

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental



TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

**EFICIENCIA DE *Lemna sp* Y *Eichhornia crassipes*, EN LA
REMOCIÓN DE NUTRIENTES DEL EFLUENTE DE LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CELENDÍN**

PRESENTADO POR

BACHILLER:

EISNER WILL CASTILLO ROJAS

ASESORES:

ING. AMB.: GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA

ING. QUIM.: JORGE SILVESTRE LEZAMA BUENO

ING. M. Sc.: ADOLFO MÁXIMO LÓPEZ AYLAS

CAJAMARCA – PERÚ

- 2017 -

DEDICATORIA

A mis padres con todo el amor del mundo, Jorge Antonio Castillo Coronel y Lidia Rojas Gálvez; por haber sido mi apoyo en todo momento, por sus consejos, por su ejemplo de trabajo, perseverancia y constancia, por sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por ser las personas que me enseñaron a ser quien soy y por su amor incondicional.

A mi hermano José Jorge Castillo Rojas; por ser el motor y la fuerza unida a mí, por su apoyo incondicional en este trabajo de investigación ya que sin su apoyo no se hubiese realizado este trabajo de investigación y para juntos lograr grandes cosas en bien de nuestra familia.

A mis abuelos, tíos, primos y demás familiares que confían en mí y me dan sus muestras de amor, respeto, unión y fuerza cada día.

A Azucena Chávez Collantes, por su apoyo incondicional, por su motivación, ejemplo y perseverancia para el logro de grandes cosas en la vida, por su capacidad de superación.

A mis familiares, amigos, compañeros de la universidad y a quienes se sumaron a mi vida para hacerme compañía con sus sonrisas de ánimo, con sus consuelos y sus grandes enseñanzas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme y guiarme durante este camino, por darme la sabiduría para cada día ser mejor.

A mi familia por su apoyo incondicional.

A mis asesores Ing. Amb. Giovana Ernestina Chávez Horna, Ing. Quim. Jorge Silvestre Lezama Bueno e Ing. Adolfo Máximo López Aylas; por su esfuerzo y dedicación, por su paciencia y enseñanza durante mis estudios universitarios y en todo el período de ejecución del trabajo de tesis.

A la familia Collantes Zegarra; por abrirme las puertas de su casa, darme cariño amabilidad, compañía y apoyo incondicional.

A Programas Regionales PROREGION; por permitirme y autorizarme el uso de las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de Celendín para el desarrollo de la tesis.

A la Municipalidad Provincial de Celendín; al Abg. Jorge Luis Urquía Sánchez, Regidores y la Gerencia de Desarrollo Económico y Medio Ambiente por el apoyo durante la ejecución de esta tesis.

Al Programa Nacional de Becas y Créditos Educativos PRONABEC; por ser el soporte económico durante mi vida universitaria.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por ser mi alma mater profesional y a todos los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, por sus enseñanzas y su apoyo incondicional.

ÍNDICE GENERAL	PÁG.
DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Objetivos de la investigación.....	13
1.1.1 Objetivo general.....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
II. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 Antecedentes de la investigación.....	14
2.2 Bases teóricas.....	15
2.2.1 Aguas residuales.....	15
2.2.2 Características fisicoquímicas del agua residual doméstica.....	16
2.2.3 Tratamiento de aguas residuales domésticas.....	20
2.2.4 Tratamiento de aguas residuales con reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA).....	21
2.2.5 Lagunas facultativas.....	21
2.2.6 Nutrientes.....	22
2.2.7 Remoción de nutrientes.....	22
2.2.8 Fitorremediación.....	23
2.2.9 Tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas.....	24
2.2.10 Propiedades de las plantas acuáticas en sistemas de tratamiento.....	25
2.2.11 <i>Lemna minor</i> (lenteja de agua) en el tratamiento de aguas residuales domésticas.....	26
2.2.12 <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua común) en el tratamiento de aguas residuales domésticas.....	26
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1 Materiales.....	28
3.1.1 Material experimental.....	28
3.1.2 Materiales de campo.....	28
3.1.3 Materiales y equipo de laboratorio.....	28
3.1.4 Otros materiales.....	28
3.2 Metodología.....	29
3.2.1 Ubicación geográfica.....	29
3.2.2 Tipo de investigación.....	33
3.2.3 Diseño experimental.....	34

3.2.4	Descripción del sistema de tratamiento	34
3.2.5	Metodología aplicada	36
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	45
4.1	Caudal (Q).....	45
4.2	Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	45
4.3	pH.....	46
4.4	Temperatura (T°).....	48
4.5	Oxígeno disuelto (OD).....	50
4.6	Nitrógeno total (N).....	52
4.7	Nitratos (NO ₃ ⁻)	55
4.8	Fósforo total (P)	58
4.9	Fosfatos (PO ₄ ³⁻).....	61
V.	CONCLUSIONES	64
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
VII.	ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁG.
Tabla 1. Valores típicos de los principales contaminantes de las aguas residuales.....	16
Tabla 2. Procesos de fitorremediación.	24
Tabla 3. Funciones de las plantas en sistemas de tratamiento acuático.....	26
Tabla 4. Composición del jacinto de aguas residuales.	27
Tabla 5. Tabla de programación del timer digital.	38
Tabla 6. Monitoreo de parámetros de campo.	40
Tabla 7. Monitoreo de parámetros de laboratorio.	40
Tabla 8. Frecuencia de monitoreo de parámetro de campo y laboratorio.	41
Tabla 9. Requisitos para la toma de muestra de agua y preservación.	42
Tabla 10. Técnica de recolección de datos de laboratorio.....	43
Tabla 11. Caudales de entrada para cada sistema de tratamiento.....	45
Tabla 12. Tiempo de retención hidráulica (TRH) de cada sistema de tratamiento.	45
Tabla 13. Monitoreo del pH mes de marzo.	46
Tabla 14. Monitoreo del pH mes de abril.....	46
Tabla 15. Monitoreo del pH mes de mayo.	46
Tabla 16. Monitoreo del pH mes de junio.	46
Tabla 17. Monitoreo del pH mes de julio.....	46
Tabla 18. Monitoreo del pH mes de agosto.....	46
Tabla 19. Valores de pH promedio.....	47
Tabla 20. Monitoreo de temperatura mes de marzo.	48
Tabla 21. Monitoreo de temperatura mes de abril.....	48
Tabla 22. Monitoreo de temperatura mes de mayo.	48
Tabla 23. Monitoreo de temperatura mes de junio.....	48

Tabla 24. Monitoreo de temperatura mes de julio.....	48
Tabla 25. Monitoreo de temperatura mes de agosto.....	48
Tabla 26. Valores de temperatura promedio.	49
Tabla 27. Valores promedio de nitrógeno total (N).....	53
Tabla 28. Valores de remoción de nitrógeno total (N)	53
Tabla 29. Valores promedio de nitratos (NO_3^-).....	57
Tabla 30. Valores de remoción de nitratos (NO_3^-).	57
Tabla 31. Valores promedio de fósforo total (P).	59
Tabla 32. Valores de remoción de fósforo total (P).	60
Tabla 33. Valores promedio de fosfatos (PO_4^{3-}).	62
Tabla 34. Valores de remoción de fosfatos (PO_4^{3-}).....	62

ÍNDICE DE FIGURAS	PÁG.
Figura 1. Proceso de tratamiento de aguas residuales.	20
Figura 2. Plantas acuáticas.	25
Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio.	30
Figura 4. Mapa de ubicación satelital del área de estudio.....	31
Figura 5. Mapa de vías de acceso al área de estudio.....	32
Figura 6. Diseño del sistema de reactores en serie.....	36
Figura 7. Ubicación del sistema de reactores en la PTAR – Celendín.....	37
Figura 8. Solicitud de permiso para ejecución de tesis de investigación.	37
Figura 9. Autorización para ejecución de tesis.....	37
Figura 10. Puntos de monitoreo.	39
Figura 11. Valores promedio de pH por mes.	46
Figura 12. Valores promedio de pH por punto de monitoreo.....	47
Figura 13. Valores promedio de temperatura por mes.	48
Figura 14. Valores promedio de temperatura por punto de monitoreo.	49
Figura 15. Concentración de oxígeno disuelto (OD) durante el período de monitoreo.	50
Figura 16. Gráfica de valores promedio de oxígeno disuelto (OD).	51
Figura 17. Valores de nitrógeno total (N) durante el período de monitoreo.	52
Figura 18. Valores promedio y eficiencias de remoción de nitrógeno total (N) por punto de monitoreo.....	54
Figura 19. Valores de nitratos (NO_3^-) durante el período de monitoreo.	55
Figura 20. Valores promedio y eficiencias de remoción de nitratos (NO_3^-) por punto de monitoreo.....	57
Figura 21. Valores de fósforo total (P) durante el período de monitoreo.....	58
Figura 22. Valores promedio y eficiencias de remoción de fósforo total (P) por punto de monitoreo.....	60
Figura 23. Valores de fosfatos (PO_4^{3-}) durante el período de monitoreo.....	61
Figura 24. Valores promedio y eficiencias de remoción de fosfatos (PO_4^{3-}) por punto de monitoreo.....	63
Figura 25. Implementación de Lemna sp y Eichhornia crassipes en cada sistema de tratamiento.....	104

Figura 26. Puesta en marcha del sistema de reactores en serie con Lemna sp y Eichhornia crassipes, fecha: 03/03/2017.....	104
Figura 27. Evolución de Lemna sp y Eichhornia crassipes, fecha: 31/05/2017.....	105
Figura 28. Rotulado de muestras para envío a laboratorio.....	105
Figura 29. Recolección de muestras.....	105
Figura 30. Comparación colorimétrica de muestras para análisis de pH.	106
Figura 31. Vista panorámica del sistema de reactores en serie.	106
Figura 32. Muestras para envío a laboratorio.....	106
Figura 33. Monitoreo de temperatura (T°).	107
Figura 34. Monitoreo de caudal (Q).....	107
Figura 35. Monitoreo de pH.	107

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue ejecutado en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín con las siguientes coordenadas UTM: Norte: 9242247 m; Este: 815314 m; Altitud: 2605 m.s.n.m., ubicado en el Distrito de Celendín, Provincia de Celendín, Departamento de Cajamarca, con el objetivo de determinar la eficiencia de *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín, la hipótesis planteada se basó en estudios previos, aduciendo que la eficiencia de *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de nutrientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín oscila entre el 50% y 86%, la evaluación se realizó por un período de 6 meses, los parámetros analizados fueron: nitrógeno total (N), nitratos (NO_3^-), fósforo total (P), fosfatos (PO_4^{3-}) y oxígeno disuelto, evaluados con una frecuencia de una vez por mes en el afluente y efluente de cada uno de los sistemas de reactores en serie para el tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*; y los parámetros de campo (temperatura, pH, caudal y tiempo de retención hidráulica), se realizaron en cada punto de monitoreo establecido (PM1 tanque de distribución, PM2 tratamiento con *Lemna sp*, PM3 tratamiento con *Eichhornia crassipes*) una vez por semana y a diferentes horas del día. Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio Regional del Agua acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación (INACAL-DA) con registro N° LE-084.

Luego de los 6 meses de monitoreo, se evidenció que la eficiencia en la remoción de nutrientes al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* (PM2) en el sistema de reactores en serie de flujo continuo para el parámetro de nitrógeno total (N) es de 52%, para el parámetro de nitratos (NO_3^-) es de 37%, para el parámetro de fósforo total (P) es de 31% y para el parámetro de fosfatos (PO_4^{3-}) es de 34%; asimismo, al aplicar un estímulo o tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) en un sistema de reactores en serie con flujo continuo para el parámetro de nitrógeno total (N) es de 61%, para el parámetro de nitratos (NO_3^-) es de 34%, para el parámetro de fósforo total (P) es de 73% y para el parámetro de fosfatos (PO_4^{3-}) es de 68%; la concentración del oxígeno disuelto en el tanque de distribución (PM1) se registró un valor promedio de 1.48 mgO_2/L , al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* (PM2) se registró un incremento a 2.51 mgO_2/L , además, al aplicar un estímulo o tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) se registró un incremento a 3.06 mgO_2/L ; el parámetro de temperatura en el tanque de distribución (PM1) se registró un valor promedio de 19.02 $^\circ\text{C}$, en el tratamiento con *Lemna sp* (PM2) se registró un valor promedio de 18.74 $^\circ\text{C}$ y en el tratamiento con *Eichhornia*

crassipes (PM3) se registró un valor promedio de 18.63 C°; el parámetro de pH en el tanque de distribución (PM1) se registró un valor promedio de 7.66, en el tratamiento con *Lemna sp* (PM2) se registró un valor promedio de 8.08 y en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) se registró un valor promedio de 7.25; el caudal utilizado para cada sistema de reactores en serie con flujo continuo es de 0.030 L/min lográndose cumplir con un tiempo de retención hidráulica de 5 días en cada sistema de tratamiento.

Por lo que se llegó a la conclusión final de que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* registra las tasas más altas en la remoción de nutrientes considerando sus características fisiológicas propias, por lo que se sugiere realizar estudios de carácter investigativo para afianzar sus eficiencias de esta micrófita, que por su alta tasa en la remoción de nutrientes contribuye a la mejora de la calidad del agua, considerándolo como una tecnología limpia en el tratamiento eficiente y sostenible de las aguas residuales domésticas.

Palabras clave: aguas residuales, eficiencia, remoción, nutrientes, *Lemna sp*, *Eichhornia crassipes*.

ABSTRACT

The present research work was carried out in the facilities of the wastewater treatment plant of the city of Celendín with the following UTM coordinates: North: 9242247 m; East: 815314 m; Altitude: 2605 meters above sea level, located in the District of Celendín, Province of Celendín, Department of Cajamarca, with the objective of determining the efficiency of *Lemna sp* and *Eichhornia crassipes*, in the removal of nutrients from the effluent of the wastewater treatment plant in Celendín, the proposed hypothesis was based on previous studies, arguing that the efficiency of *Lemna sp* and *Eichhornia crassipes* in the removal of nutrients from the Celendín wastewater treatment plant ranges between 50% and 86%, the evaluation was carried out by a period of 6 months, the parameters analyzed were: total nitrogen (N), nitrates (NO_3^-), total phosphorus (P), phosphates (PO_4^{3-}) and dissolved oxygen, evaluated with a frequency of once a month in the tributary and effluent from each of the reactor systems in series for the treatment with *Lemna sp* and *Eichhornia crassipes*; and the field parameters (temperature, pH, flow rate and hydraulic retention time) were carried out at each established monitoring point (PM1 distribution tank, PM2 treatment with *Lemna sp*, PM3 treatment with *Eichhornia crassipes*) once a week and at different times hours of the day. The chemical analyzes were carried out in the Regional Water Laboratory accredited by the Peruvian Accreditation Body (INACAL-DA) with registration No. LE-084.

After 6 months of monitoring, it was evidenced that the efficiency in the removal of nutrients when applying a stimulus or treatment with *Lemna sp* (PM2) in the continuous flow series reactors system for the parameter of total nitrogen (N) is of 52%, for the nitrate parameter (NO_3^-) is 37%, for the total phosphorus parameter (P) it is 31% and for the phosphate parameter (PO_4^{3-}) it is 34%; likewise, when applying a stimulus or treatment with *Eichhornia crassipes* (PM3) in a system of reactors in series with continuous flow for the parameter of total nitrogen (N) is 61%, for the parameter of nitrates (NO_3^-) it is 34%, for the total phosphorus parameter (P) is 73% and for the phosphate parameter (PO_4^{3-}) it is 68%; the concentration of dissolved oxygen in the distribution tank (PM1) registered an average value of 1.48 mgO_2 / L , when applying a stimulus or treatment with *Lemna sp* (PM2) an increase was registered at 2.51 mgO_2 / L , in addition, when applying a stimulus or treatment with *Eichhornia crassipes* (PM3) was recorded an increase to 3.06 mgO_2 / L ; the parameter of temperature in the distribution tank (PM1) was recorded an average value of 19.02 $^\circ\text{C}$, in the treatment with *Lemna sp* (PM2) an average value of 18.74 $^\circ\text{C}$ was recorded and in the treatment with *Eichhornia crassipes* (PM3) an average value of 18.63

C ° was recorded; the parameter of pH in the distribution tank (PM1) was recorded an average value of 7.66, in the treatment with *Lemna sp* (PM2) an average value of 8.08 was registered and in the treatment with *Eichhornia crassipes* (PM3) a value was recorded average of 7.25; The flow rate used for each reactor system in series with continuous flow is 0.030 L / min, achieving a hydraulic retention time of 5 days in each treatment system.

Therefore, the final conclusion was reached that the treatment with *Eichhornia crassipes* registers the highest rates in the removal of nutrients considering their own physiological characteristics, for which it is suggested to carry out research studies to strengthen their efficiencies of this microphyte, that by its high rate in the removal of nutrients contributes to the improvement of water quality, considering it as a clean technology in the efficient and sustainable treatment of domestic wastewater.

Key words: sewage wáter, efficiency, removal, nutrients, *Lemna sp*, *Eichhornia crassipes*.

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

En Celendín se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual tiene como objetivo la remoción de la materia orgánica biodegradable a través de procedimientos de tratamiento primario el cual consta de la implementación de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFAs) y la estabilización de carga bacteriológica con un tratamiento secundario a través de una laguna facultativa; por lo que su tratamiento no puede cumplir con la remoción total de nutrientes, lo cual conlleva a que estos nutrientes sean vertidos directamente sobre el cuerpo receptor natural (río Grande), que a su vez es afluente del río Las Llangas (MPC y SEMACEL 2015); las investigaciones realizadas sobre la eficiencia de macrófitas indican que mejoran considerablemente las características del agua residual antes de ser vertidas a un cuerpo receptor.

Las concentraciones excesivas de nutrientes acarrea graves problemas de eutrofización y un crecimiento anormal de algas y bacterias en los cuerpos de agua naturales (Pérez y Camacho 2011), además que las aguas del río Grande, son utilizadas para riego en las áreas circundantes y aguas abajo de la ubicación de la planta de tratamiento; convirtiéndose en un peligro para la salud pública, pues se tiene de conocimiento que la población de Pallac hace uso del agua para riego de verduras y hortalizas y estas son comercializadas en el mercado de la ciudad de Celendín, además del riego de pasturas y la utilización de esta agua como bebida de animales.

La remoción de nutrientes en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales es de gran importancia sanitaria, ya que su aumento en cuerpos de agua da lugar a una serie de cambios sistemáticos indeseables, entre ellos la producción perjudicial de algas y otras plantas acuáticas, el deterioro de la calidad del agua, la aparición de malos olores, sabores desagradables, la muerte de la fauna acuática en los cuerpos de agua y asociados a ello los riesgos epidemiológicos por la utilización agraria de efluentes de mala calidad (García 2012).

Esta investigación surgió con la finalidad de determinar la eficiencia de *Lemna sp* (Lenteja de agua) y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua común), en la remoción de nutrientes del efluente de la laguna facultativa de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín, en un sistema de reactores en serie a escala de laboratorio utilizando el efluente de la laguna facultativa bajo condiciones de flujo continuo, determinándose la eficiencia en la remoción de nutrientes de estas macrófitas.

1.1 Objetivos de la investigación

1.1.1 Objetivo general

- Determinar de la eficiencia de *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*, en la remoción de nutrientes, utilizando el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar de la concentración de nutrientes: nitrógeno total (N), nitratos (NO_3^-), fósforo total (P) y fosfatos (PO_4^{3-}), provenientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín.
- Evaluar las concentraciones de nitrógeno total (N), nitratos (NO_3^-), fósforo total (P) y fosfatos (PO_4^{3-}), provenientes del efluente de los sistemas de tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* respectivamente.
- Estimar los parámetros fisicoquímicos de oxígeno disuelto, temperatura, pH, caudal, tiempo de retención hidráulica.

CAPÍTULO II

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Sobre el tratamiento de aguas residuales con la utilización de macrófitas a escala piloto a través de reactores, humedales artificiales, estanques, acuarios; hay múltiples informes, documentos, revistas, investigaciones de las bondades de diferentes plantas acuáticas en la remoción de nutrientes, materia orgánica, ortofosfatos, amonio, nitrógeno, DBO₅, DQO, contaminantes tóxicos y otros parámetros donde se concluye con resultados satisfactorios de eficiencia en la implementación de este sistema de tratamiento en las aguas residuales domésticas.

Alemania es pionero en el uso de tecnologías limpias para el tratamiento de sus aguas residuales, el uso de islas flotantes (macrófitas) mediante biopelículas sumergidas es una alternativa eficiente para la eliminación de nutrientes como fósforo y nitrógeno (absorción de las plantas y metabolismo microbiano), sólidos en suspensión mediante filtración y sedimentación, materia orgánica (DBO, DQO) y compuestos orgánicos volátiles como metil ter-butyl éter (MTBE) y benceno mediante biodegradación y absorción de las plantas y los metales pesados por precipitación como sales insolubles y por absorción de las plantas y microorganismos seguida de procesos de sedimentación (Valero 2006).

En el año 2012, Martelo, en un estudio titulado: "macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte", realizado en la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá-Colombia, que consistió en estanques con profundidad variable (0,4 a 1,5 m), empleo el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna spp.*), donde concluyó que *Eichhornia crassipes* alcanza reducciones de DBO₅ en el orden de 95%, y hasta 90,2% para la DQO, en el caso de los sólidos suspendidos se registran disminuciones con valores que se encuentran en el rango de 21% y 91%, en cuanto al fósforo total y nitrógeno total, se alcanzaron máximas remociones de 91,7% y 98,5% respectivamente, siendo este último, el contaminante con mayor remoción y los metales también han sido objeto de remoción, encontrándose porcentajes de máxima remoción desde 85% hasta 95% para el hierro, cobre, zinc, cadmio y cromo.

García en el año 2012, en un estudio realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos - CITRAR-UNI en Lima, Perú; Menciona que la remoción de la Demanda

Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) fue del 96.7% y la capacidad de remoción de nutrientes fluctuó de un 50% a un 100%, con un período de retención de 5 días utilizando *Lemna minor* y el tratamiento con *Eichhornia crassipes* mostró una remoción de nutrientes que osciló entre los 52% al 86% con un período de retención de 5 días; mientras que el parámetro microbiológico presentó una remoción de 26.7% en un período de retención de 2.5 días.

En el año 2014, Moret, en la tesis titulada "optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrofitas" para optar el título profesional de ingeniero civil, realizado en Piura-Perú, refiere diversos conceptos fundamentales acerca de los sistemas de tratamiento de agua, los problemas que existen en el Perú, las posibles soluciones y de entre ellas el uso de macrofitas que constituyen un filtro biodepurador de eneas (*Typha dominguensis*), sostenible, de bajo costo y eficiente.

En el año 2017, Saavedra, en la tesis titulada "aplicación de macrofitas en flotación como ayuda en el tratamiento de aguas residuales en la laguna UDEP" para optar el título profesional de ingeniero industrial y de sistemas, realizado en Piura-Perú, se buscó evaluar las mejoras que ofrece un sistema filtro de macrofitas en flotación (FMF) en una laguna de estabilización facultativa a partir de los resultados que se obtienen de un comparativo entre un sistema convencional y uno aplicando el sistema innovador de fitodepuración, en dicho estudio se concluyó que en relación al sector de laguna convencional, el sector con el sistema presentó mayor eficiencia de remoción en los parámetros analizados de STS (72.78% vs -10.18%), DBO_5 (65.18% vs 33.79%), DQO (57.18% vs 21.28%), coliformes fecales (95.52% vs 75.01 %), N total (30.56% vs 17.50%) y P total (6.18% vs 0.74%).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Aguas residuales

El MVCS (2006), a través de la norma OS.090 define a las aguas residuales como aquellas que han sido usadas por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico, disuelto o en suspensión. Para Romero (2004), las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante un sistema de alcantarillado; además define a las aguas residuales domesticas (ARD) como los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios institucionales o comerciales e institucionales; y del mismo modo el autor denomina aguas residuales municipales a los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal.

