

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**EFICIENCIA DE *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms Laub -
PONTEDERIACEAE Y *Nasturtium officinale* W.T. Aiton – BRASSICACEAE
EN LA REMOCIÓN DE DBO₅ Y DQO DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CELENDÍN**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por el Bachiller:

CÉSAR AUGUSTO VALDIVIA RODRÍGUEZ

Asesor:

Ing. M. Sc. ADOLFO LÓPEZ AYLAS

CAJAMARCA – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Norte de la Universidad Peruana
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

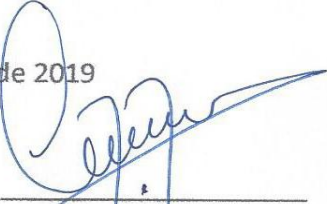
En Cajamarca, a los **dieciocho** días del mes de **Setiembre** del año dos mil diecinueve, se reunieron en el ambiente **Ex Banco Agrario** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designados por el Concejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Concejo de Facultad N° 328 – 2019 – FCA – UNC, Fecha 12 de Julio del 2019, con el objetivo de Evaluar la sustentación de la Tesis titulada: **“EFICIENCIA DE *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms Laub - PONTEDERIACEAE Y *Nasturtium officinale* W.T. Aiton – BRASSICACEAE EN LA REMOCIÓN DE DBO₅ Y DQO DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CELENDÍN”**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**, del Bachiller: **CÉSAR AUGUSTO VALDIVIA RODRÍGUEZ**;

A las **diez** horas y **cuarenta** minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición del trabajo de Tesis, la formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado, el presidente anunció la **aprobación por unanimidad** con el calificativo de **dieciséis (16)**. Por lo tanto, el graduando queda expedita para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente a las **doce** horas con **cuarenta y cinco** minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, 18 de Setiembre de 2019



Dr. Manuel Salomón Roncal Ordoñez
PRESIDENTE



Blgo. Gustavo Iberico Vela
SECRETARIO



Ing. José Lizandro Silva Mego
VOCAL



Ing. M. Sc. Adolfo Máximo López Aylas
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico este logro alcanzado ante todo a mi Dios por darme la fuerza y serenidad en aquellos momentos de debilidad, por darme salud y paciencia para superar todas las dificultades en tan ardua carrera.

A todos mis hermanos y hermanas en especial a mi hermano Gino por su apoyo mutuo e incondicional, por creer en mí y ayudarme a que todo este objetivo se haga realidad.

A mi querida madre Amelia por estar siempre a mi lado que día a día me motivaba y me daba fuerzas para seguir adelante y no ceder ante ningún obstáculo que se me presenta en la vida, ayudándome a tomar las mejores decisiones para mi desarrollo personal y profesional.

Por último, a mi padre que lamentablemente no está a mi lado para reír y alegrarse conmigo en este momento tan anhelado.

AGRADECIMIENTO

A mis familiares, ya que no ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco y hago presente mi gran afecto hacia ustedes mi querida familia.

De manera especial a mi asesor el Ing. M. Sc. Adolfo López Aylas; quien me facilitó la elaboración de este trabajo de investigación, sus consejos y orientaciones fueron un apoyo fundamental y le estaré siempre muy agradecido por tal interés y apoyo incondicional.

De antemano agradecer a PROREGIÓN en la Ciudad de Cajamarca; por permitir que construya una caseta en la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales en la Ciudad de Celendín y a la vez realizar sin ningún inconveniente nuestras actividades de obtención de muestras para mi estudio de investigación de tesis y por garantizarnos un buen ambiente de trabajo sin contratiempos.

