	-	-	-
Código Laboratorio			0521383-07	0521383-08	0521383-09	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	PTAR- Jaén	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Aniones					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.0380	0.335	0.324	0.294	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.0650	26.97	48.22	25.305	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0500	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.0350	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Nitrato (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.0640	<LCM	0.171	<LCM	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.0700	146.31	173.06	137.01	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.0320	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 27 de mayo de 2021

INFORME DE ENSAYO N° IE 0521383

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017, Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (**) Los Resultados son referendiales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo, luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL - DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev.N°02 Fecha: 03/07/2020

Cajamarca, 27 de mayo de 2021



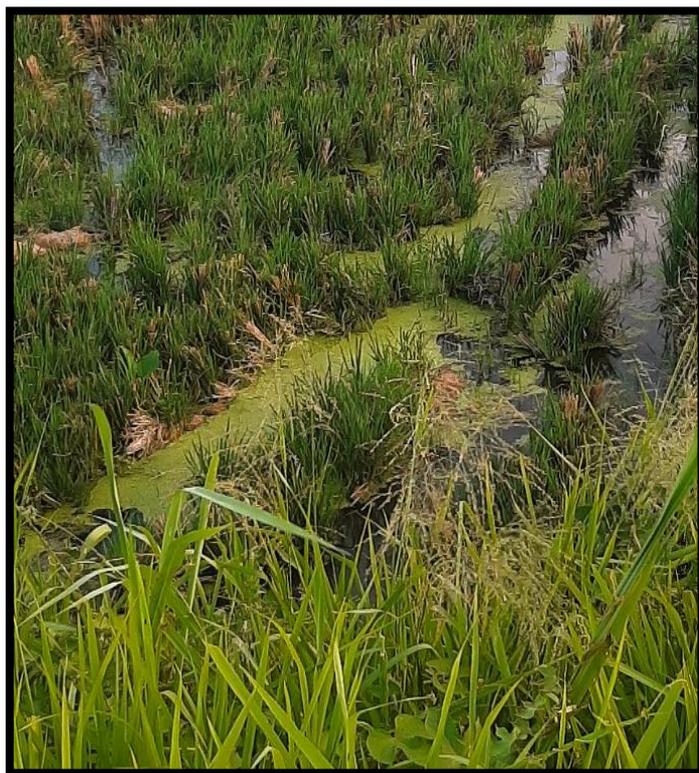
**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Anexo 3. Panel fotográfico.

Fotografía N 1: Reconocimiento de área de estudio



Fotografía N 2: Identificación de las planta *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*



Fotografía N 3: Acondicionamiento del área e instalación de los estanques



Fotografía N 4: Recolección y preparación de las especies vegetales.



Fotografía N 5: Recolección y envío de muestra de agua residual



Fotografía N 6: Lavado e introducción del material vegetativo a los estantes.



Fotografía N 7: Recojo y envío de muestras, después de aplicar los tratamientos