Tabla 1. Valores típicos de los principales contaminantes de las aguas residuales.

Parámetro	Rango habitual
Sólidos en suspensión (mg/L)	150 – 300
BDO ₅ (mg/L)	200 – 300
DQO (mg/L)	300 – 600
Nitrógeno (mg N/L)	50 – 75
Fósforo (mg P/L)	15 – 20
Grasas (mg/L)	50 – 100
Coliformes totales (UFC/100mL)	10 ⁶ - 10 ⁷

Fuente: CENTA (2008).

2.2.2 Características fisicoquímicas del agua residual doméstica

a. Oxígeno disuelto (OD)

En lagunas facultativas como consecuencia de la actividad fotosintética llevada a cabo por las microalgas, el contenido de oxígeno disuelto de las lagunas varía a lo largo del día; desde el amanecer se produce un paulatino incremento del contenido de oxígeno disuelto, hasta alcanzar valores máximos a primeras horas de la tarde, llegándose a situaciones de sobresaturación al producirse más oxígeno del necesario para los fenómenos respiratorios, alcanzándose concentraciones superiores a los 30 mg/l de oxígeno disuelto y registrándose pérdidas a la atmósfera; a partir de este momento, desciende el contenido en oxígeno disuelto, hasta alcanzar valores mínimos por la noche al cesar la actividad fotosintética y consumirse oxígeno en la etapa de respiración. El efecto de oxigenación vía fotosíntesis, disminuye al aumentar la profundidad de las lagunas al ir disminuyendo la penetración de la radiación solar, lo que da lugar a un gradiente vertical del contenido en oxígeno disuelto. En las lagunas facultativas, la capa superficial aerobia permite la oxidación de los productos de la descomposición anaerobia que tiene lugar en su fondo, actuando como barrera a la generación de malos olores (CENTA 2008).

Lago eutrófico es aquel de poca profundidad y poco contenido de oxígeno disuelto que baja de 9 mg/l a 4 mg/l lo cual afecta negativamente y de inmediato a los organismos, cuando el nivel baja a 2 mg/l todos los animales han muerto y hay una significativa elevación de la DBO (DIGESA 2002).

b. Temperatura (T°)

Es un parámetro importante en las aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y proceso de tratamiento, así como el método de disposición final; la temperatura afecta a la alteración de la vida acuática, modifica la concentración y saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana (Romero 2004).

Olivos (2010) afirma que la temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica. La velocidad de la depuración aumenta con la temperatura, en especial en lo que concierne a la actividad de las bacterias (CENTA 2008).

c. pH

Romero (2004) lo describe como la medida de la concentración de ión hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar del ión hidrógeno; las aguas residuales en concentración adversa del ión hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos. El pH de las lagunas facultativas viene determinado fundamentalmente por la actividad fotosintética del fitoplancton y la degradación de la materia orgánica por las bacterias; las algas consumen anhídrido carbónico en la fotosíntesis, lo que desplaza el equilibrio de los carbonatos y da lugar a un aumento del pH; por otra parte, la degradación de la materia orgánica conduce a la formación de CO₂ como producto final, lo que causa una disminución del pH; cuando las lagunas facultativas están operando correctamente el pH presenta valores ligeramente alcalinos, del orden de 7,5-8,5 (CENTA 2008).

d. Caudal o gasto (Q)

García (1999), conceptualiza al gasto o caudal como la cantidad de materia o masa que atraviesa un lugar en cierta unidad de tiempo, en el caso de los líquidos, los cuales se consideran prácticamente incompresibles, la cantidad de materia se puede indicar como el volumen, entonces, el gasto se define como el volumen que pasa por un punto en el espacio, en un determinado tiempo; generalmente, el caudal (Q) se expresa en litros por segundo (L s⁻¹) o metros cúbicos por segundo (m³s⁻¹). Para Londoño y Marín (2009) el caudal (Q) se define como el volumen de agua que pasa por una sección en un determinado tiempo (t) es decir: $Q = v/t$.

e. Tiempo de retención hidráulica (TRH)

Cabrera y Ortiz (2005) lo definen como el tiempo medio que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento, usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil. Para Romero et al. (2009) el tiempo de retención define el lapso en que los contaminantes permanecen en contacto con las plantas y los microorganismos para ser transformados biológica y químicamente; de acuerdo con la remoción de la DQO, fósforo y nitrógeno de las aguas residuales, el tiempo de retención hidráulica óptimo es de cinco días.

f. Nitrógeno total (N)

Londoño y Marín (2009) detallan que el nitrógeno puede hallarse presente en aguas residuales en cuatro estados de oxidación; nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico, todas estas formas de nitrógeno más el nitrógeno gaseoso son interconvertibles unas con otras con la intervención de bacterias existentes en el medio acuático; el nitrógeno total es la suma del nitrógeno amoniacal más el nitrógeno orgánico; el nitrógeno amoniacal se encuentra presente en las aguas residuales proveniente de la deaminación de compuestos orgánicos nitrogenados y de la hidrólisis de la urea, el nitrógeno orgánico incluye materiales como proteínas, péptidos, ácidos nucleicos y urea.

g. Nitratos (NO_3^-)

El nitrato y el nitrito son iones de origen natural que forman parte del ciclo del nitrógeno, las condiciones anaerobias pueden favorecer la formación y persistencia del nitrito; la cloraminación podría ocasionar la formación de nitrito en el sistema de distribución si no se controla debidamente la formación de cloramina; la formación de nitrito es consecuencia de la actividad microbiana y puede ser intermitente; la nitrificación en los sistemas de distribución puede aumentar la concentración de nitrito, que suele ser de 0,2 a 1,5 mg/l (OMS 2006).

Los nitritos (NO_2^-) son oxidados por el grupo de nitrobacterias para formar nitrato (NO_3^-); los nitratos formados pueden servir como fertilizantes para las plantas; los nitratos producidos en exceso para las necesidades de la vida vegetal, son transportados por el agua, luego estas se filtran a través del suelo, debido a que el suelo no tiene la capacidad de retenerlos pudiendo encontrarse en concentraciones superiores en aguas subterráneas; el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados incluyendo el amoníaco así como la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales puede contribuir a elevar la concentración de nitratos en el agua, estos son solubles y no adsorben

a los componentes del suelo, por lo que son movilizados con facilidad por las aguas superficiales y subterráneas (DIGESA 2002). La concentración de nitratos en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/l de N (nitrógeno), dependiendo del grado de nitrificación y desnitrificación del tratamiento (Cabrea y Ortiz 2005).

h. Fósforo total (P)

Romero (2009) describe al fósforo como un elemento esencial para el crecimiento de las plantas y animales; actualmente se considera como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de las algas, pero un exceso de fósforo produce un crecimiento exorbitado de plantas, el cual es causa de condiciones inadecuadas para ciertos usos benéficos del agua. Metcalf y Eddy (2004) también mencionan que es un nutriente de gran importancia para el crecimiento y reproducción de los microorganismos que participan en la estabilización de la materia orgánica presente en las aguas servidas, en el caso de aguas residuales domésticas, el contenido de fósforo preocupa no por insuficiencia sino por exceso, ya que efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales ricos en fósforo provocan proliferación excesiva de algas en el curso de agua receptor. La descarga de 1 g de fósforo, en un lago, puede permitir la formación de más de 100 g de biomasa (materia orgánica) además de problemas de eutrofización y crecimiento de fitoplancton (Londoño y Marín 2009).

Las aguas residuales municipales pueden contener entre 4 y 12 mg/l de fósforo expresado como compuestos fosforados (García 2012).

i. Fosfato (PO_4^{3-})

Los fosfatos son nutrientes para las plantas; los vertidos de fosfatos a las aguas naturales pueden causar eutrofización, la utilización de los fosfatos y nitratos, presentes en la materia orgánica, en los detergentes hechos a base de fosfatos, que son arrastrados o arrojados a los ríos y lagos son un problema muy grave para las aguas estancadas cerca de los centros urbanos o agrícolas; durante las épocas cálidas la sobrecarga de estos productos químicos, que sirven de nutrientes, generan el crecimiento acelerado de vegetales como algas, cianobacterias, lirios acuáticos y lenteja de agua, las cuales al morir y ser descompuestas por las bacterias aeróbicas provocan el agotamiento del oxígeno disuelto en la capa superficial de agua y causan la muerte de los diferentes tipos de organismos acuáticos que consumen oxígeno, en las aguas de los lagos y ríos (DIGESA 2002).

2.2.3 Tratamiento de aguas residuales domésticas

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano; el objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reúso (Pérez y Camacho 2011). Para el FONAM (2010) es una instalación donde el agua residual es sometida a un proceso mediante el cual por una combinación de diversos tratamientos físicos, químicos y/o biológicos se consigue eliminar la materia en suspensión, así como las sustancias coloidales y finalmente las sustancias disueltas que contiene; todo esto para alcanzar unos niveles acordes con la normativa vigente y proporcionar una correcta integración de esta agua residual con el entorno y obtener los mejores rendimientos posibles.

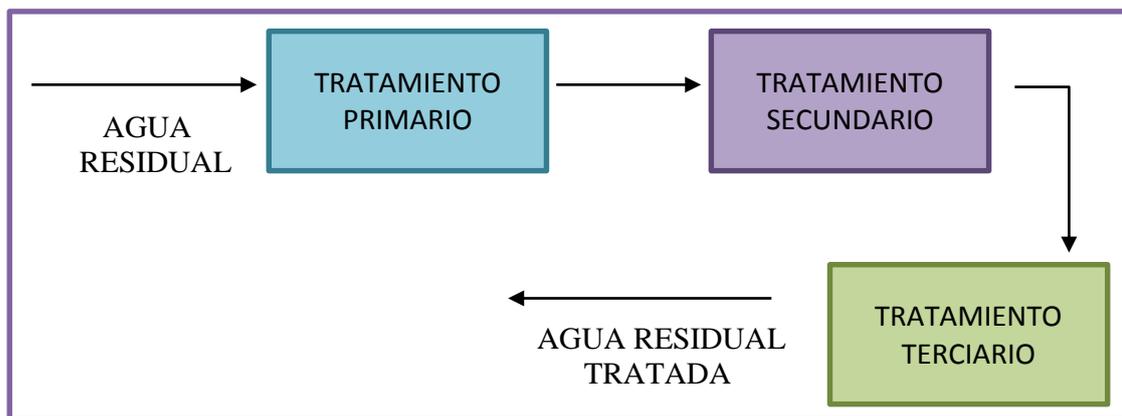


Figura 1. Proceso de tratamiento de aguas residuales.

Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

- ✓ Tratamiento primario: asentamiento de sólidos.
- ✓ Tratamiento secundario: tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente.
- ✓ Tratamiento terciario: pasos adicionales como lagunas, micro filtración o desinfección (Pérez y Camacho 2011).

2.2.4 Tratamiento de aguas residuales con reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA)

MVCS (2006) lo define como un proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula de forma ascendente a través de un manto de lodos o filtro, para la estabilización parcial de la materia orgánica; el desecho fluye del proceso por la parte superior y normalmente se obtiene gas como subproducto. Caicedo (2006) lo describe como un reactor de biopelícula fija sin medio de empaque o soporte, con una cámara de digestión que tiene flujo ascendente y a cierta altura se desarrolla un manto de lodos anaerobios que es altamente activa y en el cual se da la estabilización de la materia orgánica del afluente hasta CH_4 y CO_2 . La operación de los reactores RAFA se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo biológicamente activo en el reactor (Márquez y Martínez 2011).

2.2.5 Lagunas facultativas

El Centro de las nuevas tecnologías del agua de Sevilla (2008) precisa que son lagunas con profundidades de 1 a 2 m. en donde se establecen de forma natural tres estratos claramente diferenciados:

- ✓ En el fondo de estas lagunas, donde se acumulan los sedimentos, se establecen condiciones de anaerobiosis, en las que se dan los fenómenos y reacciones netamente anaeróbicas.
- ✓ En la zona intermedia, en la que se dan condiciones muy variables, se establece una zona en la que predominan las bacterias de tipo facultativo, de las que toman el nombre este tipo de lagunas.
- ✓ En la zona superficial de las lagunas, se instauran condiciones aerobias, gracias a la actividad fotosintética de las microalgas que en ella se desarrollan y, en menor medida, a fenómenos de reaireación superficial inducidos por el viento.

El espesor de estos estratos varía en función de:

- ✓ El momento del día: durante la noche, al cesar la actividad fotosintética, decrece el espesor de la capa aerobia, incrementándose el de la anaerobia.
- ✓ Las estaciones: en primavera-verano, al intensificarse la actividad de las microalgas, se amplía el espesor de la capa aerobia.

- ✓ El nivel de carga orgánica aplicada a la laguna: si se sobrecarga la laguna, la zona anaerobia puede extenderse a todo su volumen (CENTA 2008).

2.2.6 Nutrientes

MVCS (2006) lo define como cualquier sustancia que al ser asimilada por organismos, promueve su crecimiento; en aguas residuales se refiere normalmente al nitrógeno y fósforo, pero también pueden ser otros elementos esenciales. Los nutrientes son compuestos químicos necesarios para el ciclo de vida de ciertos microorganismos, para sus funciones de almacenamiento y reutilización, siendo perjudiciales en grandes cantidades en los cuerpos receptores (García 2012).

Las fuentes más importantes de nitratos en las aguas residuales son:

- ✓ Por procesos de nitrificación aerobia
- ✓ Uso de compuestos nitrogenados
- ✓ Disposición de excretas humanas y de los animales
- ✓ Descargas de desechos municipales e industriales con altas concentraciones de compuestos de nitrógeno
- ✓ Residuos de carnes, salchichas, tocino, y otros embutidos (utilizan nitrato de potasio como conservante)

Los compuestos de fosfato que se encuentran en las aguas residuales o se vierten directamente a las aguas superficiales provienen de:

- ✓ Fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento
- ✓ Excreciones humanas y animales
- ✓ Detergentes y productos de limpieza (CENTA 2008)

2.2.7 Remoción de nutrientes

Las aguas residuales poseen altos niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que en ciertas formas puede ser tóxico para peces e invertebrados en concentraciones muy bajas (por ejemplo amoníaco) o puede causar un crecimiento exponencial de algas y el desarrollo incontrolado de una especie, en detrimento de las demás, todo ello ocasiona una mala apariencia de las aguas, problemas de olores por descomposición y un escaso nivel bajo de oxígeno disuelto que afecta negativamente a la respiración de los peces, los animales acuáticos y plantas adheridas en el lecho de los cursos de agua (Pérez y Camacho 2011).

Remoción del nitrógeno en lagunas facultativas: El medio aerobio, propio de las lagunas facultativas, es adecuado para el desarrollo de organismos nitrificantes que realizan la conversión del ión amonio a nitrato, lo que impide el acceso del amoniaco a los cursos de aguas receptores, donde ejerce efectos perjudiciales sobre la fauna; parte de los nitratos formados son asimilados por las algas, que los transforman en nitrógeno orgánico; por otro lado, al darse fluctuaciones a lo largo del día del contenido de oxígeno disuelto en las lagunas, decayendo este durante la noche, tienen lugar en ese período procesos de desnitrificación, que conducen a la pérdida neta de nitrógeno hacia la atmósfera; además del nitrógeno que ingresa en las lagunas facultativas vía influente, también el nitrógeno atmosférico puede ser transformado en formas orgánicas a través de la fijación biológica que llevan a cabo las cianobacterias (CENTA 2008).

Remoción del Fósforo en lagunas facultativas: El ambiente de este tipo de lagunas favorece la eliminación de los fosfatos, dado que a pH alcalino estos precipitan; el fósforo que se encuentra en forma particulada, sedimenta por procesos de adsorción y coagulación; parte del fósforo presente como ortofosfato soluble, es utilizado por los microorganismos acuáticos, muchos de los cuales almacenan en su interior el exceso del mismo en forma de polifosfatos a modo de reserva; una fracción del fósforo que, formando parte de la materia particulada, se va depositando en el fondo de las lagunas, puede volver a solubilizarse mediante procesos anaerobios, incorporándose de nuevo a la masa líquida (CENTA 2008).

Los sistemas de tratamiento acuáticos son una variante adecuada para la depuración de estas aguas; en ellos las plantas acuáticas funcionan como filtros biológicos removiendo sustancias tanto biodegradables como no biodegradables, nutrientes, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos (Rodríguez et al., s.f.). Las variaciones en la eficiencia de la remoción dependen de las condiciones climáticas y las características de la laguna donde se encuentran las macrófitas acuáticas, como la profundidad, caudal, concentración del agua residual y tiempo de retención hidráulica (Valero 2006).

2.2.8 Fitorremediación

Mentaberry (2011) describe que la fitorremediación puede considerarse como el conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxicar compuestos orgánicos, radiactivos, compuestos inorgánicos y químicos, por medio de la utilización de plantas que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica de absorber, retener, degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas. Para la EPA (1996), se caracteriza

por ser una práctica de limpieza pasiva y estéticamente agradable que aprovecha la capacidad de las plantas y la energía solar para el tratamiento de una gran variedad de contaminantes. En esta técnica las plantas actúan como trampas o filtros biológicos que descomponen los contaminantes o lo metabolizan tal como lo hacen los microorganismos para finalmente convertirlos en compuestos menos peligrosos y más estables, como dióxido de carbono, agua y sales minerales (Peña et al. 2001).

Tipos de fitorremediación

Tabla 2. Procesos de fitorremediación.

Tipo	Proceso involucrado	Contaminación tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar los contaminantes en las partes cosechables (principalmente la parte aérea).	Diversas aguas contaminadas con cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio y zinc
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar los contaminantes a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos.	Aguas contaminadas con cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio, zinc, isótopos radioactivos y compuestos fenólicos.
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes se usan para reducir su movilidad y evitar el paso a capas subterráneas o al aire.	Lagunas de deshecho de yacimientos mineros, aguas residuales. Propuesto para compuestos fenólicos y clorados.
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos).	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc, aguas residuales agropecuarias.
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican los contaminantes o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Aguas residuales agropecuarias, aguas con mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano).
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Aguas residuales agropecuarias, municiones (TNT, DNT, RDX), nitrobenceno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.

Fuente: Arias et al., 2010.

2.2.9 Tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas

Valero (2006) menciona que esta tecnología está siendo implementada como una de las alternativas más utilizadas actualmente, principalmente en Europa; consiste en estanques o canales que fluctúan entre los 0.4 y 1.5 m de profundidad y que son alimentados con agua residual, en los que se desarrolla una especie flotante; alguna de las especies que se

pueden utilizar son: jacinto acuático, lenteja de agua y azolla. En los últimos años el tratamiento de aguas residuales por medio de estanques con plantas acuáticas ha despertado un gran interés, por el potencial que han presentado para la depuración de las misma; algunos de estos sistemas han logrado proporcionar un tratamiento integral en donde no solamente se remueven eficientemente material orgánico y sólidos suspendidos sino que también se logran reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados y patógenos (Romero 2004).

García (2012) afirma que en el inicio de su experimento se instalaron el 20% y 5% del área total para el jacinto y la lemna respectivamente, por tenerse en cuenta que el jacinto de agua crece superficialmente más lento que la lenteja de agua. Sin embargo el Jacinto tuvo que haber ocupado un porcentaje menor inicialmente ya que la Lemna crecía con más celeridad, tal es así que el estanque con esta última planta acuática se transformaba en un medio con actividad eutrófica.

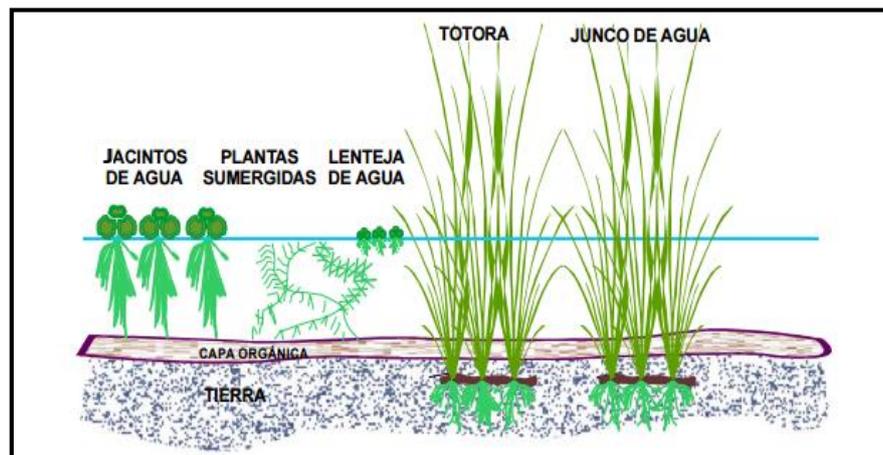


Figura 2. Plantas acuáticas.

Fuente: Adaptado de Romero (2004).

2.2.10 Propiedades de las plantas acuáticas en sistemas de tratamiento

Las plantas juegan un papel fundamental en estos sistemas siendo sus principales funciones:

- ✓ Airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizósfera.
- ✓ Absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
- ✓ Eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos.
- ✓ Filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular (García 2012).

Tabla 3. Funciones de las plantas en sistemas de tratamiento acuático.

Parte	Funciones
Raíces y/o tallos en la columna de agua.	Superficie sobre la cual la bacteria crece. Medio de filtración y adsorción de sólidos. Atenúan la luz del sol y así previenen el crecimiento de algas.
Tallos y/o hojas sobre la superficie del agua.	Reducen, los efectos del viento, es decir, transferencia de gases entre la atmósfera y el agua. Importante en la transferencia de gases para y desde las partes sumergidas de la planta.

Fuente: Pérez y Camacho (2011).

2.2.11 *Lemna minor* (lenteja de agua) en el tratamiento de aguas residuales domésticas

Valero (2006), señala que es indicadora de aguas eutróficas ricas en nitratos y fosfatos y por tanto no potables y tienen la ventaja sobre el Jacinto de que toleran mejor las temperaturas bajas. Forman colonias pequeñas que crecen en el agua con altos niveles de nutrientes y un pH de entre 5 y 9 (de manera óptima entre 6.5 y 7.5) y temperaturas entre 6 y 33°C, en las regiones templadas, cuando las temperaturas caen por debajo de 6 a 7°C se desarrollan pequeñas y densas colonias; asimilan los nutrientes de las aguas residuales y han mostrado facilidad para extraer rápidamente de las aguas algunos metales tales como el zinc, manganeso y fierro, así como para remover gran cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio en las aguas servidas (García 2012).