También agradezco a la Universidad Nacional de Cajamarca sede Celendín por haberme aceptado ser parte de ella y abierto sus puertas para poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

A todos mis amigos y futuros colegas que me apoyaron desinteresadamente, gracias infinitas por toda su ayuda fraternal y oportuna.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Formulación del problema	2
1.2 Objetivo de la investigación	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Hipótesis de la investigación.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Antecedentes.....	3
2.2 Bases teóricas	5
2.2.1 Aguas residuales	5
2.2.2 Fases de tratamiento de aguas residuales	5
2.2.3 Constituyentes del agua residual	6
2.2.4 Compuestos orgánicos presentes en el agua residual	8
2.2.5 Remoción de nutrientes.....	8
2.2.6 Clases de plantas acuáticas.....	8
2.2.7 Actuación de las plantas acuáticas en sistemas de tratamiento	9
2.2.8 Tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas	10
2.2.9 Parámetros que se analizan en las aguas residuales.....	13
2.2.10 Normas Nacionales	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1 Ubicación geográfica del trabajo de investigación	16
3.2 Materiales	19
3.2.1 Material biológico.....	19
3.2.2 Materiales de campo	19
3.2.3 Materiales y equipo de laboratorio	19

3.2.4	Otros materiales	19
3.3	Metodología aplicada.....	20
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	26
4.1	Características fisicoquímicas de la (DBO ₅).....	26
4.2	Características fisicoquímicas de la DQO	29
4.3	Parámetros fisicoquímicos de OD	32
4.4	Parámetros fisicoquímicos de temperatura (°C).....	34
4.5	Parámetros fisicoquímicos de pH.....	37
4.6	Parámetros fisicoquímicos de caudal (Q)	39
4.7	Parámetros fisicoquímicos del (TRH).	40
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	44
VII.	ANEXOS	48
	GLOSARIO	66
	ACRÓNIMOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Constituyentes de las aguas residuales según Rodier 1998.	7
Tabla 2. Límites Máximos Permisibles para Efluentes de PTAR.	15
Tabla 3. Tiempos programados con el timer (controlador de tiempo).....	21
Tabla 4. Requisitos para la toma de muestra de agua y preservación.....	23
Tabla 5. Técnica de recolección de datos de laboratorio.	24
Tabla 6. Resultados de la DBO ₅ para el periodo en estudio (mg O ₂ /l).	26
Tabla 7. Valores promedio de la DBO ₅	27
Tabla 8. Porcentajes de remoción de la DBO ₅	28
Tabla 9. Resultados de la DQO para el periodo en estudio (mg O ₂ /l).	29
Tabla 10. Valores promedio de la DQO.....	30
Tabla 11. Porcentajes de remoción de la DQO.....	31
Tabla 12. Resultados del OD para el periodo en estudio (mg O ₂ /l).....	32
Tabla 13. Valores promedio del OD.	33
Tabla 14. Porcentajes de remoción de OD.	34
Tabla 15. Resultados de la Temperatura (°C) para el periodo en estudio.	35
Tabla 16. Valores promedio de temperatura (°C).	36
Tabla 17. Resultados del pH para el periodo en estudio.	37
Tabla 18. Valores promedio de pH.	38
Tabla 19. Medición del caudal en cada sistema de tratamiento.	40
Tabla 20. Medida del (TRH) en cada sistema de tratamiento.	41
Tabla 21. Comparación de los resultados obtenidos de los tratamientos con los Límites Máximos para los.....	41
Tabla 22. Monitoreo de temperatura (°C) Diciembre del 2018.....	58
Tabla 23. Monitoreo de temperatura (°C) Enero del 2019.....	58
Tabla 24. Monitoreo de temperatura (°C) Febrero del 2019.....	59
Tabla 25. Monitoreo de pH Diciembre del 2018.....	60
Tabla 26. Monitoreo de pH Enero del 2019.....	60
Tabla 27. Monitoreo de pH Febrero del 2019.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales plantas acuáticas según León y Lucero 2009.	8
Figura 2. Taxonomía del <i>Eichhornia crassipes</i> . “jacinto de agua”.....	11
Figura 3. Taxonomía de la especie “berro” (<i>Nasturtium officinale</i> W. T. Aiton).....	12
Figura 4. Mapa de ubicación del área de estudio.	17
Figura 5. Mapa de ubicación satelital del área de estudio.....	18
Figura 6. Ubicación y georreferenciación del área de estudio..	20
Figura 7. Puntos de monitoreo.....	22
Figura 8. Histograma de los valores de la DBO ₅ para el periodo en estudio (mg O ₂ /l)..	27
Figura 9. Histograma de los valores promedio y porcentaje de la remoción de la DBO ₅	28
Figura 10. Histograma de los valores de la DQO para el periodo en estudio (mg O ₂ /l).	30
Figura 11. Histograma de los valores promedio y porcentaje de la remoción de la DQO.	31
figura 12. Histograma de los valores del OD para el periodo en estudio (mg O ₂ /l)..	33
Figura 13. Histograma de los valores promedio y porcentaje de la remoción de la OD.	34
figura 14. Histograma de los valores de temperatura (°C) para el periodo en estudio....	35
Figura 15. Histograma de los valores promedio de temperatura (°C).	36
figura 16. Histograma de los valores de pH para el periodo en estudio.....	38
Figura 17. Histograma de los valores promedio de pH.....	39
Figura 18. Construcción de la caseta.	62
Figura 19. Instalación de los reactores.....	62
Figura 20. Visita al lugar de las muestras.	62
Figura 21. Recolección de las muestras.....	62
Figura 22. Llenado de los reactores con agua residual.....	62
Figura 23. Implementación de <i>E. crassipes</i> y <i>N. officinale</i>	62
Figura 24. Aclimatación y evolución de <i>E. crassipes</i> y <i>N. officinale</i>	63
Figura 25. Medición del caudal en los tratamientos.....	63
Figura 26. Toma de muestras en campo.....	63
Figura 27. Toma de muestras para pH.....	63