2.2.12 *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua común) en el tratamiento de aguas residuales domésticas

Valero (2006), afirma que es una de las especies acuáticas más estudiadas y utilizadas, debido a sus características depuradoras y la facilidad de proliferación especialmente en regiones tropicales y subtropicales. Para García (2012), esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes; poseen un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora, las plantas acuáticas retienen en sus tejidos metales pesados (cadmio, mercurio, arsénico) y además remueve algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, ácido fórmico, colorantes y pesticidas, y disminuye niveles de DBO (demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), y sólidos suspendidos. Gracias a su extenso sistema de raíces tiene poder de filtración y capacidad de absorber impurezas y contaminantes, es resistente a insectos y a

las enfermedades; generalmente crece a temperaturas de agua mayores a 10 °C; el componente principal de la planta es el agua (95% de la masa total), factor de gran importancia en su disposición (Romero 2004).

Tabla 4. Composición del jacinto de aguas residuales.

Constituyente	% de masa seca	
	Promedio	Intervalo
Proteína cruda	18,1	9,7 - 23,4
Grasa	1,9	1,6 - 2,2
Fibra	18,6	17,1 - 19,5
Cenizas	16,6	11,1 - 20,4
Carbohidratos	44,8	36,9 - 51,6
NTK*	2,9	1,6 - 3,7
Fósforo	0,6	0,3 - 0,9

*Nitrógeno total kjeldahl

Fuente: Romero (2004).

La mayoría de las plantas acuáticas tienen también rizomas, que son estructuras de reproducción vegetativa de las que salen nuevos brotes y que contienen abundante cantidad de hidratos de carbono como sustancia de reserva, estos rizomas se encuentran sumergidos en el agua junto a las raíces y unidos a la base del tallo de procedencia, toda la zona sumergida de la planta tiene una gran superficie específica, debido principalmente al gran número de raíces y raicillas, que actúan de soporte para la fijación de los microorganismos que degradan la materia orgánica, cuyo crecimiento se ve favorecido por el oxígeno que les llega a través de las raíces bombeado desde las hojas de las plantas, la cual es una propiedad específica de las plantas emergentes y flotantes (Fernández et al. 2010).

CAPÍTULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Material experimental

- Efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín
- Ejemplares de *Lemna sp*
- Ejemplares de *Eichhornia crassipes*

3.1.2 Materiales de campo

- Fichas de registro de campo
- Cinta de embalaje
- Plumón indeleble
- GPS, marca: Garmin, modelo: GPSmap76CSx
- Cámara fotográfica, marca: Samsung, modelo: ST72, cronómetro

3.1.3 Materiales y equipo de laboratorio

- Multiparámetro Fotómetro marca: HANNA INSTRUMENTS modelo: HI 83200
- Reactivo para pH HI 93710
- Kit de muestreo (envases de plástico y frascos winkler)
- Preservantes químicos
- Termómetro ambiental
- Cooler térmico pequeño
- Probeta graduada de 100 mL
- Guantes, mascarillas
- Agua destilada
- Laptop con software para procesamiento y sistematización de datos
- Impresora, papel Bond A4

3.1.4 Otros materiales

- Equipo de protección personal (EPP)
- Tubos, llaves de paso y conexiones PVC 1/2"
- Caja duraforte # 220 (reactor)
- Electrobomba 0.5 HP
- Timer digital
- Baldes

3.2 Metodología

3.2.1 Ubicación geográfica

a) Área de estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló y ejecutó en el Departamento de Cajamarca, Provincia de Celendín, Distrito de Celendín, barrio Pallac, específicamente en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la ciudad de Celendín.

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) está ubicada al norte de la ciudad de Celendín, el efluente de la laguna facultativa que se utilizó para la ejecución del proyecto tiene las siguientes coordenadas UTM: Norte: 9242247 m; Este: 815314 m; Altitud: 2605 m.s.n.m.

Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio.

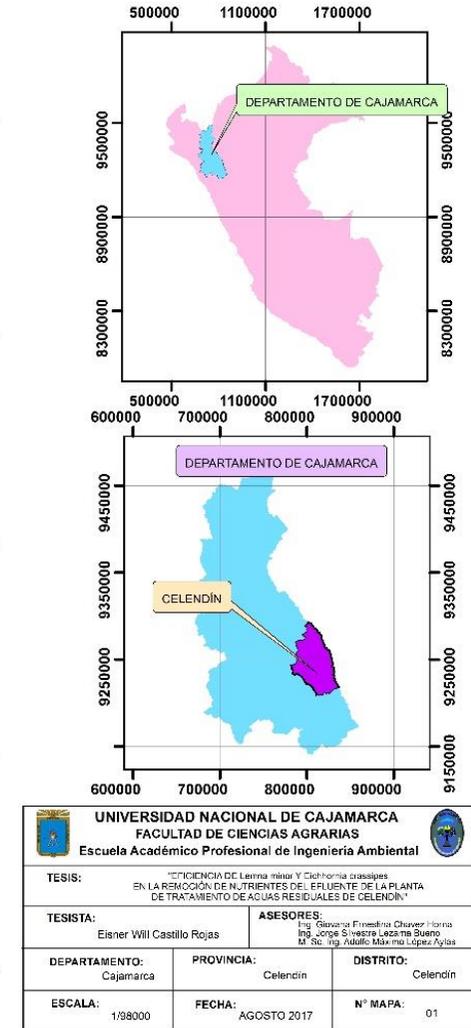
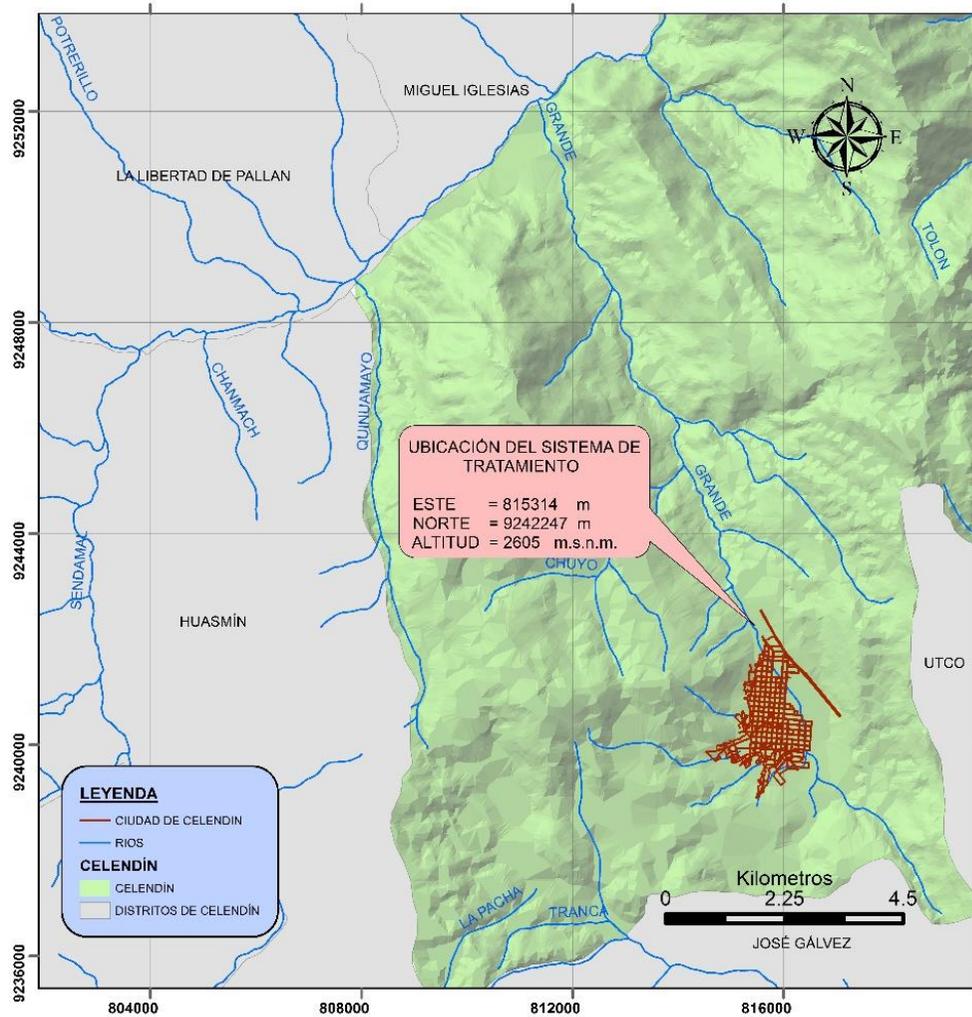
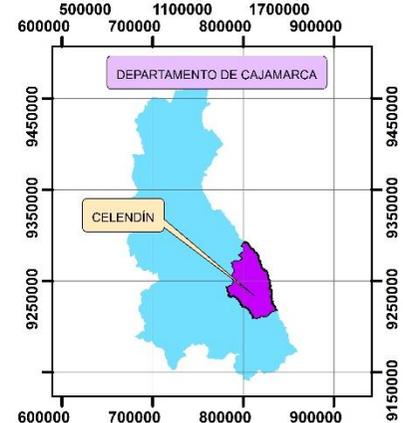
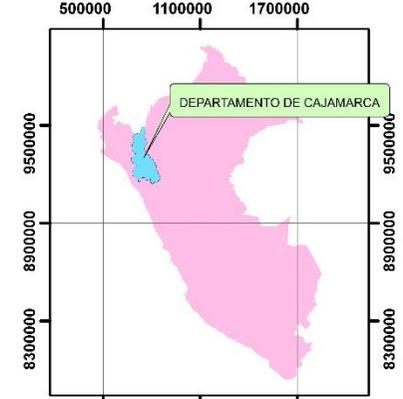
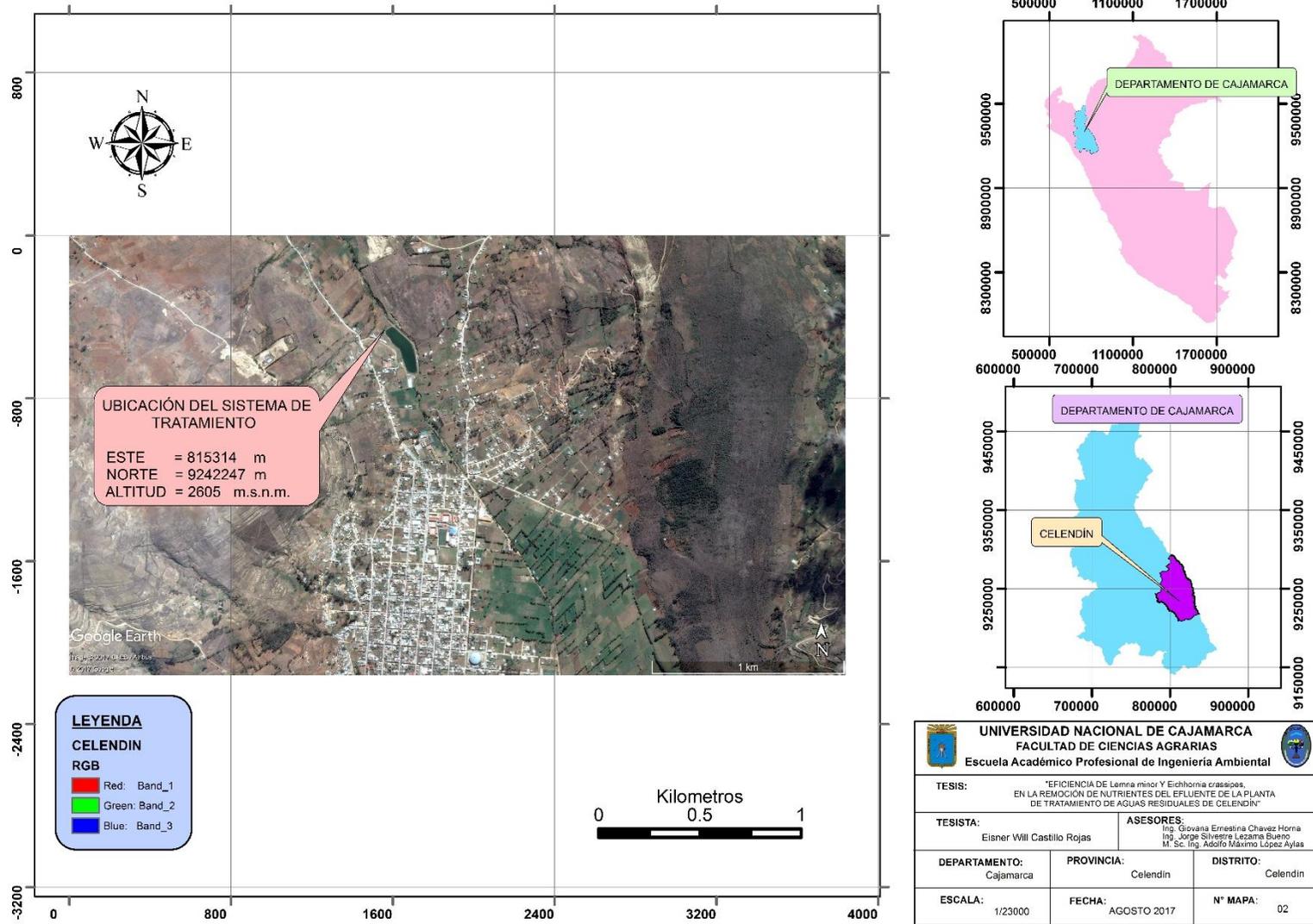
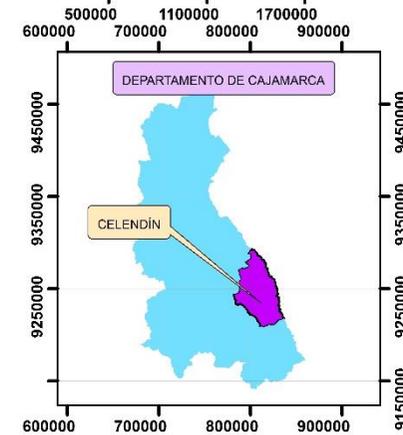
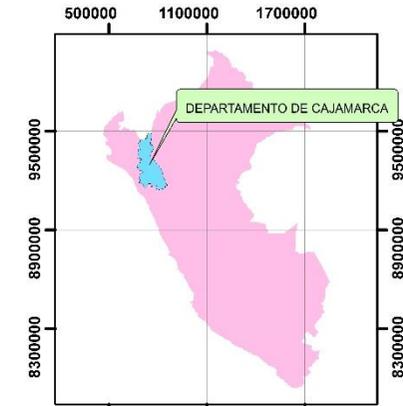
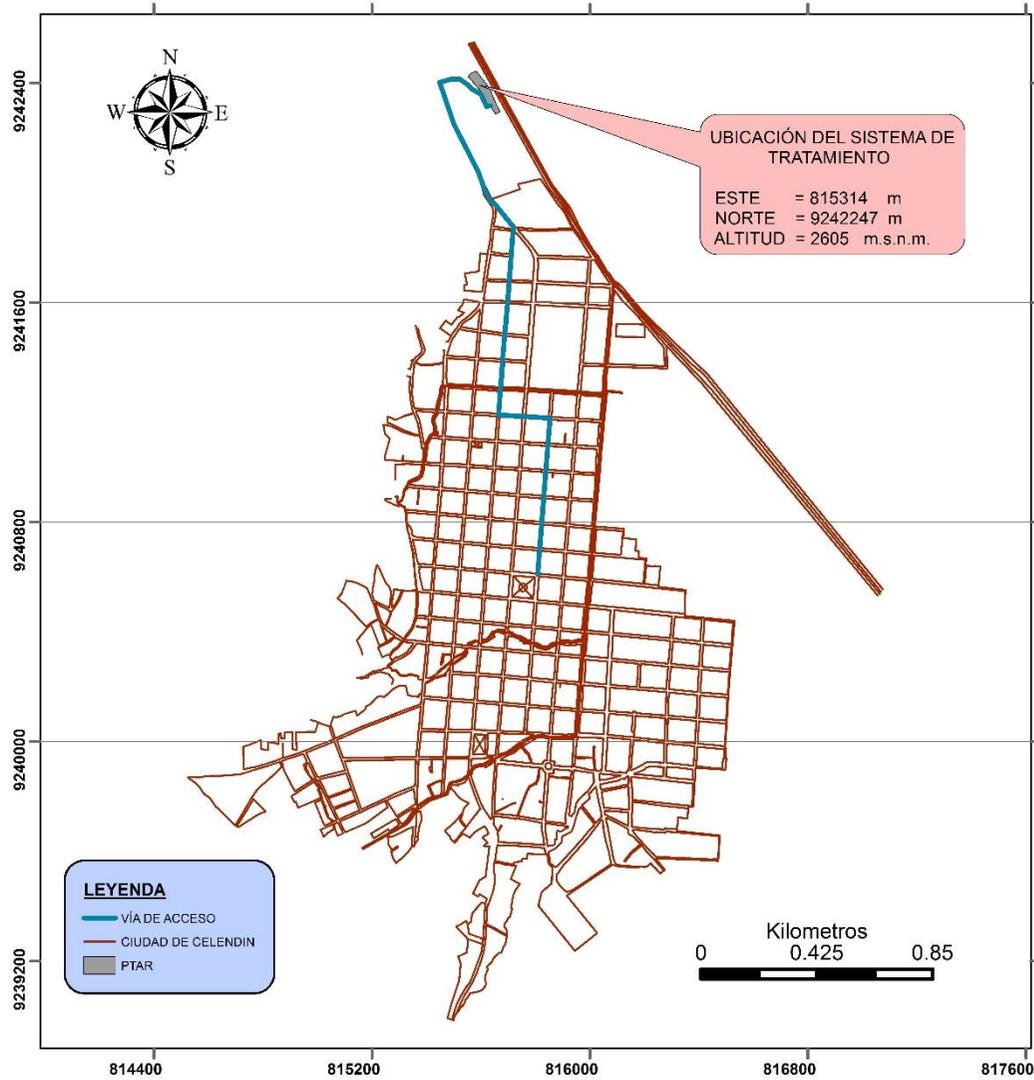


Figura 4. Mapa de ubicación satelital del área de estudio.



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental		
TESIS: "EFICIENCIA DE Lemna minor Y Eichhornia crassipes, EN LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES DEL EFLENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CELENDIN"		
TESISTA: Eisner Will Castillo Rojas		ASESORES: Ing. Giovana Ernestina Chavez Horna Ing. Jorge Silvestre Lezama Bueno M. Sc. Ing. Adolfo Máximo López Aylas
DEPARTAMENTO: Cajamarca	PROVINCIA: Celendin	DISTRITO: Celendin
ESCALA: 1/23000	FECHA: AGOSTO 2017	N° MAPA: 02

Figura 5. Mapa de vías de acceso al área de estudio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental		
TESIS: "EFICIENCIA DE Lemna minor Y Eichhornia crassipes, EN LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CELENDIN"		
TESISTA: Eisner Will Castillo Rojas		ASESORES: Ing. Giovana Ernestina Chavez Horna Ing. Jorge Silvestre Lezama Bueno M. Sc. Ing. Adolfo Maximiliano López Aylas
DEPARTAMENTO: Cajamarca	PROVINCIA: Celendin	DISTRITO: Celendin
ESCALA: 1/20000	FECHA: AGOSTO 2017	N° MAPA: 03

b) Características del lugar

Clima: Según la estación del SENAMHI Celendín, el clima del distrito de Celendín es templado seco, la temperatura media es de 13.7 °C (entre 2200 y 2800 msnm), tiene poca variación a lo largo del año, la atmósfera es seca y las precipitaciones pluviales son escasas durante el verano (Mayo – Agosto), el período de precipitaciones se presenta entre los meses de septiembre a abril, la humedad relativa varía desde el 75% en septiembre hasta el 87% en marzo (MPC 2009).

Hidrografía: Las aguas superficiales que discurren en el distrito de Celendín pertenecen casi en su totalidad a la cuenca del río Marañón, una parte del territorio del distrito pertenece a la microcuenca del río Grande y otra a las subcuencas Tolón, La Llanga y Cantange (MPC 2009).

Geología y suelos: La ciudad de Celendín se ubica en una depresión de depósito aluvial, formados a consecuencia de fuertes avenidas de agua (aluviones), compuestos por fragmentos rocosos de diferentes tamaños, subredondeados y redondeados, englobados en una matriz areno-limo y arcillosa, la falla geológica más significativa es perpendicular a la falla norte a sur del río Marañón y corresponde al cañón fluvial de La Llanga (MPC 2009).

Orografía: Celendín por ser un distrito de la sierra, presenta una geomorfología muy accidentada e irregular representada por cerros, valles, pampas, hondonadas, barrancos, quebradas, ríos entre otros (MPC 2009).

3.2.2 Tipo de investigación

Por su finalidad: Aplicada, debido a que, los resultados de la investigación permitirán recomendar un proceso de tratamiento terciario con macrófitas en la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín.

Por su carácter de medida: Cuantitativa, se basa en resultados numéricos obtenidos de las muestras de laboratorio que servirán como base para el análisis y procesamiento de datos.

Por el método de investigación: Preexperimental, se administra un estímulo o tratamiento y después aplicar una medición de una o más variables para observar cual es el nivel de grupo en estas variables (Hernández 2008). Se determinó el porcentaje de remoción de nutrientes mediante la administración de *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* como sistemas de tratamiento.

3.2.3 Diseño experimental

Se utilizó el efluente de la laguna facultativa, fue conducido por una tubería de PVC de ½" con la ayuda de una bomba de impulsión que se utilizó para llevar el agua hasta el tanque de distribución de donde se realizó la repartición a los sistemas de tratamiento (sistema de reactores en serie) con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*.

Según Hernández (2008), el presente trabajo de investigación es de tipo preexperimental, diseño de preprueba – posprueba; el análisis preprueba del afluente del sistema de tratamiento proporcionará un dato de referencia inicial, luego se administrará un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* y al evaluar el análisis posprueba después del tratamiento se determinará el porcentaje de remoción de nutrientes; se aplica los tratamientos con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* con el fin de evaluar la eficiencia en la remoción de nutrientes de ambas especies ya que por sus características propias y su fisiología de las mismas la remoción va ser diferente.

G	0 ₁	X ₁	0 ₂
G	0 ₁	X ₂	0 ₃

Donde:

G : Afluente del sistema de tratamiento (efluente de la laguna facultativa).

0₁ : Análisis preprueba (previo al sistema de tratamiento).

X₁ y X₂: Tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* respectivamente.

0₂ y 0₃ : Análisis posprueba (después del sistema de tratamiento).

3.2.4 Descripción del sistema de tratamiento

- El sistema consta de 04 reactores (caja duraforte # 220 de plástico), 2 reactores en serie para cada sistema de tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* con las siguientes dimensiones: largo 0.86 m, ancho 0.48 m y alto 0.52 m (para operar con un nivel de agua de 0.40 m), con el 1% de pendiente al interior de cada reactor, la conducción de las aguas se realizó con tubería PVC de 1/2" las cuales fueron controlados por dos llaves de paso con un caudal a razón de 0.030 L/minuto para asegurar la correcta alimentación a cada sistema de tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*.

- El distanciamiento entre cada sistema de tratamiento es de 0.30 m y entre cada reactor es de 0.20 m, distancia considerada recomendable que permite trabajar con seguridad durante la toma de muestra y al manipular herramientas como baldes para la recolección del efluente como se muestra en la figura 7.
- El caudal (Q) para cada sistema de reactores en serie utilizando *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* es de 0.030 L/min.
- El tiempo de retención hidráulica (TRH) para cada reactor es de 2.5 días llegando a los 5 días por cada sistema de tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*; CENTA (2008) recomienda que el tiempo de retención sea de, al menos, 5 días y para Gaibor (2005) citado por García (2012) menciona que el sistema podría haberse diseñado para 8 días para que los procesos de depuración se generen, la disminución del tiempo de retención es debido al incremento del caudal.
- El porcentaje de cobertura superficial con *Lemna sp* en cada reactor osciló entre el 75% y 80% mostrándose cambiante según las condiciones de desarrollo y proliferación de la especie; para *Eichhornia crassipes* el porcentaje de cobertura superficial osciló entre el 75% y 85% teniendo una alta tasa de crecimiento y proliferación, la cosecha o descarga de la biomasa de las especies se realizó en función al área superficial del reactor y considerando la homogeneidad del área con cobertura superficial en ambos reactores con el mismo tratamiento.

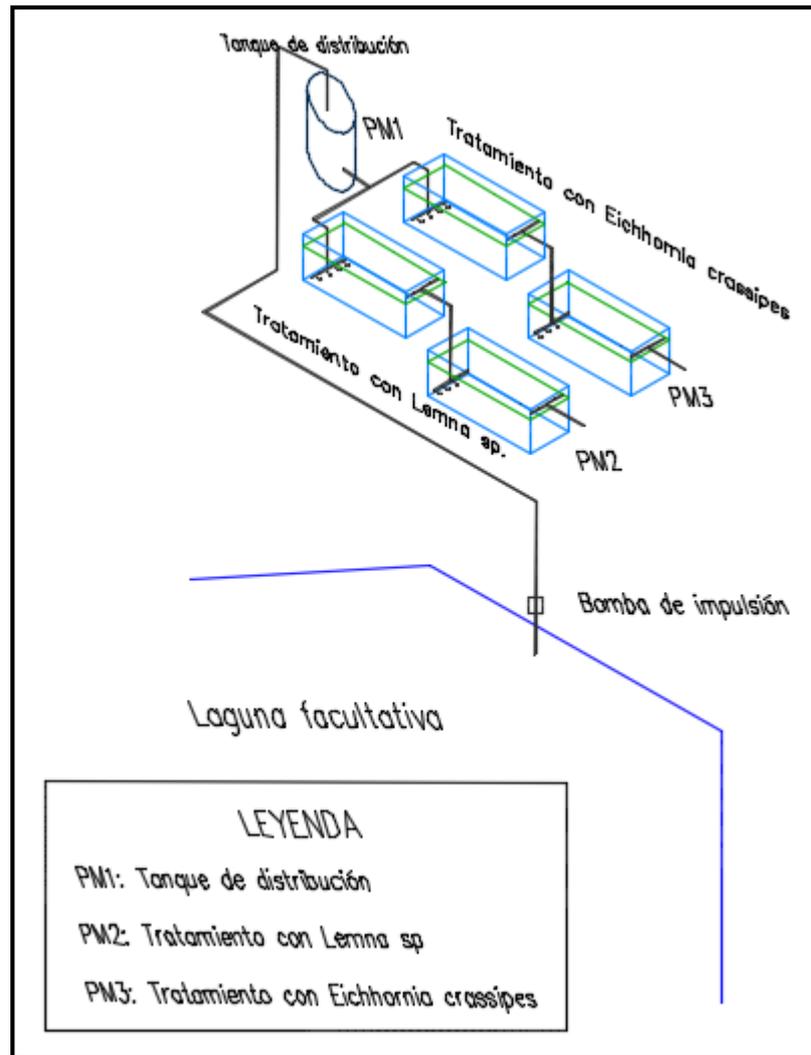


Figura 6. Diseño del sistema de reactores en serie.

3.2.5 Metodología aplicada

El presente proyecto de investigación se desarrolló en tres fases:

- a) Fase de campo
- b) Fase de laboratorio
- c) Fase de gabinete

a) La fase de campo comprende

- Identificación y reconocimiento de la laguna facultativa de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de Celendín; Se realizó a través del estudio y revisión del expediente técnico, recolección de información técnica en la oficina de SEMACEL (Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Celendín) para conocer el diseño, funciones y las etapas del tratamiento del agua residual.

- Ubicación y georreferenciación del área para la instalación del sistema de reactores en serie; Para la selección del área de ubicación e instalación del sistema experimental, se tomó en cuenta la ubicación de la salida del efluente de la laguna facultativa, topografía del terreno, condiciones climáticas, realizando la instalación en la parte norte de las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín.

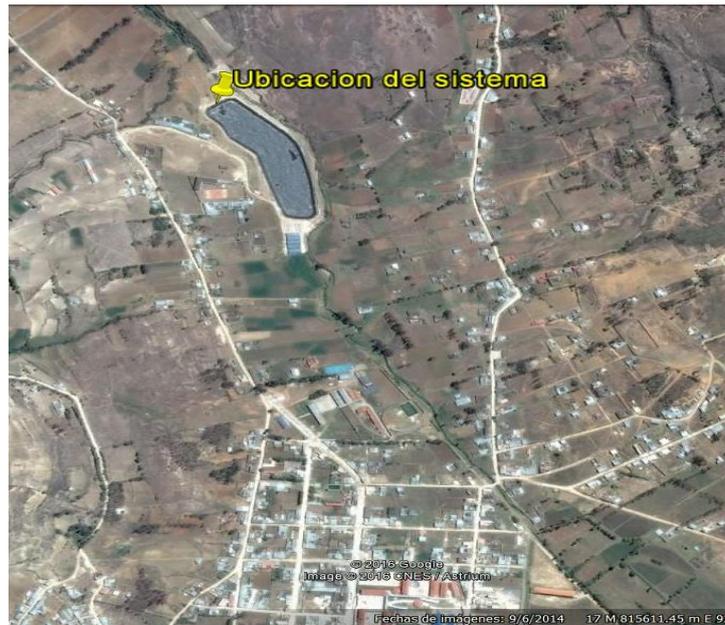


Figura 7. Ubicación del sistema de reactores en la PTAR – Celendín.

Fuente: Google Earth, 2017.

- Se gestionó el permiso para la intervención e instalación del sistema de reactores en serie en la Oficina de Programas Regionales (PROREGION - CAJAMARCA); se presentó la solicitud de autorización de permiso para la intervención e instalación del sistema experimental para la ejecución del trabajo de investigación en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín.

Ver en anexos

Figura 8. Solicitud de permiso para ejecución de tesis de investigación.

Figura 9. Autorización para ejecución de tesis.

- Acondicionamiento del área para la instalación del sistema de reactores en serie; Tomando en cuenta la topografía del terreno se realizó la limpieza y acondicionamiento del área; el área requerida fue de 4 m de largo y 3 m de ancho.

- Instalación del sistema; Se empezó con la delimitación del área y la construcción de la caseta de madera con una altura de 2 metros, paredes de malla metálica, techo de calamina de policarbonato transparente; el sistema de reactores en serie está constituido por cuatro cajas duraforte de plástico (dos para cada sistema de tratamiento) y posteriormente instalados sobre bancos de madera a una altura de 0.10 m y 0.50 m sobre el nivel del suelo, el tanque de distribución consiste en un balde de 20 litros instalado a una altura de 0.80 m el cual es alimentado con el agua del efluente de la laguna facultativa a través de una electrobomba de impulsión de 0.5 HP controlado con un timer digital, las conexiones y accesorios para la distribución del caudal son de tubería de PVC de ½" controlados con llaves de paso para la medición del caudal correcto de ingreso a cada sistema de tratamiento.

Tabla 5. Tabla de programación del timer digital.

Programación	hora de encendido	hora de apagado
1	06:00 a.m.	06:01 a.m.
2	10:00 a.m.	10:01 a.m.
3	02:00 p.m.	02:01 p.m.
4	06:00 p.m.	06:01 p.m.
5	10:00 p.m.	10:01 p.m.
6	02:00 a.m.	02:01 a.m.

- Puesta en marcha del sistema de reactores en serie; El sistema entró en funcionamiento inmediatamente después de la instalación, dando inicio a la etapa de ejecución del proyecto.
- Recolección de ejemplares de *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*; La recolección de *Lemna sp* se realizó de los sembríos de arroz en la provincia de Jaén teniendo las siguientes coordenadas: norte: 9370961 m, este: 744899 m, altitud: 654 m.s.n.m., posteriormente fueron trasladados hasta las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín para su implementación en el sistema de tratamiento; los ejemplares de *Eichhornia crassipes* se recolectaron de un pozo o puquio con las siguientes coordenadas: norte: 9235579 m, este: 814791 m, altitud: 2685 m.s.n.m., ubicado en el distrito de José Gálvez; se realizó el lavado con agua y la selección de los mejores ejemplares que posteriormente se colocaron en baldes de 8 litros con agua del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín (efluente de la laguna facultativa)

por un período de un mes antes de la ejecución del proyecto para su aclimatación y asegurar la efectividad en la remoción y evitar la pérdida de ejemplares (García 2012).

- El monitoreo de los parámetro de campo y los parámetros de laboratorio están detallados en el siguiente ítem frecuencia de monitoreo.
- El mantenimiento del sistema de reactores en serie se realizó una vez al mes y según es estado situacional de cada sistema para controlar alguna posible fuga de agua o el deterioro de los accesorios asegurando el correcto funcionamiento durante el período de ejecución de la investigación; la descarga de la biomasa de *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* se realizó una vez al mes considerando su crecimiento y proliferación de las especies, la descarga consiste en el retiro de las especies que presentan las peores condiciones (putrefacción).

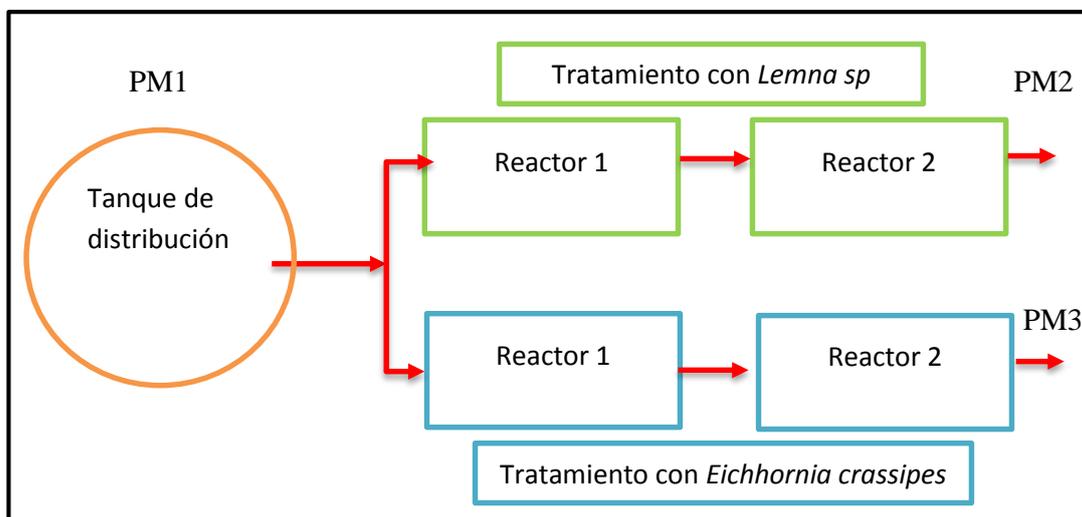


Figura 10. Puntos de monitoreo.

Donde:

PM1: Punto de monitoreo 1

PM2: Punto de monitoreo 2

PM3: Punto de monitoreo 3

Frecuencia de monitoreo

- Análisis de parámetros de campo, in situ; Se realizaron de acuerdo al cronograma de actividades, en cada sistema de reactores en serie y en los puntos de monitoreo establecidos según corresponda (PM1 tanque de distribución, PM2 tratamiento con *Lemna sp*, PM3 tratamiento con *Eichhornia crassipes*); para los parámetros de temperatura, pH, caudal y tiempo de retención hidráulica, ya que son parámetros influyentes, determinantes y de mucha importancia en el proceso de remoción de nutrientes.

Tabla 6. Monitoreo de parámetros de campo.

Parámetro	Tanque de distribución	Tratamiento con <i>Lemna sp</i>	Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>
	PM1	PM2	PM3
T°	Medición de los parámetros los días		
pH	miércoles o jueves de cada semana a las		
Q	9:00, 13:00 y 17:00 horas, durante 6 meses.		
TRH			

- Recolección de las muestras y envío a un laboratorio certificado; Se realizó de acuerdo al protocolo de toma de muestras del Laboratorio Regional del Agua acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación (INACAL-DA) con registro N° LE-084, conforme a lo estipulado en el cronograma de actividades y en los puntos de monitoreo establecidos, el envío se realizó inmediatamente después de la recolección de las muestras adjuntando su respectiva cadena de custodia; para la recolección de las muestras, se utilizó el afluente (PM1 tanque de distribución) y efluente de cada sistema de tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*, lo que permitirá observar los cambios sustanciales que ocurren en este período de tiempo.

Tabla 7. Monitoreo de parámetros de laboratorio.

Parámetro	Tanque de distribución	Tratamiento con <i>Lemna sp</i>	Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>
	PM1	PM2	PM3
nitrógeno total (N)			
nitratos (NO₃⁻)	Envío de las muestras al laboratorio para el análisis de los parámetros, el último día de cada mes, durante 6 meses.		
fósforo total (P)			
fosfatos (PO₄³⁻)			
oxígeno disuelto			

Tabla 8. Frecuencia de monitoreo de parámetro de campo y laboratorio.

ACTIVIDADES	PERÍODO DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN																											
	MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO							
	semana				semana				semana				semana				semana				semana							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Monitoreo de parámetros de campo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Monitoreo de parámetros de laboratorio				X				X				X				X				X				X				X

Parámetros de campo

La determinación de estos parámetros se realizaron directamente en el agua de cada uno de los sistemas de reactores en serie y en cada uno de los puntos de monitoreo establecidos para lo cual se procedió de la siguiente manera:

- Tiempo de retención hidráulica; se determinó en cada uno de los sistemas de reactores en serie haciendo el uso de la siguiente fórmula.

$$TRH = \frac{Vr}{Q}$$

Donde:

TRH : Tiempo de retención hidráulica (días)

Vr : Volumen del reactor (m³)

Q : Caudal del sistema (m³/día)

- Caudal; Es un parámetro determinante en el proceso de remoción de nutrientes, ya que influye directamente en el tiempo de retención hidráulica, evaluado una vez a la semana y a diferentes horas del día durante el tiempo de ejecución de la tesis para asegurar el caudal correcto que alimenta los sistemas de tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*.
- Temperatura; Se determinó in situ haciendo uso de un termómetro ambiental, se procedió a medir la temperatura en cada uno de los sistemas de reactores en serie en los puntos de monitoreo establecidos (PM1, PM2 y PM3).
- pH; se determinó in situ con la ayuda de un Fotómetro Multiparámetro marca: HANNA INSTRUMENTS modelo: HI 83200 y Reactivo para pH HI 93710, en los puntos de monitoreo establecido (PM1, PM2 y PM3), evaluado una vez a la semana y a diferentes horas del día durante el tiempo de ejecución de la tesis.

Tamaño y tipo de muestra

Se realizó de acuerdo a los requisitos mínimos para la toma de muestras de agua y los requerimiento del tamaño y tipo de muestra como lo determina el Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca; para los parámetros de nitrógeno total (N), nitratos (NO_3^-), fósforo total (P) y fosfatos (PO_4^{3-}) en los tres puntos de monitoreo establecidos (PM1 tanque de distribución, PM2 tratamiento con *Lemna sp*, PM3 tratamiento con *Eichhornia crassipes*) se envió 1 litro de agua residual en botellas de plástico de cada punto de monitoreo, para su respectivo análisis de parámetros; para el parámetro de oxígeno disuelto en los tres puntos de monitoreo establecidos (PM1 tanque de distribución, PM2 tratamiento con *Lemna sp*, PM3 tratamiento con *Eichhornia crassipes*) se envió 300 mililitros de agua residual en botellas Winkler para su respectivo análisis en cada punto de monitoreo.

Tabla 9. Requisitos para la toma de muestra de agua y preservación.

PARÁMETRO	RECIPIENTE	VOLUMEN DE MUESTRA	TIPO DE MATRIZ	PRESERVACIÓN	TIEMPO MÁXIMO DE DURACIÓN
Nitrógeno total*	Plástico	1000 mL	Agua residual	Agregar H_2SO_4 hasta $\text{pH}<2$ y refrigerar a $4\text{ }^\circ\text{C}$	28 días
Nitrato	Plástico	1000 mL	Agua residual	Agregar H_2SO_4 hasta $\text{pH}<2$ refrigerar a $4\text{ }^\circ\text{C}$	28 días
Fósforo total	Plástico	1000mL	Agua residual	Agregar H_2SO_4 hasta $\text{pH}<2$ refrigerar a $4\text{ }^\circ\text{C}$	24 horas
Fosfato*	Plástico	1000 mL	Agua residual	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente, refrigerar a $4\text{ }^\circ\text{C}$	48 horas
Oxígeno disuelto	Botella Winkler	300 mL	Agua residual	Agregar sulfato manganoso y solución yoduro alcalina	8 horas

Fuente: DIGESA, 2006.

* MINAGRI, 2011.

b) La fase de laboratorio comprende:

Esta fase será exclusiva del laboratorio que se encargará de la fiabilidad de los resultados, aplicará la técnica de análisis de muestras para cada parámetro.

- Conservación de las muestras.
- Preparación de las muestras.
- Análisis de las muestras.
- Entrega de resultados.

Tabla 10. Técnica de recolección de datos de laboratorio.

PARÁMETRO	TÉCNICA/NORMA DE REFERENCIA	TIPO DE MATRIZ
Nitrógeno total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N B, 22 nd Ed. 2012: Nitrogen. Macro – Kjendahl Method	Agua residual
Nitrato	EPA Method 300.1 Rev. 1.0. 1997: Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography	Agua residual
Fósforo total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P D Stannous Chloride Method	Agua residual
Fosfato	EPA Method 300.1 Rev. 1.0. 1997: Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography	Agua residual
Oxígeno disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 nd Ed. 2012: Oxygen (Dissolved). Azide Modification	Agua residual

c) La fase de gabinete comprende:

Técnicas de procesamiento de datos para obtener los valores de remoción de nutrientes

Se registraron los resultados emitidos por el laboratorio: nitrógeno total (N), nitratos (NO_3^-), fósforo total (P), fosfatos (PO_4^{3-}) y oxígeno disuelto; así como los datos determinados a nivel de campo: temperatura, pH, caudal y tiempo de retención hidráulica; los cuales fueron procesados para determinar el porcentaje de remoción de nutrientes de los sistemas de reactores en serie utilizando *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*. La determinación del porcentaje de remoción de nutrientes fue determinada de la siguiente manera:

- Se efectuó el cálculo de los valores promedios de nitrógeno total (N), nitratos (NO_3^-), fósforo total (P) y fosfatos (PO_4^{3-}); en cada punto de monitoreo establecido para cada uno de los sistema de reactores en serie utilizando *Lemna sp*

y *Eichhornia crassipes*. Se calculó empleando la fórmula que se presenta a continuación.

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

Dónde:

\bar{X} = promedio aritmético

x = valor individual de cada dato

n = número de datos

- Haciendo uso de los valores promedios de nitrógeno total (N), nitratos (NO_3^-), fósforo total (P) y fosfatos (PO_4^{3-}); obtenidos en cada punto de monitoreo establecidos del sistema de reactores en serie se procedió calcular el porcentaje de remoción de nutrientes para cada uno de los tratamientos con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* haciendo el uso de la siguiente fórmula.

$$\% \eta \text{ remoción} = \frac{\text{N afluyente} - \text{N efluyente}}{\text{N afluyente}} * 100$$

Donde:

η : Eficiencia de remoción de nutrientes (%)

N Afluyente: concentración del nitrógeno total en la entrada (en el punto de entrada al sistema de reactores en serie utilizando *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*)

N Efluyente: concentración del nitrógeno total en la salida (en el punto de salida del sistema de reactores en serie utilizando *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*)

CAPÍTULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caudal (Q)

El caudal (Q) que se utilizó para cada sistema de reactores en serie con flujo continuo para el tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* fue de 0.030 L/min, el cual se trató de mantenerlo constante apoyándose en las mediciones periódicas con la ayuda de una probeta graduada y un cronómetro en los puntos de entrada del agua a cada sistema de tratamiento.

Tabla 11. Caudales de entrada para cada sistema de tratamiento.

TRATAMIENTO	CAUDAL DE INGRESO (L/min)
Tratamiento con <i>Lemna sp</i>	0.030
Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>	0.030

4.2 Tiempo de retención hidráulica (TRH)

El tiempo de retención hidráulica; se determinó en cada uno de los sistemas de reactores en serie con flujo continuo para el tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* respectivamente.

Considerando los dos reactores que conforman el sistema de reactores en serie para cada tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* el tiempo de retención hidráulica es de 5 días para cada sistema de tratamiento, tiempo requerido para que los procesos de depuración se generen CENTA (2008), la disminución del tiempo de retención es debido al incremento del caudal.

El tiempo de retención hidráulica está estrechamente relacionado con el caudal, ya que al incrementar el caudal el TRH disminuye por tener una relación inversamente proporcional.

Tabla 12. Tiempo de retención hidráulica (TRH) de cada sistema de tratamiento.

TRATAMIENTO	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH) (días)
Tratamiento con <i>Lemna sp</i>	5
Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>	5

4.3 pH

Los valores de pH registrados se presentan en los siguientes anexos.

Ver en Anexos:

Tabla 13. Monitoreo del pH mes de marzo.

Tabla 14. Monitoreo del pH mes de abril.

Tabla 15. Monitoreo del pH mes de mayo.

Tabla 16. Monitoreo del pH mes de junio.

Tabla 17. Monitoreo del pH mes de julio.

Tabla 18. Monitoreo del pH mes de agosto.

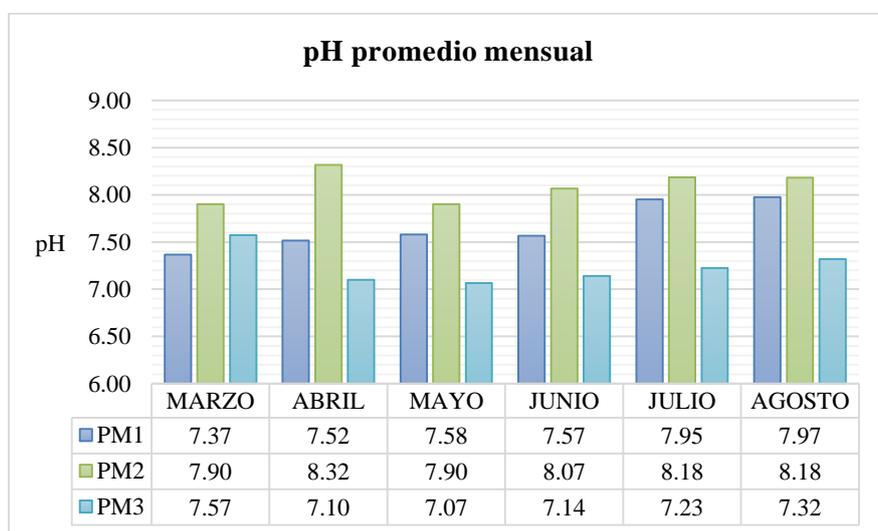


Figura 11. Valores promedio de pH por mes.

En la figura 11 se muestran las ligeras variaciones de pH encontrándose dentro del rango de 7.07 y 8.32 registrados durante el período de monitoreo los cuales son considerados ligeramente alcalinos siendo valores óptimos y aceptables en procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales, coincidiendo con la bibliografía citada por los diferentes autores.