Figura 28. Medición de temperatura.....	63
Figura 29. Análisis de pH en el laboratorio de la UNC.....	63
Figura 30. Limpieza y raleo de <i>E. crassipes</i>	64
Figura 31. Limpieza y raleo de <i>N. officinale</i>	64
Figura 32. Equipo para la recolección de muestras.....	64
Figura 33. Muestras para el análisis de OD.....	64
Figura34. Muestras para el análisis de DQO.....	65
Figura 35. Muestra para el análisis de DBO ₅	65
Figura 36. Codificación de las muestras para el envío al Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca.....	65
Figura 37. Recepción de las muestras en el Laboratorio Regional del Agua-Cajamarca	65

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Solicitud de permiso para la ejecución de tesis en la PTAR de Celendín	48
Anexo 2. Autorización para la ejecución de tesis por parte de Proregión en la Ciudad de Cajamarca.....	49
Anexo 3. Resultados de los parámetros obtenidos en el laboratorio Regional del Agua en la Ciudad de Cajamarca.....	50
Anexo 4. Resultados de los parámetros de temperatura (°C) obtenidos en campo.....	58
Anexo 5. Resultados de los parámetros de pH obtenidos en campo	60
Anexo 6. Panel fotográfico	62

RESUMEN

La investigación se realizó teniendo como objetivo determinar la Eficiencia del “jacinto de agua” *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms Laub y el “berro” *Nasturtium officinale* W.T. Aiton, en la remoción de DBO₅ y DQO del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín, ubicado en las siguientes coordenadas UTM: Este: 815326 m; Norte: 9242258 m; altitud: 2592 msnm. Se eligió tres puntos de monitoreo (PM1–TD, PM2–JA y PM3–B) en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo del 2019, en los que se analizaron los parámetros de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno) y OD (Oxígeno Disuelto), obteniendo los siguientes resultados: La DBO₅ con “jacinto de agua” fue de 85.80% de remoción y 30.62 % para el “berro”. La DQO fue de 84.33 % para “jacinto de agua” y 35.44 % para el “berro”. OD obtuvo un valor promedio de 2.56 mg O₂ /l para “jacinto de agua” alcanzando 30.61% y el “berro” de 3.22 mg O₂ /l obteniendo 64.29%; finalmente se llegó a la conclusión de que la especie más eficiente en remoción de DBO₅ y DQO es “jacinto de agua” por su elevado porcentaje de remoción y en cuanto al OD la especie más eficiente es el “berro”.