Los elementos inorgánicos comunes en las aguas residuales incluyen cloruros e iones de hidrógeno que influyen en la acidificación y entre los compuestos que causan alcalinidad está el nitrógeno, fósforo y azufre, es necesario mencionar que la descomposición de materia orgánica o de ácidos orgánicos puede también disminuir el nivel de pH en aguas residuales domésticas (Clostre 2007).

Tabla 19. Valores de pH promedio.

pH		
PM1	PM2	PM3
7.66	8.08	7.25

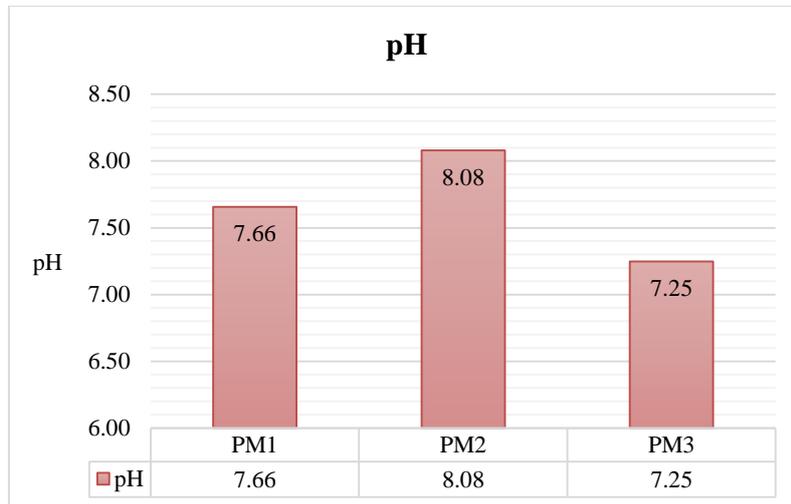


Figura 12. Valores promedio de pH por punto de monitoreo.

En la figura 12 tomando en consideración el valor promedio 7.66 del PM1 se observa que el tratamiento con *Lemna sp* (PM2) tiene una tendencia a alcalinizar ligeramente el agua residual al incrementarlo a un valor de 8.08, mientras que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) tiene una tendencia a acidificar ligeramente el agua residual al disminuirlo a un valor de 7.25, por lo que la bibliografía nos dice que se está operando correctamente cuando el pH presenta valores ligeramente alcalinos, del orden de 7,5 - 8,5 (CENTA 2008).

Para Rodier (1986), el pH óptimo de las aguas debe estar entre 6.5 y 8.5 es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9 donde relativamente existe la mayor parte de la vida biológica, las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos, si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido, el pH de la fuente receptora puede ser alterado; por ello, la mayoría de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser descargados dentro de límites específicos de pH.

Romero (2004) estipula, que para procesos biológicos de nitrificación se recomienda valores de pH en un rango de 7.2 a 9.0 y Metcalf y Eddy (1998) refieren que, para que la nitrificación ocurra, el pH óptimo está entre 7.5 y 8.6, por lo que los resultados de la investigación estarían dentro del rango establecido por la literatura para que se dé el proceso de nitrificación.

4.4 Temperatura (T°)

Los valores de temperatura registrados se presentan en los siguientes anexos.

Ver en Anexos:

Tabla 20. Monitoreo de temperatura mes de marzo.

Tabla 21. Monitoreo de temperatura mes de abril.

Tabla 22. Monitoreo de temperatura mes de mayo.

Tabla 23. Monitoreo de temperatura mes de junio.

Tabla 24. Monitoreo de temperatura mes de julio.

Tabla 25. Monitoreo de temperatura mes de agosto.

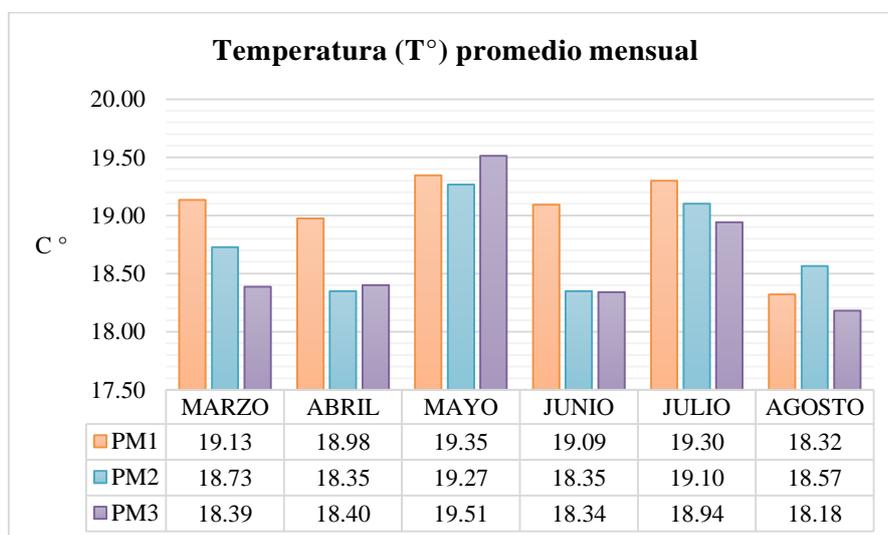


Figura 13. Valores promedio de temperatura por mes.

En la figura 13 se presenta una ligera variación de la temperatura fluctuando en un rango entre 18.18 C° y 19.51 C° considerándose los picos de temperatura durante el período de monitoreo, siendo temperaturas óptimas y aceptables en aguas residuales encontrándose dentro del rango especificados por los autores citados, en el mes de mayo se registraron las temperaturas más altas durante el período de monitoreo coincidiendo con los mayores

valores de remoción de nutrientes, esto relacionado con estudios previos y la literatura citada lo cual refieren lo mismo, que a mayores temperaturas se da mayores procesos de remoción, la velocidad de la depuración aumenta con la temperatura (CENTA 2008).

Los estudios realizado por Valderrama (2014) muestra que los valores de temperatura en este tipo de sistemas pueden variar a diferentes horas del día según la cantidad de heliofanía que reciban los sistemas.

A continuación se presenta los valores promedio obtenidos en cada punto de monitoreo establecido.

Tabla 26. Valores de temperatura promedio.

Temperatura (C°)		
PM1	PM2	PM3
19.02	18.74	18.63

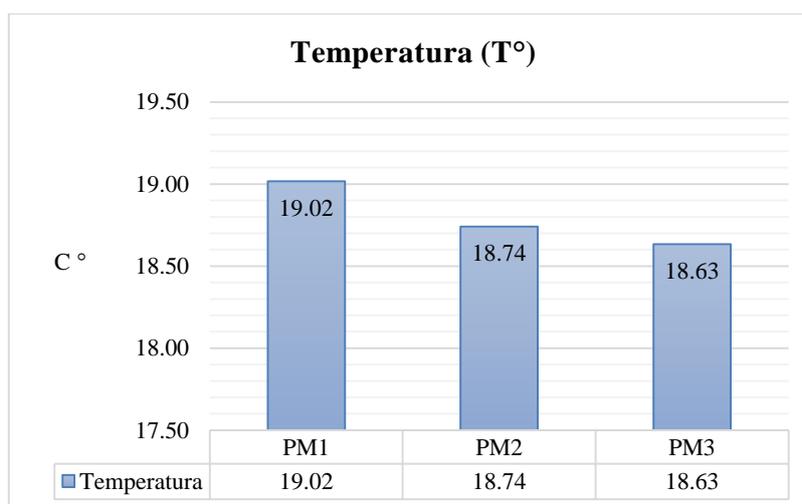


Figura 14. Valores promedio de temperatura por punto de monitoreo.

En la figura 14 se muestra los valores promedio de temperatura; es considerado uno de los factores de gran importancia ya que intervienen directamente en los todos los procesos biológicos y fisiológicos que se desempeñan en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, la temperatura perturba de la vida acuática, modifica la concentración y saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana (Romero 2004).

La temperatura óptima para el crecimiento de *Lemna sp* se encuentra en el rango de 6 °C y 33 °C en las regiones templadas García (2012), mientras que para el desarrollo de

Eichhornia crassipes la temperatura debe ser mayor a 10 °C Romero (2004), por otro lado, el aumento de temperatura puede contribuir al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura García (2012); en consideración a los autores y los datos obtenidos se puede decir que la temperatura de los sistemas de tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* se encuentran dentro de los rangos óptimos para el desarrollo de estas especies y generando condiciones óptimas para los procesos de remoción de nutrientes influyendo considerablemente en las velocidades de las reacciones químicas.

4.5 Oxígeno disuelto (OD)

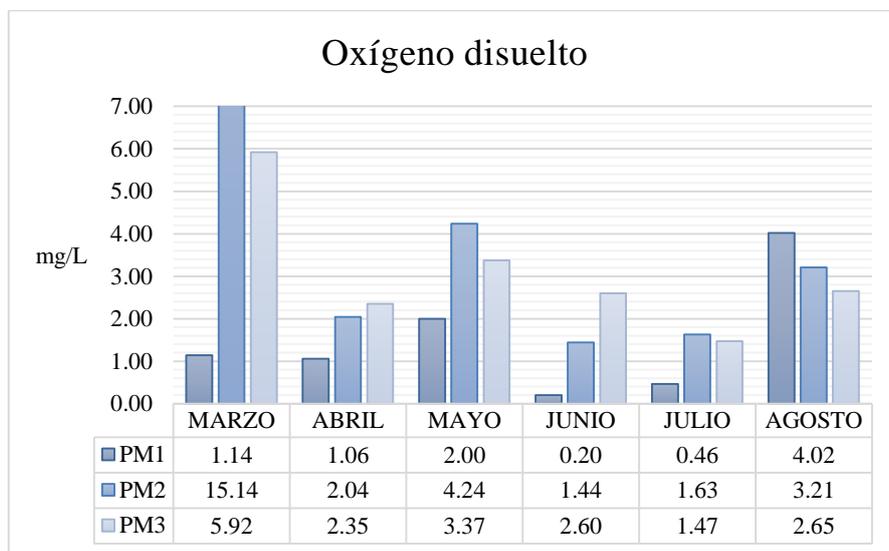


Figura 15. Concentración de oxígeno disuelto (OD) durante el período de monitoreo.

La figura 15 se muestra el comportamiento de oxígeno disuelto (OD) en los tres puntos de monitoreo a lo largo de los 6 meses de análisis, se puede apreciar que las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) en el PM1 (tanque de distribución) se muestra variables durante la época de análisis que fluctúan desde 0.20 mgO₂/L en el cuarto monitoreo del mes de junio hasta el valor de 4.02 mgO₂/L en el sexto monitoreo correspondiente al mes de agosto, al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* (PM2) se aprecia una mejora significativa de las condiciones de oxigenación incrementándose a un rango entre 1.44 y 4.24 mgO₂/L, paralelamente al aplicar un estímulo o tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) se aprecia una mejora significativa de las condiciones de oxigenación incrementándose en un rango entre 1.47 y 5.92 mgO₂/L.

Cabe mencionar que en primer monitoreo en el PM2 se obtuvo un valor de 15.14 mgO₂/L considerándose un rango excesivamente alto, esto ocasionándose por interferencias al momento del análisis que pueden ser causadas por materiales oxidantes y reductores, compuestos de hierro o cloro (Hanna Instrument Inc. 2012).

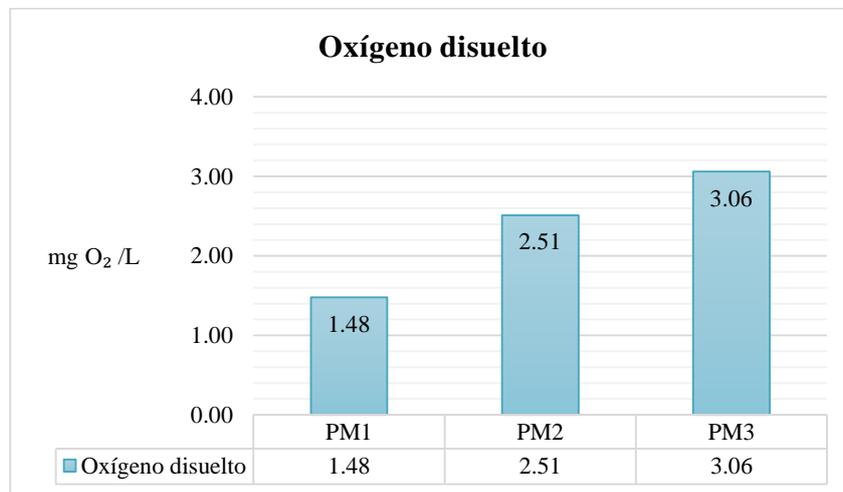


Figura 16. Gráfica de valores promedio de oxígeno disuelto (OD).

En la figura 16 se muestra los valores promedios de oxígeno disuelto logrados en cada sistema de reactores en serie, se aprecia que en el PM1 (tanque de distribución) se tiene un valor promedio de 1.48 mgO₂/L, en el tratamiento con *Lemna sp* (PM2) la concentración de oxígeno disuelto muestra un aumento progresivo hasta valor promedio de 2.51 mgO₂/L significando un aumento del 70 % de este parámetro, mientras que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) alcanza un incremento progresivo hasta un valor promedio de 3.06 mgO₂/L significando un incremento de 107 %, mejorando considerablemente las condiciones de oxigenación del agua al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*.

La oxigenación del agua se realiza mediante el oxígeno trasladado desde las hojas hasta el sistema radicular y de ahí al agua, el proceso inicia tras el contacto de las hojas con el oxígeno atmosférico, éste pasa de la superficie de las hojas al tallo que están en contacto con ella, en esa zona y de éstos tallos situados a continuación en la dirección descendente, iniciándose de esta manera el descenso del oxígeno de forma continua hasta sus raíces y rizomas (Torres 2010).

Eichhornia crassipes como otras plantas acuáticas, transporta el O₂ a través de sus tejidos dentro de la zona radical, creando así microzonas aerobias alrededor de las raíces, la difusión y el transporte de flujo masivo de O₂ vía peciolos y su liberación en la zona radical

(Armstrong et al., 1990) puede incrementar los potenciales redox en el sustrato mejorando la descomposición microbiana y las tasas de nitrificación (Gersberg et al., 1986).

Por lo que se determina que el tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* contribuyen significativamente en la oxigenación del agua residual considerándose como un factor determinante en el proceso de remoción de nutrientes del agua residual, además de favorecer el desarrollo de los procesos de depuración biológica y nitrificación.

4.6 Nitrógeno total (N)

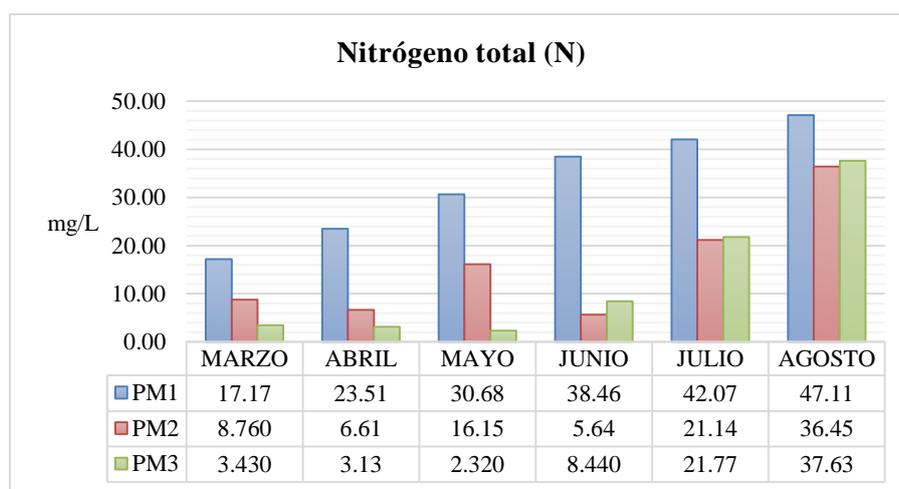


Figura 17. Valores de nitrógeno total (N) durante el período de monitoreo.

En la figura 17 se muestra el comportamiento del nitrógeno total (N) en los tres puntos de monitoreo a lo largo de los 6 meses de análisis; Se puede apreciar que las concentraciones de nitrógeno total (N) en el PM1 (tanque de distribución) tiene una tendencia creciente durante el período de análisis que fluctúan desde 17.17 mg/L en el primer monitoreo correspondiente al mes de marzo hasta el valor de 47.11 mg/L en el sexto monitoreo correspondiente al mes de agosto, al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* (PM2) se aprecia una disminución significativa de nitrógeno total (N) que fluctúa entre 6.61 mg/L y 36.45 mg/L, paralelamente al aplicar un estímulo o tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) se aprecia una disminución significativa de nitrógeno total (N) que fluctúa entre 2.32 mg/L y 37.63 mg/L.

Los valores del PM1 son las primeras mediciones de nitrógeno total (N) correspondiente al efluente de la laguna facultativa, mientras que PM2 y PM3 son los valores después de aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* respectivamente.

Londoño y Marín (2009) conceptualizan que el nitrógeno total es la suma del nitrógeno amoniacal más el nitrógeno orgánico; el nitrógeno amoniacal se encuentra presente en las aguas residuales proveniente de la desaminación de compuestos orgánicos nitrogenados y de la hidrólisis de la urea, el nitrógeno orgánico incluye materiales como proteínas, péptidos, ácidos nucleicos y urea; Knobelsdorf (2005) afirma que alrededor del 60% del nitrógeno presente en un agua residual bruta está en forma orgánica y el resto en forma amoniacal.

Se efectuó el cálculo de los valores promedios de nitrógeno total (N), en cada punto de monitoreo establecido para cada uno de los sistemas de reactores en serie utilizando *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 27. Valores promedio de nitrógeno total (N)

PUNTO DE MONITOREO	PROMEDIO
PM 1: Tanque de distribución	33.17 mg/L
PM 2: Tratamiento con <i>Lemna sp</i>	15.79 mg/L
PM 3: Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>	12.79 mg/L

Haciendo uso de los valores promedios de nitrógeno total (N) obtenidos en cada punto de monitoreo establecidos del sistema de reactores en serie, se procedió calcular el porcentaje de remoción de nitrógeno total (N) para cada uno de los tratamientos con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*.

Tabla 28. Valores de remoción de nitrógeno total (N)

PUNTO DE MONITOREO	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NITRÓGENO TOTAL (N) (%)
PM 2: Tratamiento con <i>Lemna sp</i>	52
PM 3: Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>	61

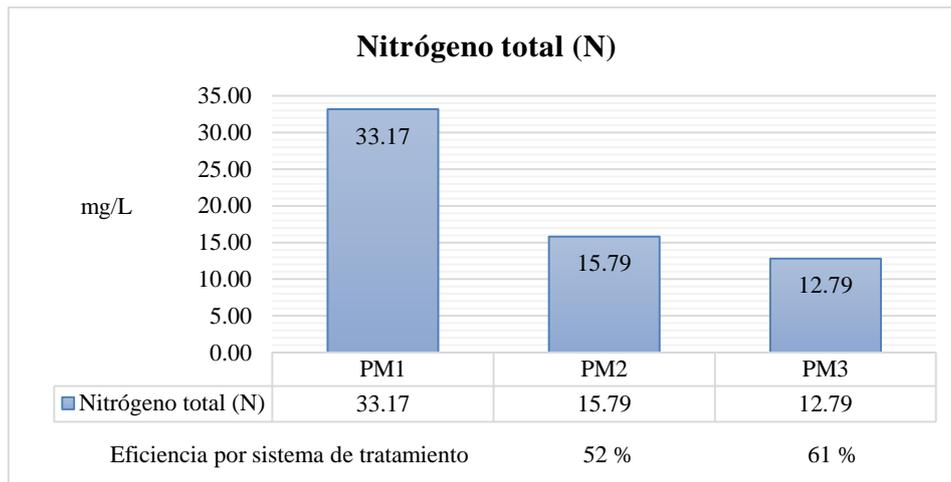


Figura 18. Valores promedio y eficiencias de remoción de nitrógeno total (N) por punto de monitoreo.

En la figura 18 se muestra los valores promedios y los porcentajes de remoción de nitrógeno total (N) logrados en cada sistema de reactores en serie, se aprecia que el tratamiento con *Lemna sp* alcanza un valor del 52% de remoción, mientras que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* alcanza un valor del 61% de remoción de nitrógeno total (N).

En la figura 18 se observa que el valor promedio del PM2 > PM3, por lo que se puede interpretar que en el PM3 el tratamiento es más eficiente respecto al parámetro de nitrógeno total (N), esto coincidiendo con Pedraza citado por Gracia (2012) quien conceptualiza que los requerimientos de nitrógeno en *Eichhornia* son mayores que en *Lemna sp*, es así que una planta grande puede requerir entre 1.5 y 4.83 mgN/L mientras que en *Lemna sp* los requerimientos son de 2.15 mgN/L, por lo que se puede afirmar que *Eichhornia crassipes* al tener un mayor requerimiento de nitrógeno es más eficiente en la remoción de este parámetro.

Por otro lado Londoño y Marín (2009) afirman que el nitrógeno total es la suma del nitrógeno amoniacal más el nitrógeno orgánico, entonces, al aplicar un tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* se pueden lograr dos formas de remoción del nitrógeno total: la primera que corresponde a la remoción del nitrógeno amoniacal (amoníaco más ion amonio) por el proceso de nitrificación, Knobeltdorf (2005) dice que la nitrificación es la oxidación prolongada del ion amonio a nitrito y luego a nitrato, en condiciones aerobias del líquido de mezcla después de la eliminación de la materia orgánica, la realizan las bacterias autótrofas y la segunda parte que corresponde a la remoción del nitrógeno orgánico en forma de nitratos, Henry-Silva et al., (2008) dice que durante la etapa de

crecimiento, las macrófitas absorben e incorporan los nutrientes en su propia estructura y funcionan como sustrato para los microorganismos (Brix y Schierup 1989) que promueven la asimilación de estos nutrientes a través de transformaciones químicas, incluyendo nitrificación y desnitrificación (Peterson y Teal 1996) (Nahlik y Mistch 2006), esto corroborándose con Winkler (1998) quien dice que el nitrógeno orgánico puede ser asimilado en forma de nitratos por organismos vivos como macrófitas, pues representan la fracción orgánica del nitrógeno que puede ser aprovechable.

4.7 Nitratos (NO_3^-)

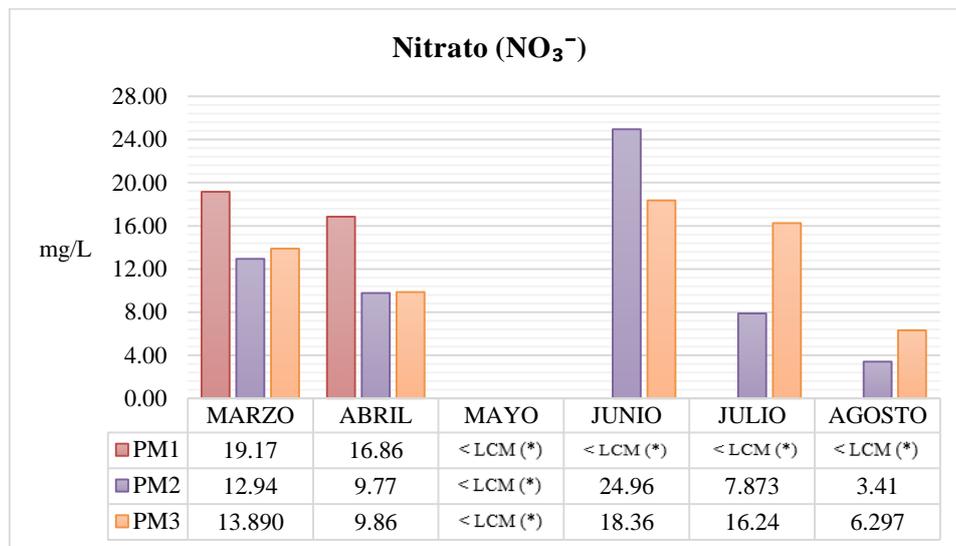
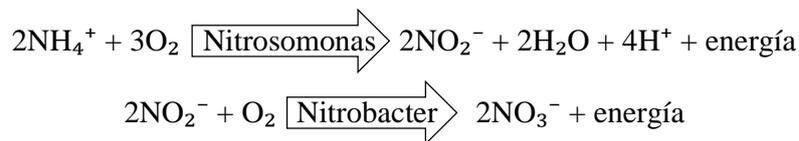


Figura 19. Valores de nitratos (NO_3^-) durante el período de monitoreo.