Palabras claves: DBO₅, DQO, eficiencia, *Eichhornia crassipes*, *Nasturtium officinale*.

ABSTRACT

The investigation was carried out with the objective of determining the Efficiency of the “water hyacinth” *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms Laub and the “watercress” *Nasturtium officinale* W.T. Aiton, in the removal of BOD5 and COD from the effluent of the Celendín wastewater treatment plant, located at the following UTM coordinates: East: 815326 m; North: 9242258 m; altitude: 2592 masl. Three monitoring points (PM1 – TD, PM2 – JA and PM3 – B) were chosen in the months of December, January, February and March of 2019, in which the parameters of BOD5 (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) and OD (Dissolved Oxygen), obtaining the following results: BOD5 with “water hyacinth” was 85.80% removal and 30.62% for “watercress”. The COD was 84.33% for "water hyacinth" and 35.44% for "watercress." OD obtained an average value of 2.56 mg O₂ / l for “water hyacinth” reaching 30.61% and the “watercress” of 3.22 mg O₂ / l obtaining 64.29%; Finally, it was concluded that the most efficient species in removal of BOD5 and COD is "water hyacinth" due to its high percentage of removal and in terms of OD the most efficient species is "watercress".

Key words: BOD5, COD, efficiency, *Eichhornia crassipes*, *Nasturtium officinale*.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas son una alternativa eficiente y económica, debido a sus menores costos de construcción, operación y mantenimiento frente a los sistemas convencionales.

Actualmente, se ha encontrado en los humedales artificiales con plantas acuáticas flotantes una alternativa de tratamiento de aguas residuales, debido principalmente a su elevada eficiencia en la remoción de materia orgánica, nutrientes y patógenos, lo que disminuye los posibles efectos adversos de los vertidos sobre los medios receptores. La depuración en dichos sistemas, se realiza mediante la combinación de procesos físicos, químicos y biológicos; incluyendo la sedimentación, precipitación, adsorción a partículas del suelo, asimilación por el tejido vegetal y transformaciones microbiológicas. (Coronel 2016)

Las aguas residuales que discurren a la planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Celendín, tiene como objetivo la remoción de la materia orgánica biodegradable a través de procedimientos de tratamientos primarios y secundario el cual consta de la implementación de reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFAs), a través de una laguna facultativa; por lo que su tratamiento no puede cumplir con la remoción total de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno), lo cual conlleva a que estos elementos sean vertidos al Río Grande de Celendín y al no ser separados los componentes orgánicos en estos vertimientos se producen problemas de eutrofización y la producción de bacterias.

En tal sentido el presente trabajo de investigación está orientado a determinar la eficiencia de la remoción de DBO₅ y DQO que presenta *Eichhornia crassipes* “jacinto de agua” y *Nasturtium officinale* “berro”, utilizando el efluente de la laguna facultativa bajo condiciones de flujo continuo con el fin de implementar este tipo de sistema como una unidad de proceso de tratamiento terciario en las aguas residuales bajo ciertos criterios técnicos para su correcto funcionamiento, con costos bajos y con miras hacer replicas en

diferentes plantas de tratamiento en la provincia o a nivel regional. Por tanto, es necesario controlar los parámetros de DBO₅, DQO y asegurar una buena calidad del vertido, a la vez que cumplamos con las normas legales sin crear alteraciones medioambientales poniendo en peligro nuestro ecosistema.

1.1 Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia del “jacinto de agua” *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms Laub y el “berro” *Nasturtium officinale* w.t. Aiton, en la remoción de DBO₅ y DQO del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendín?

1.2 Objetivo de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Determinar la eficiencia de “jacinto de agua” *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laub y el “berro” *Nasturtium officinale* w.t. Aiton en la remoción de DBO₅ y DQO del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendín.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas de DBO₅ y DQO, provenientes del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendín.
- Evaluar las características fisicoquímicas de DBO₅ y DQO, provenientes de los sistemas de tratamiento con “jacinto de agua” *Eichhornia crassipes* y el “berro” *Nasturtium officinale* respectivamente.
- Estimar los parámetros fisicoquímicos de oxígeno disuelto, temperatura, pH, caudal y tiempo de retención hidráulica.

1.3 Hipótesis de la investigación

El sistema de tratamiento con “jacinto de agua” *Eichhornia crassipes* y el “berro” *Nasturtium officinale* en la remoción de DBO₅ y DQO del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendín es eficiente.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes

En el mundo se trata aproximadamente sólo el 20% de las aguas residuales que se generan en las ciudades y el resto no recibe un tratamiento adecuado evacuándose directamente en cuerpos de agua superficiales causando graves daños a los ecosistemas. (PNUMA y UN-Hábitat 2010). Entre las alternativas que hoy se aplican en todos los países para solucionar los problemas que hoy conlleva las aguas residuales, se encuentran diversos estudios a grandes y pequeños niveles. En Latinoamérica, la contaminación de las fuentes de agua natural es causada por el vertido de aguas residuales domésticas. (León y Lucero 2009)

Olguín (2004), en su trabajo de investigación de Evaluación del Potencial de Fitorremediación, para remover materia orgánica menciona que en estado estable la remoción fue mayor para la DQO que para la DBO₅ (65 vs 59%) con la especie *Salvinia mínima* “helecho de agua”, en los primeros cinco días se registró 39% de remoción para DQO y 25% para DBO₅; sin embargo, al día 10 la eficiencia se redujo debido a la muerte de la planta.

De otro lado García (2012), en un estudio realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, menciona que la remoción de la Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO₅) fue del 96.7%, con un periodo de retención de cinco días utilizando *Lemma minor* y el tratamiento con *Eichhornia crassipes* presentó una remoción de 26.7% de DBO₅ en un periodo de remoción de 2.5 días.

Rodríguez, *et al.* (s/f), en un ensayo de eficiencia con macrofitas *Eichhornia crassipes* “Jacinto de agua”, *Limnobium laevigatum* “Hoja flotante” y *Typha domingensis* “Enea” para remoción de carga de contaminante de aguas residuales de hatos lecheros, indican que el *Eichhornia crassipes* reportó mayor eficiencia en la remoción de carga orgánica (65%) para este tipo de residuos líquidos. Para el caso específico de DBO₅ el porcentaje de remoción de *Limnobium laevigatum* fue de 71.48%, de *Eichhornia crassipes* de 65.53% y de *Typha domingensis* de 63.47%. Para el caso de DQO el porcentaje de remoción de *Eichhornia crassipes* fue de 47.78%, para *Limnobium laevigatum* de 38.28% y de *Typha domingensis* de 18.67%.

Saavedra, citado por Castillo (2017), menciona en su investigación titulada "Aplicación de macrofitas en flotación como ayuda en el tratamiento de aguas residuales en la laguna UDEP", en dicho estudio se concluyó que en relación al sector de la laguna convencional, el sector con el sistema de macrofitas presentó mayor eficiencia de remoción en los parámetros analizados de STS (72.78% vs -10.18%), DBO5 (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%).

Coronel (2016), determinó la eficiencia del "jacinto de agua" *Eichhornia crassipes* y "lenteja de agua" *Lemna minor* en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, analizando la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual, obteniendo como resultado lo siguiente: en lo referente a oxígeno disuelto, el sistema con *Eichhornia crassipes* aumento esta concentración a 6,75 mg O₂/l y *Lemna minor* lo hizo hasta 6,04 mg O₂/l, en el parámetro DBO₅ *Eichhornia crassipes* logró una disminución del 95,55% y *Lemna minor* disminuyó un 85,53% y en el parámetro de DQO *Eichhornia crassipes* logró un valor de 93,09% ante un 80,85% de *Lemna minor*; llegando a la conclusión que la planta *Eichhornia crassipes* obtiene las tasas más altas de eficiencia con un porcentaje promedio de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del 88,24%, mientras que *Lemna minor* alcanzó un 81,24%.