(*) La concentración de nitratos (NO_3^-) es menor al LCM (Límite de cuantificación del método) del Laboratorio establecido (0.064 mg/L).

En la figura 19 se muestra el comportamiento de nitratos (NO_3^-) en los tres puntos de monitoreo a lo largo de los 6 meses de análisis, se puede apreciar que las concentraciones de nitratos (NO_3^-) en el PM1 (tanque de distribución) son variantes durante la época de análisis que fluctúan desde 0.064 mg/L (LCM) en el tercero, cuarto, quinto y sexto monitoreo hasta el valor de 19.17 mg/L en el primer monitoreo, al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* (PM2) las concentraciones de nitratos fluctúan desde 0.064 mg/L (LCM) en el tercer monitoreo hasta el valor de 24.96 mg/L en el cuarto monitoreo, paralelamente al aplicar un estímulo o tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) las concentraciones de nitratos fluctúan desde 0.064 mg/L (LCM) en el tercer monitoreo hasta el valor de 18.36 mg/L en el cuarto monitoreo.

La presencia de nitratos en aguas residuales lo explica el proceso de nitrificación que es la oxidación biológica del nitrógeno amoniacal, este proceso se realiza en dos etapas, en la primera el ion amonio se oxida a nitritos y en la segunda estos son oxidados a nitratos, las reacciones de transformación se realizan principalmente por dos géneros de bacterias autótrofas aerobias llamadas nitrificantes (bacterias nitrosomonas y nitrobacter), que utiliza el carbono inorgánico como fuente de carbono celular Knobelsdorf (2005):



En el proceso de nitrificación es muy importante la presencia del oxígeno disuelto, al respecto Metcalf y Eddy (1998) mencionan que, para que se produzca la nitrificación, es fundamental que exista concentraciones de oxígeno disuelto por encima de 1mg/L, Russell (2012) indica que se puede dar una conversión total de la reacción de nitrificación dependiendo de que mantenga un nivel mínimo de oxígeno de 2 mg/L y preferiblemente de 4 mg/L porque así se asegura una oxidación más completa.

Cabe mencionar que a partir del tercer monitoreo correspondiente al mes de mayo hasta el último monitoreo del mes de agosto, en el PM1, se evidencia valores menores al LCM (Límite de cuantificación del método) (0.064 mg/L) establecido por el laboratorio, en el PM2 a partir del cuarto monitoreo correspondiente al mes de junio se registró valores que fluctúan entre 3.41 y 24.96 mg/L y en el PM3 a partir del cuarto monitoreo correspondiente al mes de junio se registró valores que fluctúan entre 6.279 y 18.36 mg/L, este caso especial puede atribuirse a que, en el afluente del sistema de reactores en serie (efluente de la laguna facultativa) hay presencia del ion amonio los cuales son convertidos a nitratos durante el tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* al mejorarse las condiciones de oxigenación y establecerse condiciones óptimas para que se realice el proceso de nitrificación, pues el agua proveniente de la laguna facultativa en el mes de junio se registró un valor de 0.20 mgO₂/L y en el mes de julio se registró un valor de 0.46 mgO₂/L, lo que evidencia una deficiencia de oxígeno disuelto, corroborándose con Metcalf y Eddy (1998) quienes mencionan que, para que se produzca la nitrificación, es fundamental que exista concentraciones de oxígeno disuelto por encima de 1 mg/L.

Se efectuó el cálculo de los valores promedio de nitratos (NO₃⁻), obtenidos en el mes de marzo y abril, en cada punto de monitoreo establecido del sistema de reactores en serie, considerando de que en los dos primeros monitoreos se presentaron condiciones normales

permitiendo calcular los promedios, pues a partir del tercer monitoreo correspondiente al mes de mayo se presenta un caso especial que fue explicado en el párrafo anterior.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 29. Valores promedio de nitratos (NO_3^-).

PUNTO DE MONITOREO	PROMEDIO
PM 1: Tanque de distribución	18.02 mg/L
PM 2: Tratamiento con <i>Lemna sp</i>	11.36 mg/L
PM 3: Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>	11.88 mg/L

Haciendo uso de los valores promedios de nitratos (NO_3^-) se procedió calcular el porcentaje de remoción de nitratos (NO_3^-) para cada uno de los tratamientos con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*.

Tabla 30. Valores de remoción de nitratos (NO_3^-).

PUNTO DE MONITOREO	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NITRATOS (NO_3^-) (%)
PM 2: Tratamiento con <i>Lemna sp</i>	37
PM 3: Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>	34

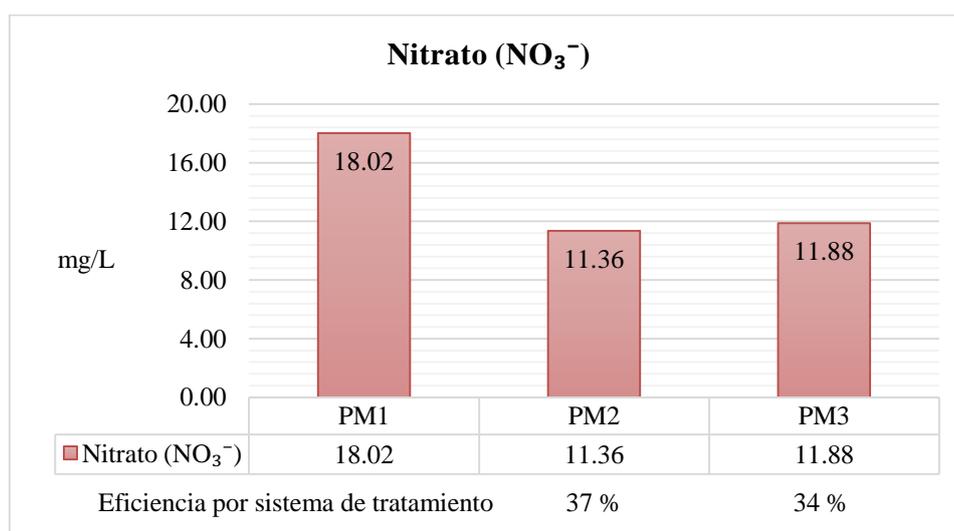


Figura 20. Valores promedio y eficiencias de remoción de nitratos (NO_3^-) por punto de monitoreo.

En la figura 20 se muestra los valores promedios de nitratos (NO_3^-) y porcentajes de remoción de nitratos (NO_3^-) logrados en cada sistema de reactores en serie, se aprecia que el tratamiento con *Lemna sp* alcanza un valor de 37% de remoción de nitratos (NO_3^-), mientras que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* alcanza un valor de 34% de remoción de nitratos (NO_3^-).

La eficiencia en la remoción de nitratos (NO_3^-) 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 (Cabrea y Ortiz 2005).

En consideración, para el parámetro de nitratos (NO_3^-) en el sistema de reactores en serie con flujo continuo para el tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*, bajo la determinación de las variables influyentes evaluadas y en conformidad a la literatura citada se puede afirmar que ocurrieron dos procesos inversos, el primer proceso evidenciado en los meses de marzo y abril en el que se favorece la remoción de nitratos (NO_3^-) y en el segundo proceso evidenciado en los meses de junio, julio y agosto en el que se favorece la nitrificación.

4.8 Fósforo total (P)

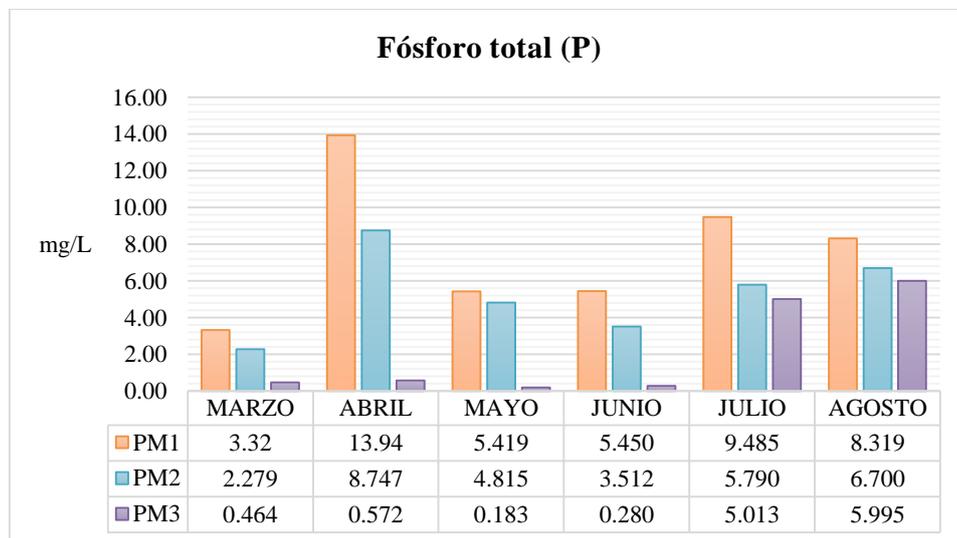


Figura 21. Valores de fósforo total (P) durante el período de monitoreo.

En la figura 21 se muestra el comportamiento del fósforo total (P) en los tres puntos de monitoreo a lo largo de los 6 meses de análisis, se puede apreciar que las concentraciones de fósforo total (P) en el PM1 (tanque de distribución) son variables durante la época de

análisis que fluctúan entre 3.32 mg/L en el primer monitoreo correspondiente al mes de marzo hasta el valor de 13.94 mg/L en el segundo monitoreo del mes de abril, al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* (PM2) se aprecia una disminución significativa de fósforo total (P) con un rango que fluctúa entre 2.279 mg/L en el primer monitoreo y 8.747 mg/L del segundo monitoreo correspondiente al mes de abril, paralelamente al aplicar un estímulo o tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) se aprecia una disminución significativa de fósforo total (P) en un rango que fluctúa entre 0.183 mg/L y 5.995 mg/L del sexto monitoreo correspondiente al mes de agosto.

El fósforo presente en las aguas residuales urbanas proviene principalmente de la materia fecal humana (50–65%), de los vertidos de residuos alimenticios y de los compuestos de fosfato inorgánico contenido en los detergentes y productos de limpieza (30-50%) Knobelsdorf (2005), el fósforo es un componente importante de los productos para la limpieza como detergentes, insecticidas, plaguicidas y fertilizantes, por lo que se encuentran en aguas residuales industriales y municipales principalmente como ortofosfato (PO_4^{3-}) (Hernández 2010).

En el agua residual el fósforo se encuentra en 3 formas: ortofosfatos solubles, polifosfatos inorgánicos y fosfatos orgánicos, el ortofosfato es la forma más fácilmente asimilable por organismos vivos y se utiliza como un parámetro de control en los procesos biológicos de eliminación de fósforo (Clostre 2007).

Se efectuó el cálculo de los valores promedios de fósforo total (P), en cada punto de monitoreo establecido para cada uno de los sistema de reactores en serie utilizando *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 31. Valores promedio de fósforo total (P).

PUNTO DE MONITOREO	PROMEDIO
PM 1: Tanque de distribución	7.66 mg/L
PM 2: Tratamiento con <i>Lemna sp</i>	5.31 mg/L
PM 3: Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>	2.08 mg/L

Haciendo uso de los valores promedios de fósforo total (P) obtenidos en cada punto de monitoreo establecidos del sistema de reactores en serie se procedió calcular el porcentaje

de remoción de fósforo total (P) para cada uno de los tratamientos con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*.

Tabla 32. Valores de remoción de fósforo total (P).

PUNTO DE MONITOREO	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE FÓSFORO TOTAL (P) (%)
PM 2: Tratamiento con <i>Lemna sp</i>	31
PM 3: Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>	73

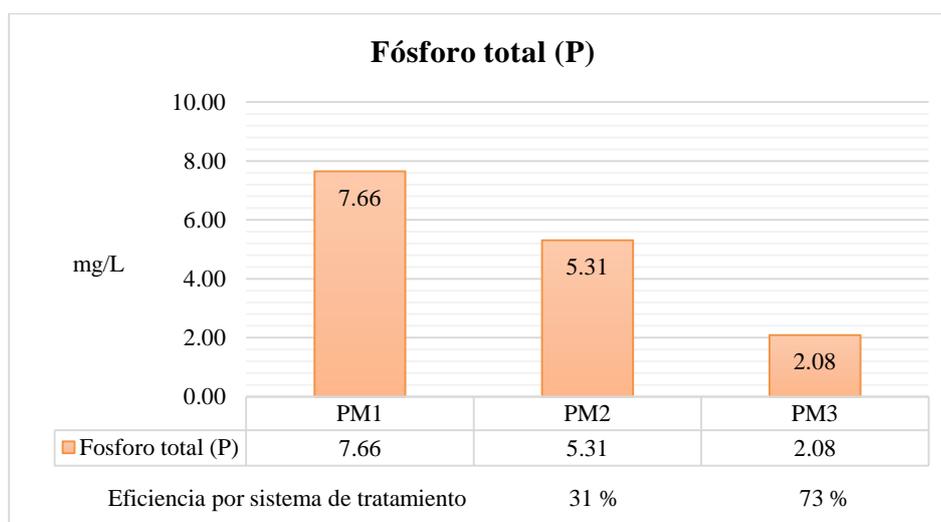


Figura 22. Valores promedio y eficiencias de remoción de fósforo total (P) por punto de monitoreo.

En la figura 22 se muestra los valores promedio de fósforo total (P) y los porcentajes de remoción de fósforo total (P) logrados en cada sistema de reactores en serie, donde se aprecia que el tratamiento con *Lemna sp* alcanza un valor del 31% de remoción, mientras que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* alcanza un valor del 73% de remoción de fósforo total (P) siendo esta la que presenta las mejores condiciones de remoción para este parámetro.

La eficiencia de remoción para este parámetro coincide con la alta capacidad de fitorremediación de estas macrófitas, Winkler (1998) manifiesta que el fósforo es asimilado en forma de fosfatos, esto apoyado por Pedraza citado por Gracia (2012) quien afirma que el requerimiento de fósforo en *Eichhornia* es entre 0.38 a 0.56 mgP/L y *Lemna sp* requiere de 1.37 mgP/L, además, se considera al fósforo como un elemento esencial para el crecimiento de estos organismos vivos, entonces, afianzándonos en la literatura se puede decir que la remoción de fósforo total (P) se debe estrictamente al proceso de

fitorremediación de estas macrófitas que absorben al fósforo para su crecimiento, siendo asimilado en forma de fosfatos y ortofosfatos (Clostre 2007).

El tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) presenta una mayor eficiencia en la remoción de fósforo total (P) en relación al tratamiento con *Lemna sp* (PM2), esto debido a las características físicas y fisiológicas de *Eichhornia crassipes* además de considerar los 5 días de tiempo de retención hidráulica, tiempo requerido para que los procesos de depuración se generen CENTA (2008).

4.9 Fosfatos (PO_4^{3-})

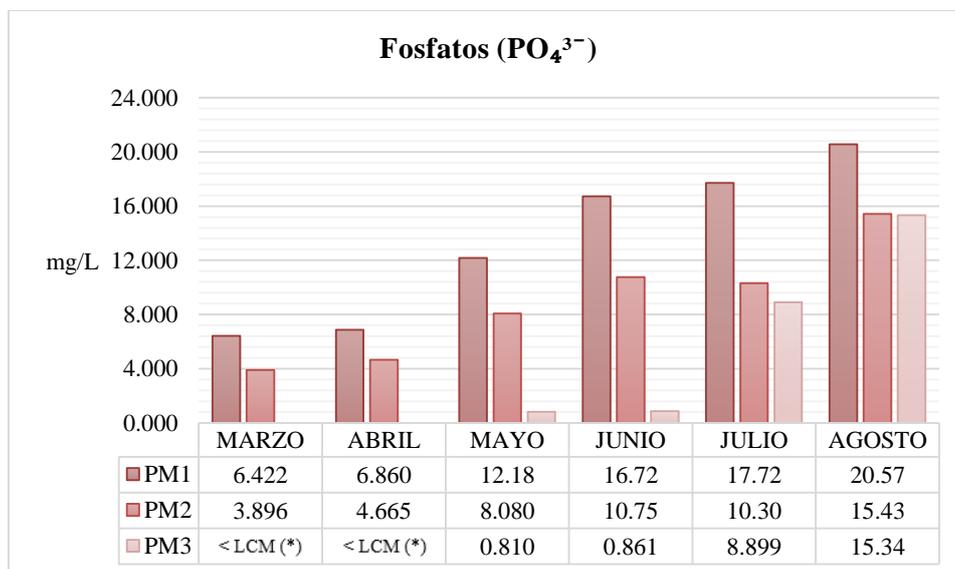


Figura 23. Valores de fosfatos (PO_4^{3-}) durante el período de monitoreo.

(*) La concentración de fosfatos (PO_4^{3-}) es menor al LCM (Límite de cuantificación del método) del Laboratorio establecido (0.032 mg/L).

En la figura 23 se muestra el comportamiento de los fosfatos (PO_4^{3-}) en los tres puntos de monitoreo a lo largo de los 6 meses de análisis, se puede apreciar que las concentraciones de fosfatos (PO_4^{3-}) en el PM1 (tanque de distribución) muestra una tendencia creciente durante el período de análisis en un rango que fluctúa desde 6.422 mg/L en el primer monitoreo del mes de marzo hasta el valor de 20.57 mg/L en el sexto monitoreo correspondiente al mes de agosto, al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* (PM2) se aprecia una disminución significativa de fosfatos (PO_4^{3-}) a un rango entre 3.896 mg/L y 15.43 mg/L, paralelamente al aplicar un estímulo o tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) se aprecia una disminución significativa de fosfatos (PO_4^{3-}) a un rango que fluctúa entre 0.032 mg/L (LCM) correspondiente al mes de marzo y abril y 15.34

mg/L en el último monitoreo correspondiente al mes de agosto; sin embargo, cabe resaltar que los monitoreos en el PM3 tratamiento con *Eichhornia crassipes* correspondiente al mes de marzo y abril se aprecia una remoción casi total de fosfatos llegando al LCM (0.032 mg/L).

El fosfato es un componente habitual de las aguas residuales, su presencia se debe a la materia orgánica, los detergentes hechos a base de fosfatos, residuos humanos, vertidos industriales DIGESA (2002), también es atribuido a heces humanas, la industria, las aguas servidas en general e incluso de la agricultura, las cantidades excesivas de fosfatos en aguas naturales llevan a desequilibrios ecológicos por la eutrofización y gran descenso de los niveles de oxígeno, por lo que se encuentra limitada su descarga a dichos cuerpos (Fernández et al., 2010)

Se efectuó el cálculo de los valores promedios de fosfatos (PO_4^{3-}), en cada punto de monitoreo establecido para cada uno de los sistema de reactores en serie utilizando *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 33. Valores promedio de fosfatos (PO_4^{3-}).

PUNTO DE MONITOREO	PROMEDIO
PM 1: Tanque de distribución	13.41 mg/L
PM 2: Tratamiento con <i>Lemna sp</i>	8.85 mg/L
PM 3: Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>	4.32 mg/L

Haciendo uso de los valores promedios de fosfatos (PO_4^{3-}) obtenidos en cada punto de monitoreo establecidos del sistema de reactores en serie se procedió calcular el porcentaje de remoción de fosfatos (PO_4^{3-}) para cada uno de los tratamientos con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*.

Tabla 34. Valores de remoción de fosfatos (PO_4^{3-}).

PUNTO DE MONITOREO	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE FOSFATOS (PO_4^{3-}) (%)
PM 2: Tratamiento con <i>Lemna sp</i>	34
PM 3: Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>	68

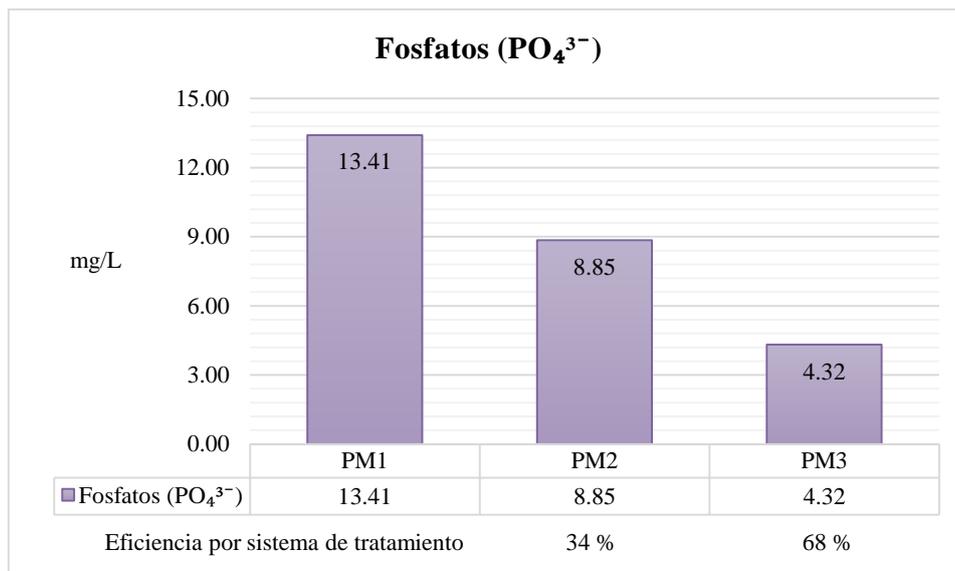


Figura 24. Valores promedio y eficiencias de remoción de fosfatos (PO_4^{3-}) por punto de monitoreo.

En la figura 24 se muestra los valores promedio de fosfatos (PO_4^{3-}) y los porcentajes de remoción de fosfatos (PO_4^{3-}) logrados en cada sistema de reactores en serie, se aprecia que el tratamiento con *Lemna sp* alcanza un valor del 34% de remoción, mientras que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* alcanza un valor del 68% de remoción de fosfatos (PO_4^{3-}) siendo está más eficiente para la remoción de este parámetro.

El ambiente ligeramente alcalino presente en los sistemas de tratamiento corroborados con los resultados de pH obtenidos, favorece la eliminación de los fosfatos, dado que a pH alcalino estos precipitan; el fósforo que se encuentra en forma particulada, sedimenta por procesos de adsorción y coagulación; parte del fósforo presente como ortofosfato soluble, es utilizado por los microorganismos acuáticos, muchos de los cuales almacenan en su interior el exceso del mismo en forma de polifosfatos a modo de reserva; una fracción del fósforo que, formando parte de la materia particulada, se va depositando en el fondo de las lagunas, puede volver a solubilizarse mediante procesos anaerobios, incorporándose de nuevo a la masa líquida (CENTA 2008).

La remoción de fosfatos también es debido a que la liberación y captura de fosfatos ocurren simultáneamente (Gerber et al., 1987), en presencia de nitratos, por la existencia de bacterias nitrificantes y removedoras de fosfatos, que tienen capacidad de usar nitrato y fosfatos como un aceptor y donante de electrones respectivamente (Mino et al., 1998).

CAPÍTULO V

V. CONCLUSIONES

- La eficiencia en la remoción de nutrientes al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* (PM2), en un sistema de reactores en serie con flujo continuo para el parámetro de nitrógeno total (N) es de 52%, para el parámetro de nitratos (NO_3^-) es de 37%, para el parámetro de fósforo total (P) es de 31% y para el parámetro de fosfatos (PO_4^{3-}) es de 34%; paralelamente al aplicar un estímulo o tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3), en un sistema de reactores en serie con flujo continuo para el parámetro de nitrógeno total (N) es de 61%, para el parámetro de nitratos (NO_3^-) es de 34%, para el parámetro de fósforo total (P) es de 73% y para el parámetro de fosfatos (PO_4^{3-}) es de 68%, utilizando el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín; presentando las tasas más altas de remoción de nutrientes al aplicar un tratamiento con *Eichhornia crassipes*.
- El caudal (Q) utilizado para cada sistema de reactores en serie con flujo continuo es de 0.030 L/min, lográndose cumplir con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 5 días en cada sistema de tratamiento con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*, tiempo requerido para que los procesos de depuración se generen (CENTA 2008).
- El pH en el tanque de distribución (PM1) registró un valor promedio de 7.66, en el tratamiento con *Lemna sp* (PM2) se registró un valor promedio de 8.08 y en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) se registró un valor promedio de 7.25; siendo valores que se encuentran dentro de los rangos normales, entre 6.5 y 8.5 según García (2012), considerándose un agua con un pH ligeramente alcalino.
- La temperatura (T°) en el tanque de distribución (PM1) registró un valor promedio de 19.02 $^\circ\text{C}$, en el tratamiento con *Lemna sp* (PM2) se registró un valor promedio de 18.74 $^\circ\text{C}$ y en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) se registró un valor promedio de 18.63 $^\circ\text{C}$; mostrándose una ligera variación de la temperatura encontrándose dentro del rango aceptable para el desarrollo de estas especies.
- El oxígeno disuelto (OD) en el tanque de distribución (PM1) registró un valor promedio de 1.48 mgO_2/L , al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* (PM2) se registró un incremento a 2.51 mgO_2/L representando un incremento de 70%, paralelamente al aplicar un estímulo o tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) se registró un incremento a 3.06 mgO_2/L representando un incremento de 107%; mejorando significativamente las condiciones de oxigenación en ambos sistemas de tratamiento favoreciendo la remoción de nutrientes.

CAPÍTULO VI

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, A.; Betancur, F.M.; Gómez, G; Salazar, J.P. y Hernández, M.L. 2010. Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. (En línea). Consultado 30 ago. 2017. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3638734.pdf>

Armstrong, W; Armstrong, J y Beckett, P. 1990. Measurement and modelling of oxygen release from roots of *Phragmites australis*. In constructed wetlands in water pollution control, pág. 41-51. (En línea). Consultado 20 sep. 2017. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=drobBQAAQBAJ&pg=PA41&lpg=PA41&dq=Measurement+and+modelling+of+oxygen+release+from+roots+of+phragmites+australis&source=bl&ots=Ocnzg2vebl&sig=rr3N3sHy2FhO73BrenEAXLruRIA&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjx5NGyjbTWAhXE6yYKHU1AC2sQ6AEIOzAB#v=onepage&q=Measurement%20and%20modelling%20of%20oxygen%20release%20from%20roots%20of%20phragmites%20australis&f=false>

Brix, H y Schierup H. 1989. The use of aquatic macrophytes in water-pollution control. (En línea). Consultado 24 sep. 2017. Disponible en: http://mit.biology.au.dk/~biohbn/hansbrix/pdf_files/Ambio_1989_100-107.pdf

Cabrera, A. y Ortiz, E. 2005. “Propuesta de diseño de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales domesticas para la parroquia San Pablo de Lago”. Tesis para Optar el Grado de Ingeniero en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo. Ibarra, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Ambientales. Pág. 116.

Caicedo, J. 2006. Diseño, construcción y arranque de un reactor u.a.s.b. piloto para el tratamiento de lixiviados. (En línea). Consultado 27 ago. 2017. disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1915/1/franciscojaviercaicedomessa.2006.pdf>

CENTA (Centro de las nuevas tecnologías del agua de sevilla). 2008. Manual de depuración de aguas residuales. (En línea). Consultado 30 ago. 2017. Disponible en: <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>

Clostre, G. 2007. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio del medio de cultivo en el rendimiento y valor nutritivo de *Lemna gibba* L. (Lemnaceae). Rev. Perú biol. . (En línea). Consultado 09 sep. 2017. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v13n3/v13n03a15.pdf>

DIGESA (Dirección general de salud ambiental). 2002. Abastecimiento de poblaciones y uso recreacional – parámetros organolépticos. (En línea). Consultado 25 ago. 2017. Disponible en: http://digesa.sld.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf

DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental). 2006. Muestreo de efluentes y cuerpos receptores en el marco de la autorización sanitaria de vertimiento. (En línea). Consultado 30 ago. 2017. Disponible en: http://www.digesa.minsa.gob.pe/pw_camisea/2006/informe_protocolo_monitoreo.pdf

EPA (Agencia de protección ambiental). 1996. Guía del ciudadano: Medidas fitocorrectivas. (En línea). Consultado 30 ago. 2017. Disponible en: <https://clu.in.org/download/remed/spanphyt.pdf>

Fernández, J; Beascochea, E; Muñoz, J y Fernández, M.D. 2010. Manual de Fitodepuración. Filtro de macrófitas en flotación. (En línea). Consultado 09 sep. 2017. Disponible en: <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%201%20a%202.pdf>

FONAM (Fondo Nacional del Ambiente, PE). 2010. Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú. (En línea). Consultado 31 ago. 2017. Disponible en: http://www.fonamperu.org/general/agua/documentos/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf

García, L. 1999. Teoría de la medición de caudales y volúmenes de agua e instrumental necesario disponible en el mercado. (En línea). Consultado 28 ago. 2017. Disponible en: http://www.igme.es/igme/publica/libros2_TH/art2/pdf/teoria.pdf

García, M. 2012. “Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas”. Tesis para Optar el Título Profesional. Lima, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental. Pág. 216.

Gerber, A; Mostert, E; Winter, C y Villiers, R. 1987. Interactions between phosphate, nitrate and organics substrate in biological nutrient removal processes. *Water Science and Technology*. Vol 19.

Gersberg, M; Elkins, V y Goldman, R. 1986. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. (En línea). Consultado 20 sep. 2017. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0043135486900850>

Hanna Instrument Inc. 2012. Manual de instrucciones HI 83200 Fotómetro Multiparámetro para sobremesa de laboratorio. Romania. Highland Industrial Park. 128 pág.

Henry-Silva, G; Camargo, A y Pezzato, M. 2008. Growth of free-floating aquatic macrophytes in different concentrations of nutrients. *Hydrobiologia*. 1 ed. Brazil. Editorial Springer Netherlands. 153 pág.

Hernández, B. 2010. Remoción de ortofosfato y amonio de agua residual municipal por tres cultivos libres e inmovilizados de microalgas. (En línea). Consultado 24 sep. 2017. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/311952459/UAMItesis#>

Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. 2008. Metodología de la investigación. 4 ed. México. Editorial McGraw-Hill. 850 pág.

Knobelsdorf, M. 2005. Eliminación biológica de nutrientes en un ARU de baja carga orgánica mediante el proceso VIP. (En línea). Consultado 23 sep. 2017. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93224>

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.

Márquez, M. y Martínez, S.A. 2011. Reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA's o UASB). (En línea). Consultado 31 ago. 2017. Disponible en: <http://chita.aragon.unam.mx/papime100310/documentos/RAFA.pdf>

Martelo, J. y Lara, J.A. 2012. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado de arte. (En línea). Consultado 30 ago. 2017. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/viewFile/946/850>

Mentaberry, A. 2011. Fitorremediación. (En línea). Consultado 28 ago. 2017. Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM_fitorremediacion_argentina_25620.pdf

Metcalf y Eddy. 1998. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tercera edición. Editor Antonio García Brage. Impreso en España. Pág. 698

Metcalf y Eddy. 2004. Wastewater engineering, treatment and reuse. (En línea). Consultado 06 sep. 2017. Disponible en: http://www.mumbaidp24seven.in/reference/Ch_1WastewaterEngineering4thed_byMetcalfandEddy.pdf

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE); ANA (Autoridad nacional del Agua, PE). 2011. Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos del ANA – DGCRH. (En línea). Consultado 05 sep. 2017. Disponible en: <http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm.../2011-PROTOCOLO-ANAPeru.pdf>.

Mino, T; Van Loosdrecht, M y Heijnen, J. 1998. Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process. Water Research. Vol.32. N° 11.

Moret, I. 2014. Optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrófitas. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

MPC (Municipalidad Provincial de Celendín, PE). SEMACEL (Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, PE). 2015. Planta de tratamiento de aguas residuales - Celendín. Ed. corr. Celendín, PE. s.n.t. 60 p.

MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, PE). 2006. Norma OS 090. Plantas de tratamiento de aguas residuales. (En línea). Consultado 05 sep. 2017. Disponible en:

http://www.construccion.org.pe/normas/rne2009/rne2006/files/titulo2/03_OS/RNE2006_OS_090.pdf.

Nahlik, A y Mitsch, W. 2006. Tropical treatment wetlands dominated by freefloating macrophytes for water quality improvement in Costa Rica. Ecological. 1 ed. USA. Editorial Elsevier. 257 pág.

Olivos, O.E. 2010. Características de las aguas residuales. (En línea). Consultado 27 ago. 2017. Disponible en: <http://www.uap.edu.pe/intranet/fac/material/24/20102BT240224E10240108011/20102BT240224E1024010801117880.pdf>

OMS (Organización mundial de la salud). 2006. Guías para la calidad del agua potable. 3 ed. Consultado 02 sep. 2017. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf

Peña, C.E.; Carter, D.E. y Ayala, F. 2001. Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. (En línea). Consultado 05 sep. 2017. Disponible en: <http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/proteccioncivil/normatividad/ToxicologiaAmbientalEvaluacionRiesgosRestauracionAmbiental.pdf>

Pérez, E. y Camacho, L. 2011. Tecnología para el tratamiento de aguas servidas. (En línea). Consultado 23 ago. 2017. Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/29490/1/PerezAlarconyCamachoAlcala.pdf>

Peterson, S. y Teal, J. 1996. The role of plants in ecologically engineered wastewater treatment systems. Ecological Engineering. 1 ed. USA. Editorial Elsevier. 225 pág.

Rodier, J. 1986. Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales y agua de mar. 1 ed. España. Ediciones Omega.

Rodríguez, C.; Díaz, M.; Guerra, L. y Hernández, M. s.f. Acción Depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las Aguas Residuales. (En línea). Consultado 25 de ago. 2017. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/info/aguas.pdf>

Romero, J. 2004. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño. 3 ed. Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1248 p.

Romero, J. 2009. Calidad del agua. 3 ed. Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 484 p.

Romero, M.; Colín, A.; Sánchez, E. y Ortiz, L. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. (En línea). Consultado 21 ago. 2017. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37012012004>

Russell, D. 2012. Tratamiento de aguas residuales. Un enfoque práctico. Editorial Reverté .S.A. Impreso en España. Pág. 171

Saavedra, B. 2017. Aplicación de macrófitas en flotación como ayuda en el tratamiento de aguas residuales en la laguna UDEP (Tesis de pregrado no publicado en Ingeniería Industrial y de Sistemas). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Piura, Perú.

Torres, V.J. 2010. El filtro de macrófitas en flotación para la depuración de las aguas residuales y la regeneración de ríos, lagos. (En línea). Consultado 08 sep. 2017. Disponible en:

https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiM9-elnJfWAhXJbiYKHaV_D0wQFggI0MAA&url=http%3A%2F%2Fwww.coepsa.org%2Ftemas%2520ambientales%2F12_DOCUMENTO_Filtro-de-macrofitas-en-flotacion.doc&usq=AFQjCNFyOc3V18L-EfDk6yI1pqkRGzXA7A

Valderrama, T.; Campos, C.; Velandia, S. y Zapata, N. 2014. Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*E. crassipes*, *Lemna sp* y *L. Laevigatum*) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en las aguas residuales domésticas. (En línea). Consultado 04 sep. 2017. Disponible en: http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-28_10-59-33111050.pdf

Valero, L. 2006. “Aplicación tecnológica de las macrófitas a la depuración de aguas residuales con la ayuda de microorganismos”. Monografía para Optar el Título de Especialista en Ingeniería Ambiental. Buncaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisico-Químicas. Colombia. Pág. 70.

Winkler, M. 1998. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Limusa SA (Ed). México D.F.

CAPÍTULO VII

VII. ANEXOS

Anexo 1. Registro de datos de pH.

Anexo 2. Registro de datos de temperatura (T°).

Anexo 3. Solicitud de permiso para ejecución de tesis de investigación.

Anexo 4. Autorización para ejecución de tesis.

Anexo 5. Registro de informes de ensayo de laboratorio.

Anexo 6. Panel fotográfico.

ANEXO 1

Tabla 13. Monitoreo del pH mes de marzo.

N°	FECHA	HORA	pH		
			PM1	PM2	PM3
1	02/03/2017	09:00 a.m.	7.3	7.3	7
2	02/03/2017	01:00 p.m.	7.3	7.5	7.2
3	02/03/2017	05:00 p.m.	7.2	7.5	7.1
4	12/03/2017	09:00 a.m.	7.3	7.5	7.3
5	12/03/2017	01:00 p.m.	7.3	7.5	7.3
6	12/03/2017	05:00 p.m.	7.3	7.5	7.3
7	16/03/2017	09:00 a.m.	7.3	7.8	7.6
8	16/03/2017	01:00 p.m.	7.2	8.1	7.9
9	16/03/2017	05:00 p.m.	7.3	8.1	7.7
10	22/03/2017	09:00 a.m.	7.5	8.5	8.2
11	22/03/2017	01:00 p.m.	7.4	8	7.8
12	22/03/2017	05:00 p.m.	7.4	8.1	8.1
13	29/03/2017	09:00 a.m.	7.9	8.5	7.6
14	29/03/2017	01:00 p.m.	7.6	8.5	8.3
15	29/03/2017	05:00 p.m.	7.2	8.1	7.2

Tabla 14. Monitoreo del pH mes de abril.

N°	FECHA	HORA	pH		
			PM1	PM2	PM3
16	06/04/2017	09:00 a.m.	7.5	8.5	7.1
17	06/04/2017	01:00 p.m.	7.6	8.5	7.4
18	06/04/2017	05:00 p.m.	7.4	8.1	7.2
19	12/04/2017	09:00 a.m.	7.6	8.5	7.3
20	12/04/2017	01:00 p.m.	7.5	8.4	7.2
21	12/04/2017	05:00 p.m.	7.3	8.2	7
22	19/04/2017	09:00 a.m.	7.4	8.5	7
23	19/04/2017	01:00 p.m.	7.8	8.5	7.1
24	19/04/2017	05:00 p.m.	7.5	8.2	7

25	27/04/2017	09:00 a.m.	7.7	8.5	6.9
26	27/04/2017	01:00 p.m.	7.5	8.3	7.3
27	27/04/2017	05:00 p.m.	7.4	7.6	6.7

Tabla 15. Monitoreo del pH mes de mayo.

N°	FECHA	HORA	pH		
			PM1	PM2	PM3
28	04/05/2017	09:00 a.m.	8	7.6	7
29	04/05/2017	01:00 p.m.	7.8	7.9	6.9
30	04/05/2017	05:00 p.m.	8.1	7.5	6.9
31	10/05/2017	09:00 a.m.	7.6	8	7
32	10/05/2017	01:00 p.m.	7.6	8.2	7.1
33	10/05/2017	05:00 p.m.	7.4	8	7
34	17/05/2017	09:00 a.m.	7.4	7.7	7.5
35	17/05/2017	01:00 p.m.	7.2	7.8	7.3
36	17/05/2017	05:00 p.m.	7.1	7.5	7
37	24/05/2017	09:00 a.m.	7.7	8	7
38	24/05/2017	01:00 p.m.	8.1	8.5	6.9
39	24/05/2017	05:00 p.m.	7.5	7.9	7
40	31/05/2017	09:00 a.m.	7.4	8	7.5
41	31/05/2017	01:00 p.m.	7.5	7.9	7
42	31/05/2017	05:00 p.m.	7.3	8	6.9

Tabla 16. Monitoreo del pH mes de junio.

N°	FECHA	HORA	pH		
			PM1	PM2	PM3
43	07/06/2017	09:00 a.m.	7.6	7.8	7
44	07/06/2017	01:00 p.m.	7.4	8.1	7.8
45	07/06/2017	05:00 p.m.	7.3	7.9	7.1
46	14/06/2017	09:00 a.m.	7.6	8	7
47	14/06/2017	01:00 p.m.	7.4	7.9	7.1

48	14/06/2017	05:00 p.m.	7	8	7
49	21/06/2017	09:00 a.m.	7.5	8.1	7.1
50	21/06/2017	01:00 p.m.	8.2	8.3	7
51	21/06/2017	05:00 p.m.	8.3	8.1	7.1
52	28/06/2017	09:00 a.m.	7.6	8.1	7.2
53	28/06/2017	01:00 p.m.	7.5	8.2	7.2
54	28/06/2017	05:00 p.m.	7.4	8.3	7.1

Tabla 17. Monitoreo del pH mes de julio.

N°	FECHA	HORA	pH		
			PM1	PM2	PM3
55	05/07/2017	09:00 a.m.	7.7	8.1	7.5
56	05/07/2017	01:00 p.m.	7.4	8.3	7.2
57	05/07/2017	05:00 p.m.	7.6	8.4	7.3
58	12/07/2017	09:00 a.m.	7.8	8.1	7.4
59	12/07/2017	01:00 p.m.	8.3	8.2	7.1
60	12/07/2017	05:00 p.m.	7.7	8.4	7.3
61	19/07/2017	09:00 a.m.	7.9	8.1	7.3
62	19/07/2017	01:00 p.m.	8.5	8.4	7.1
63	19/07/2017	05:00 p.m.	7.8	8.1	7.2
64	26/07/2017	09:00 a.m.	8	7.8	7.1
65	26/07/2017	01:00 p.m.	8.8	8.3	7.1
66	26/07/2017	05:00 p.m.	7.9	8	7.1

Tabla 18. Monitoreo del pH mes de agosto.

N°	FECHA	HORA	pH		
			PM1	PM2	PM3
67	02/08/2017	09:00 a.m.	8	8.1	7.2
68	02/08/2017	01:00 p.m.	8	8.1	7.3
69	02/08/2017	05:00 p.m.	7.7	8.1	7.3
70	09/08/2017	09:00 a.m.	7.8	8.2	7.4

71	09/08/2017	01:00 p.m.	8.2	8.4	7.3
72	09/08/2017	05:00 p.m.	7.8	8.3	7.4
73	16/08/2017	09:00 a.m.	7.9	8.1	7.3
74	16/08/2017	01:00 p.m.	8.3	8.4	7.4
75	16/08/2017	05:00 p.m.	7.9	8.1	7.1
76	23/08/2017	09:00 a.m.	8.2	8.5	7.4
77	23/08/2017	01:00 p.m.	8.1	7.5	7.5
78	23/08/2017	05:00 p.m.	7.8	8.2	7.3
79	31/08/2017	09:00 a.m.	7.8	8.2	7.2
80	31/08/2017	01:00 p.m.	8.2	8.4	7.4
81	31/08/2017	05:00 p.m.	7.9	8.1	7.3

ANEXO 2

Tabla 20. Monitoreo de temperatura mes de marzo.

N°	FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)		
			PM1	PM2	PM3
1	02/03/2017	09:00 a.m.	18	18.2	17.8
2	02/03/2017	01:00 p.m.	20.2	19.5	18
3	02/03/2017	05:00 p.m.	19	19	18
4	12/03/2017	09:00 a.m.	18.5	18	17.5
5	12/03/2017	01:00 p.m.	20.5	20	19.5
6	12/03/2017	05:00 p.m.	18.5	18	18
7	16/03/2017	09:00 a.m.	19	17	17
8	16/03/2017	01:00 p.m.	21.5	21.5	21.1
9	16/03/2017	05:00 p.m.	19.1	19	18.8
10	22/03/2017	09:00 a.m.	18	18	17.7
11	22/03/2017	01:00 p.m.	21	21.5	21.2
12	22/03/2017	05:00 p.m.	20	18.5	18
13	29/03/2017	09:00 a.m.	15.8	16.2	16.2
14	29/03/2017	01:00 p.m.	19.9	20	20
15	29/03/2017	05:00 p.m.	18	16.5	17

Tabla 21. Monitoreo de temperatura mes de abril.

N°	FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)		
			PM1	PM2	PM3
16	06/04/2017	09:00 a.m.	18	16	16
17	06/04/2017	01:00 p.m.	19.9	19.9	19
18	06/04/2017	05:00 p.m.	18.4	17	17
19	12/04/2017	09:00 a.m.	19	17	18
20	12/04/2017	01:00 p.m.	20	21	21.5
21	12/04/2017	05:00 p.m.	18.9	18	18.2
22	19/04/2017	09:00 a.m.	19	16.9	17
23	19/04/2017	01:00 p.m.	21	20.5	20
24	19/04/2017	05:00 p.m.	18.5	17.9	18
25	27/04/2017	09:00 a.m.	16.5	18	18.1

26	27/04/2017	01:00 p.m.	19.5	19	19.1
27	27/04/2017	05:00 p.m.	19	19	18.9

Tabla 22. Monitoreo de temperatura mes de mayo.

N°	FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)		
			PM1	PM2	PM3
28	04/05/2017	09:00 a.m.	14	16.6	18.5
29	04/05/2017	01:00 p.m.	22	21	21
30	04/05/2017	05:00 p.m.	18	19.5	20
31	10/05/2017	09:00 a.m.	18.9	18.2	18.2
32	10/05/2017	01:00 p.m.	21	21	21
33	10/05/2017	05:00 p.m.	19.2	19	19
34	17/05/2017	09:00 a.m.	18.9	18.5	18.4
35	17/05/2017	01:00 p.m.	22	21	21.2
36	17/05/2017	05:00 p.m.	19.2	20	20
37	24/05/2017	09:00 a.m.	18.3	17	17.2
38	24/05/2017	01:00 p.m.	20.2	21.5	20.5
39	24/05/2017	05:00 p.m.	19	18.2	18.5
40	31/05/2017	09:00 a.m.	18.5	18	18.2
41	31/05/2017	01:00 p.m.	22	21	21
41	31/05/2017	05:00 p.m.	19	18.5	20

Tabla 23. Monitoreo de temperatura mes de junio.

N°	FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)		
			PM1	PM2	PM3
43	07/06/2017	09:00 a.m.	18.4	18	18.4
44	07/06/2017	01:00 p.m.	21.8	20.5	20
45	07/06/2017	05:00 p.m.	19.2	19	18.8
46	14/06/2017	09:00 a.m.	18.3	17.4	17.5
47	14/06/2017	01:00 p.m.	22	19.8	21
48	14/06/2017	05:00 p.m.	19	18.8	19
49	21/06/2017	09:00 a.m.	18.5	18.2	18

50	21/06/2017	01:00 p.m.	20.5	20.5	19
51	21/06/2017	05:00 p.m.	19.4	19	18.4
52	28/06/2017	09:00 a.m.	16	15	16
53	28/06/2017	01:00 p.m.	18.9	17	17
54	28/06/2017	05:00 p.m.	17.1	17	17

Tabla 24. Monitoreo de temperatura mes de julio.

N°	FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)		
			PM1	PM2	PM3
55	05/07/2017	09:00 a.m.	15.5	15	16
56	05/07/2017	01:00 p.m.	22.8	21.5	19.8
57	05/07/2017	05:00 p.m.	21	21	19.5
58	12/07/2017	09:00 a.m.	15.8	17	17.5
59	12/07/2017	01:00 p.m.	22.8	22	21.8
60	12/07/2017	05:00 p.m.	20	20.2	21.5
61	19/07/2017	09:00 a.m.	15.5	16.5	17
62	19/07/2017	01:00 p.m.	22.9	21.5	20
63	19/07/2017	05:00 p.m.	19	20.5	22
64	26/07/2017	09:00 a.m.	13.8	13	13.2
65	26/07/2017	01:00 p.m.	22.5	22	22
66	26/07/2017	05:00 p.m.	20	19	17

Tabla 25. Monitoreo de temperatura mes de agosto.

N°	FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)		
			PM1	PM2	PM3
67	02/08/2017	09:00 a.m.	15.5	16.8	17.5
68	02/08/2017	01:00 p.m.	20	18	18
69	02/08/2017	05:00 p.m.	18.2	19	17
70	09/08/2017	09:00 a.m.	18.5	18	17.3
71	09/08/2017	01:00 p.m.	18	19	18
72	09/08/2017	05:00 p.m.	18.2	19	17.5

73	16/08/2017	09:00 a.m.	18.6	18.5	17
74	16/08/2017	01:00 p.m.	18.5	19.5	18.5
75	16/08/2017	05:00 p.m.	17.5	19	19.8
76	23/08/2017	09:00 a.m.	19	18.2	18
77	23/08/2017	01:00 p.m.	19.8	20	20
78	23/08/2017	05:00 p.m.	18.5	19	19
79	31/08/2017	09:00 a.m.	16	16	16.8
80	31/08/2017	01:00 p.m.	20	19.5	19.5
81	31/08/2017	05:00 p.m.	18.5	19	18.8

ANEXO 3

Figura 8. Solicitud de permiso para ejecución de tesis de investigación.

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

SOLICITO: Permiso para ejecución de tesis de investigación.

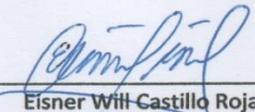
Ing. Dante Lozada Mego
Director Ejecutivo – PROREGION – GORECAJ.

Yo, Eisner Will Castillo Rojas identificado con D.N.I. N° 48252430 con domicilio legal en el Jr. San Martín # 553 de la provincia de Celendín, en calidad de egresado de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca, ante usted, con el debido respeto me presento y expongo:

Que, teniendo resolución de aprobación del proyecto de tesis denominado: "EFICIENCIA DE Lemna sp Y Eichhornia crassipes, EN LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CELENDÍN", es que solicito ante su despacho me brinde una autorización para la ejecución de mi tesis en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) de la ciudad de Celendín, requiriendo 12 m² para la instalación de una caseta y un sistema de reactores en serie instalados sobre la superficie del suelo (no se realizara ningún tipo de excavaciones en el suelo), es por ello que acudo a su despacho para ser atendido.

Adjunto:
Copia de resolución de aprobación de proyecto de tesis.
Copia de autorización de emitida por SEMACEL – Celendín.

POR LO EXPUESTO:
Solicito a Usted acceder a mi petición por ser de justicia.


Eisner Will Castillo Rojas
TESISTA



ANEXO 4

Figura 9. Autorización para ejecución de tesis.

 **GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA** 
PROGRAMAS REGIONALES
DIRECCIÓN EJECUTIVA

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Cajamarca, 20 de febrero 2017

CARTA N°45 -2017-GR.CAJ/PROREGIÓN/DE

Señora:
Ing. Giovana Ernestina Chávez Horna
Escuela de Ingeniería Ambiental
Universidad Nacional de Cajamarca

Presente.-

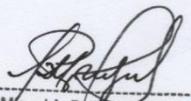
ASUNTO : Autorización para Ejecución de Tesis.

REFERENCIA : Informe Técnico N° 034-2017-GR.CAJ/PROREGION/UI/SDRVR
Informe Técnico N° 017-2017-GR.CAJ/PROREGION/UI/SDRVR

Me dirijo a usted para saludarla cordialmente y a la vez, en relación a los documentos de la referencia, concernientes al Proyecto de Tesis *"EFICIENCIA DE Lemna sp Y Eichhornia crassipes, EN LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CELENDÍN"*; esta Unidad Ejecutora **AUTORIZA EL PERMISO** para la ejecución de la Tesis; según cronograma que forma parte del expediente de autorización; así mismo se precisa que deberá hacer llegar un informe con sus resultados y conclusiones.

Sin más sobre el particular, aprovecho la oportunidad para expresarles mi consideración.

Atentamente,


Mg. Miguel A. Balladares Purizaga
DIRECTOR EJECUTIVO
PROREGIÓN
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

C.c.
-Archivo
-U. Ingeniería
-U. Personal

Jr. La Justicia N° 172 – H-20 Urb. La Alameda - Cajamarca Telefax. 076-637259

ANEXO 5



INFORME DE ENSAYO N° IE 0317170

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS		
Código Cliente	PM1	PM2	PM3		
Código Laboratorio	0317170-01	0317170-02	0317170-03		
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL		
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica		
Localización de la Muestra	Tanque de Distribución	Tratamiento con Lemna sp.	Tratamiento con Eichhornia crassipes		
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados		
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	19.17	12.94	13.89
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	6.422	3.896	<LCM
Fosforo total (P)	mg/L	0.020	3.320	2.279	0.464
(*) Nitrógeno total	mg/L	0.014	17.17	8.760	3.430
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	1.14	14.15	5.92

OBSERVACIONES

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Nitrato, Sulfato, Fosfato)	mg/L	EPA 300.1, Rev.1, 1997. Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography.
Metales por ICP-OES (Fósforo (P))	mg/L	EPA 200.7, Rev 5.0.2001. Determination of Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
Nitrogeno total	mg N/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 22 nd Ed. 2012. Nitrogen, Persulfate Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 nd Ed. 2012. Oxygen (Dissolved), Azide Modification.

NOTAS FINALES
 ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
 ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
 ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
 ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
 ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
 ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
 ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 07 de Abril de 2017.

 Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04 Página: 3 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0517219

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario: EISNER WILL CASTILLO ROJAS
N° RUC/DNI: 48252430
Dirección: Jr. San Martín 553
Persona de contacto: Celendín/ Cajamarca
Ciudad/Provincia/Distrito: Celendín/ Cajamarca

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo: 02.05.17 Hora: 09:30 a 09:35
Tipo de Muestreo: Puntual
Número de Muestra: 03 Muestras N° Frascos x muestra: 02
Ensayos solicitados: Fisicoquímicos
Breve descripción del estado de la muestra: Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.
Responsable de la toma de muestra: Las muestras fueron tomadas por el personal usuario

(*) DATOS DE CAMPO

Parámetro de Campo	Unidad	Fecha y Hora
(*) Temperatura (T)	°C	
(*) Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	
(*) Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	
(*) Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	
(*) Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	

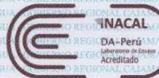
Nota: No se realizaron parámetro de campo.

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato: SC - 193 **Cadena de Custodia:** CC - 219 - 17
N° Orden de Trabajo: 0517219
Fecha y Hora de Recepción: 02.05.17 12:10 **Inicio de Ensayo:** 02.05.17 12:35
Fecha Término de Ensayo: 09.05.17 10:15 **Reporte Resultado:** 10.05.17 08:40
Condiciones Ambientales de Trabajo:
Temperatura ambiental (°C): 21 **Humedad Relativa (%):** 52
Presión atmosférica (mmHg): 554

Cajamarca, 10 de Mayo de 2017.

Cód: RT-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04



INFORME DE ENSAYO N° IE 0517219

ENSAYOS		FISICOQUÍMICOS		
Código Cliente	PM1	PM2	PM3	
Código Laboratorio	0517219-01	0517219-02	0517219-03	
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica	
Localización de la Muestra	Tanque de Distribución	Tratamiento con Lemna sp	Tratamiento con Eichhornia crassipes	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados	
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.064	16.86	9.77
Fosfato (PO ₄ ⁻³)	mg/L	0.032	6.860	4.665
Fosforo total (P)	mg/L	0.020	13.94	8.747
(*) Nitrógeno total	mg/L	0.014	23.51	6.61
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	1.06	2.04

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Nitrito, Sulfato, Fosfato)	mg/L	EPA 300.1. Rev1. 1997. Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography.
Metalos por ICP-OES (Fósforo (P))	mg/L	EPA 200.7. Rev 5 0 2001. Determination of Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry.
Nitrogeno total	mg N/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C. 22 nd Ed. 2012. Nitrogen. Persulfate Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C. 22 nd Ed. 2012: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estándar relativa
 LDM: Límite de detección del Método, LCM: Límite de cuantificación del métodos, ECA: Estándar de calidad ambiental, VE: valor estimado
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor a LCM del Laboratorio establecido.
 (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
 (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0517276

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario: **EISNER WILL CASTILLO ROJAS**
N° RUC/DNI: **48252430**
Direccion: **Jr. San Martin 553**
Ciudad/Provincia/Distrito: **Cajamarca/Celendin** Correo electrónico: **ewcastillor21@gmail.com**
Persona de contacto: **-**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo: **31.05.17** Hora: **09:35 a 09:39**
Tipo de Muestreo: **Puntual**
Número de Muestra: **03 Muestra** N° Frascos x muestra: **02**
Ensayos solicitados: **Químicos y Biológicos**
Breve descripción del estado de la muestra: **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
Responsable de la toma de muestra: **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.**
Procedencia de la Muestra: **Planta de Tratamiento de Agua Residual**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato: **SC - 193** Cadena de Custodia: **CC - 276 - 17**
N° Orden de Trabajo: **0517276**
Fecha y Hora de Recepción: **31.05.17** 14:40 Inicio de Ensayo: **31.05.17** 15:30
Fecha Término de Ensayo: **07.06.17** 09:45 Reporte Resultado: **08.06.17** 16:15

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Bigo. Juan Y. Diaz Saenz
RESPONSABLE

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 08 de Junio de 2017.

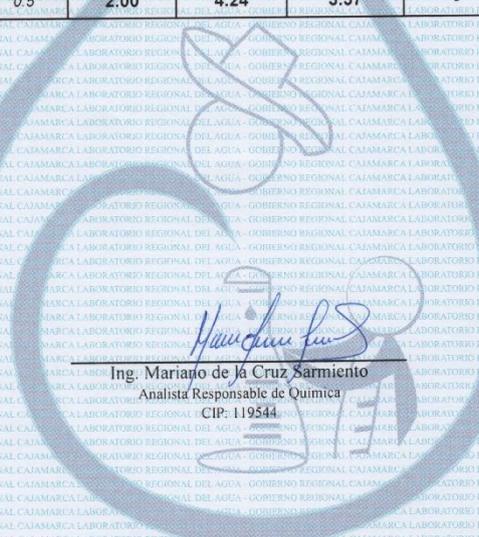
Cód: RTI-5.10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05

Página: 1 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URUG. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERU
e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FON: 599000 anexo 1140

INFORME DE ENSAYO N° IE 0517276

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS		
Código Cliente	PM 1	PM 2	PM 3		
Código Laboratorio	0517276-01	0517276-02	0517276-03		
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL		
Descripción	Doméstica	Municipal	Municipal		
Localización de la Muestra	Tanque de Distribución	Tratamiento con Lemna sp	Tratamiento con Eichhornia crassipes		
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados		
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	<LCM	<LCM	<LCM
Fosfato (PO ₄ ⁻³)	mg/L	0.032	12.18	8.080	0.810
Fosforo total (P)	mg/L	0.020	5.419	4.815	0.183
(*) Nitrógeno total	mg/L	0.014	30.68	16.15	2.320
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	2.00	4.24	3.37




Ing. Mariato de Já Cruz Sarmiento
 Analista Responsable de Química
 CIP: 119544

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
 Cajamarca, 08 de Junio de 2017.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO
JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL

ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA

CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0517276

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Nitrito, Sulfato, Fosfato)	mg/L	EPA 300.1, Rev1, 1997. Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography
(*) Metales por ICP-OES (Fósforo (P))	mg/L	EPA 200.7, Rev 4, 1994. Determination of Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
(*) Nitrogeno total	mg N/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 22 nd Ed. 2012. Nitrogen. Persulfate Method
(*) Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 nd Ed. 2012. Oxygen (Dissolved). Azide Modification.

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estándar relativa
 LDM: Límite de detección del Método, LCM: Límite de cuantificación del métodos, ECA: Estándar de calidad ambiental, VE: valor estimado.
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
 (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica - ND: No determinado.
 (**) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 08 de Junio de 2017.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cód: RT-5.10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05

Página: 3 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratorio@regioncajamarca.gob.pe / laboratorio@regioncajamarca.gob.pe FONO: 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0617335

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario: EISNER WILL CASTILLO ROJAS

N° RUC/DNI: 48252430

Dirección: Jr. San Martín 553

Ciudad/Provincia/Distrito: Cajamarca/Celendín

Correo electrónico: ewcastillor21@gmail.com

Persona de contacto:

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo: 27.06.17 **Hora:** 09:31 a 10:04

Tipo de Muestreo: Puntual

Número de Muestra: 03 Muestra **N° Frascos x muestra:** 02

Ensayos solicitados: Químicos

Breve descripción del estado de la muestra: Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.

Responsable de la toma de muestra: Las muestras fueron tomadas por el personal usuario

Procedencia de la Muestra: PTAR-Celendín

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato: SC - 193 **Cadena de Custodia:** CC - 335 - 17

N° Orden de Trabajo: 0617335

Fecha y Hora de Recepción: 27.06.17 **14:38** **Inicio de Ensayo:** 27.06.17 **16:40**

Fecha Término de Ensayo: 05.07.17 **15:45** **Reporte Resultado:** 06.07.17 **09:00**

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Bigo. Juan V. Diaz Saenz
RESPONSABLE

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 07 de Julio de 2017

Cód: RTI-5-10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05

Página: 1 de 3

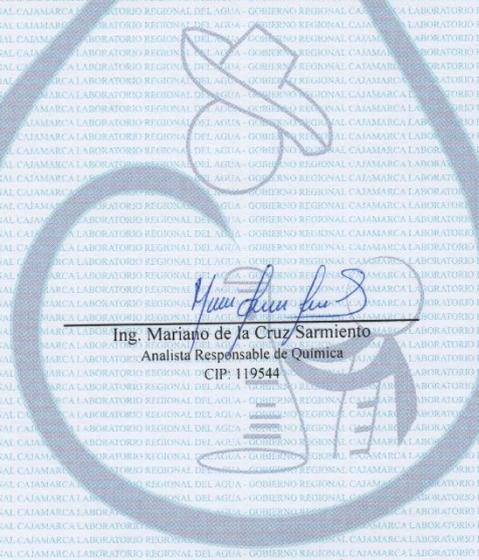


LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0617335

ENSAYOS		QUIMICOS		
Código Cliente	PM 1	PM 2	PM 3	
Código Laboratorio	0617335-01	0617335-02	0617335-03	
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica	
Localización de la Muestra	Tanque de Distribución	Tratamiento con Lemna sp	Tratamiento con Eichornia crassipes	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados	
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.064	<LCM	24.96
Fosfato (PO ₄ ⁻³)	mg/L	0.032	16.72	10.75
(*) Nitrógeno total	mg/L	0.014	38.46	5.64
Fosforo total (P)	mg/L	0.020	5.450	3.512
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	0.20	1.44
				2.60



Ing. Mariano de la Cruz Sarmento
 Analista Responsable de Química
 CIP: 119544

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
 Cajamarca, 07 de Julio de 2017

Cód: RT-5-10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05

Página: 2 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FON: 598000 anexo 1140

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 0617335

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Nitrato, Sulfato, Fosfato)	mg/L	EPA 300.1, Rev1, 1997. Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography.
(*) Metales por ICP-OES (Fósforo (P))	mg/L	EPA 200.7, Rev 4.0, 1994. Determination of Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
(*) Nitrogeno total	mg N/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 22 nd Ed. 2012. Nitrogen, Persulfate Method
(*) Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 nd Ed. 2012. Oxygen (Dissolved), Azide Modification.

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estándar relativa
LDM: Límite de detección del Método, LCM: Límite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado
Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica. ND: No determinado.
(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 07 de Julio de 2017.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05

Página: 3 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO
JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
FONO: 599000 anexo 1140
e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com



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



Registro N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0717447

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario: **EISNER WILL CASTILLO ROJAS**

N° RUC/DNI: **48252430**

Dirección: **Jr. San Martin 553**

Ciudad/Provincia/Distrito: **Cajamarca/Celendín** Correo electrónico: **ewcastillor21@gmail.com**

Persona de contacto: **PTAR - Celendin**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo: **31.07.17** Hora: **08:43 a 08:50**

Tipo de Muestreo: **Puntual**

Número de Muestra: **03 Muestras** N° Frascos x muestra: **02**

Ensayos solicitados: **Fisicoquímicos y Microbiológicos**

Breve descripción del estado de la muestra: **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**

Responsable de la toma de muestra: **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario**

Procedencia de la Muestra: **PTAR - Celendin**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato: **SC - 193** Cadena de Custodia: **CC - 447 - 17**

N° Orden de Trabajo: **0717447**

Fecha y Hora de Recepción: **31.07.17 12:55** Inicio de Ensayo: **31.07.17 15:00**

Fecha Término de Ensayo: **06.08.17 16:00** Reporte Resultado: **07.08.17 15:00**

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
 LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Blgo. Juan Y. Díaz Saenz
 RESPONSABLE

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 07 de Agosto de 2017.

Cód: RTI-5-10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev:N°05

Página: 1 de 2

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERU
 e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FON: 598000 anexo 1140



INFORME DE ENSAYO N° IE 0717447

ENSAYOS		FISICOQUÍMICOS		
Código Cliente	PM1	PM2	PM3	
Código Laboratorio	0717447-01	0717447-02	0717447-03	
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica	
Localización de la Muestra	Tanque de Distribución	Tratamiento con Lemna sp	Tratamiento con Eichhornia crassipes	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados	
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.064	<LCM	7.873 16.24
Fosfato (PO ₄)	mg/L	0.032	17.72	10.30 8.899
(*) Nitrógeno total	mg/L	0.014	42.07	21.14 21.77
(*) Fosforo total (P)	mg/L	0.020	9.485	6.790 5.013
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	0.46	1.63 1.47

Mariano de la Cruz Sarmiento
 Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento
 Analista Responsable de Química
 CIP: 119544

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Nitrato, Sulfato, Fosfato)	mg/L	EPA 300.1. Rev1. 1997. Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography.
Nitrogeno total	mg N/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 4500-N C., 22 nd Ed. 2012. Nitrogen. Persulfate Method
Metales por ICP-OES (Fósforo (P))	mg/L	EPA 200.7 Rev 4 0 1994 Determination of Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 4500-O C, 22 nd Ed. 2012; Oxygen (Dissolved) Azide Modification.

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio. MFL: Matriz fortificada de Laboratorio. RSD: Desviación estándar relativa
 LDM: Límite detección del Método, LCM: Límite de cuantificación de los métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental. VE: valor estimado
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
 (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado.
 (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 07 de Agosto de 2017.

Cód: RTI-5-10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05

Página: 2 de 2

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



INFORME DE ENSAYO N° IE 0817555

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario: **EISNER WILL CASTILLO ROJAS**

N° RUC/DNI: **48252430**

Dirección: **Jr. San Martin 553**

Ciudad/Provincia/Distrito: **Cajamarca/Celendin** Correo electrónico: **ewcastillor21@gmail.com**

Persona de contacto: **PTAR - Celendin**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo: **31.08.17** Hora: **08:12 a 08:21**

Tipo de Muestreo: **Puntual**

Número de Muestra: **03 Muestras** N° Frascos x muestra: **03**

Ensayos solicitados: **Fisicoquimicos**

Breve descripción del estado de la muestra: **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**

Responsable de la toma de muestra: **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario**

Procedencia de la Muestra: **PTAR - Celendin**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato: **SC - 193** Cadena de Custodia: **CC - 555 - 17**

N° Orden de Trabajo: **0817555**

Fecha y Hora de Recepción: **31.08.17** 12:35 Inicio de Ensayo: **31.08.17** 15:00

Fecha Término de Ensayo: **07.09.17** 16:00 Reporte Resultado: **08.09.17** 15:00

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Blgo. Juan V. Diaz Saenz
RESPONSABLE

Cajamarca, 08 de Setiembre de 2017.

Cód: RT-5.10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05

Página: 1 de 2



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



INFORME DE ENSAYO N° IE 0817555

ENSAYOS		FISICOQUÍMICOS		
Código Cliente	PM1	PM2	PM3	
Código Laboratorio	0817555-01	0817555-02	0817555-03	
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica	
Localización de la Muestra	Tanque de Distribución	Tratamiento con Lemna sp	Tratamiento con Eichhornia crassipes	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados	
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.064	<LCM	3.410
Fosfato (PO ₄ ⁻³)	mg/L	0.032	20.57	15.43
(*) Nitrógeno total	mg/L	0.014	47.11	36.45
(*) Fosforo total (P)	mg/L	0.020	8.319	6.700
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	4.02	3.21
				6.297
				15.34
				37.63
				5.995
				2.65

Mariano de la Cruz Sarmiento

Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento
 Analista Responsable de Química
 CIP: 119544

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Nitrato, Sulfato, Fosfato)	mg/L	EPA 300.1 Rev1, 1997. Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography.
Nitrogeno total	mg N/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 22 nd Ed. 2012: Nitrogen. Persulfate Method
Metales por ICP-OES (Fósforo (P))	mg/L	EPA 200.7. Rev 4.0.1994. Determination of Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 nd Ed. 2012: Oxygen (Dissolved). Azide Modification

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
 LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estándar de calidad ambiental. VE: valor estimado
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
 (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
 (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne unica y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 08 de Setiembre de 2017.

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05

Página: 2 de 2

ANEXO 6



Figura 25. Implementación de *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* en cada sistema de tratamiento.



Figura 26. Puesta en marcha del sistema de reactores en serie con *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*, fecha: 03/03/2017.



Figura 27. Evolución de *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*, fecha: 31/05/2017.



Figura 28. Rotulado de muestras para envío a laboratorio.



Figura 29. Recolección de muestras.



Figura 30. Comparación colorimétrica de muestras para análisis de pH.



Figura 31. Vista panorámica del sistema de reactores en serie.



Figura 32. Muestras para envío a laboratorio.



Figura 33. Monitoreo de temperatura (T°).



Figura 34. Monitoreo de caudal (Q).



Figura 35. Monitoreo de pH.