Castillo (2017), determinó 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", indicando que el tratamiento con *Lemna* sp, para el parámetro de nitrógeno total (N) fue de 52%, nitratos (NO₃⁻) 37%, fósforo total (P) 31%, fosfatos (PO₄³⁻) 34% y OD 70 %; asimismo al aplicar *Eichhornia crassipes* el nitrógeno total (N) fue de 61%, nitratos (NO₃⁻) 34%, fósforo total (P) 73%, fosfatos (PO₄³⁻) 68% y OD 107 %; Por lo que se llegó a la conclusión final que *Eichhornia crassipes* registra las tasas más altas en la remoción de nutrientes considerando sus características fisiológicas propias.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Aguas residuales

Incluyen a las aguas usadas domésticas y urbanas, y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales). Su tratamiento nulo o individual genera grandes problemas de contaminación. “Son una combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casas, edificios comerciales, fábricas e instituciones combinada con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente”. (García 2012)

2.2.2 Fases de tratamiento de aguas residuales

De acuerdo a la EPA (Agencia de Protección Ambiental, 2000), los procesos que comprenden en el tratamiento de las aguas residuales encierran las siguientes fases.

2.2.2.1 Recolección de aguas residuales

En zonas donde el incremento poblacional es constante y donde las condiciones topográficas lo permiten, este proceso se permite a través de sistemas de alcantarillado. (León y Lucero 2009)

2.2.2.2 Pre tratamiento de aguas residuales

Consiste en retirar los sólidos de grandes tamaños, y en la mayoría de casos se realiza en estanques desarenadores. La finalidad es hacer más favorable el proceso de tratamiento biológico de aguas residuales. (León y Lucero 2009)

2.2.2.3 Tratamiento de aguas residuales

Consiste en remover sólidos, grasas, aceites y otros materiales flotantes o sedimentables para que el agua residual pueda ser tratada eficientemente y reutilizada o vertida sin ningún riesgo (Coronel 2015). Comprende los siguientes pasos:

a) Tratamiento primario

Son aquellos que eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Los principales procesos físico-químicos que pueden ser incluidos son: sedimentación, flotación, coagulación-floculación y filtración. En estos sistemas se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica, suele llevarse a cabo mediante

sedimentación y tamizado, el efluente suele contener una considerable de materia orgánica y una DBO₅ alta, cabe destacar que, aunque en muchos lugares el tratamiento primario es el único que se le da al agua residual, este es únicamente un método previo al secundario. (Coronel 2016)

b) Tratamiento secundario convencional

Está enfocado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables. Se llama tratamiento secundario convencional a la combinación de diferentes procesos para la eliminación de estos constituyentes e incluye el tratamiento biológico con lodos activados, reactores de lecho fijo, los sistemas de lagunaje (pozo) y la sedimentación. (Coronel 2016)

2.2.2.4 Reutilización o vertimiento

En los sistemas de manejo de aguas residuales de zonas rurales, las formas más posibles de reutilización son: el riego agrícola y el riego de campo; en zonas húmedas, los tratamientos en el suelo y la recarga de acuíferos serán más usuales. (León y Lucero 2009)

2.2.3 Constituyentes del agua residual

Son clasificados como físicos, químicos y biológicos. Estos componentes como los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia, por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales deben ser diseñadas para su remoción. (García 2012)

Tabla 1. Constituyentes de las aguas residuales según Rodier 1998.

Prueba	Abreviatura	Uso o significado del resultado
Sólidos Totales	ST	Determinar la clase de proceso u operación
Sólidos Suspendidos	SST	más apropiada para su tratamiento
Sólidos disueltos	SDT (ST-SST)	Estimar la reutilización potencial del agua residual
Turbiedad	UNT	Evaluar la calidad del agua residual tratada
Olor	NUO	Determinar si el olor puede ser un problema importante en el diseño u operación de instalaciones de tratamiento con procesos biológicos
Temperatura	C° O °F	
Conductividad	CE	Estimar si el efluente tratado es apto para uso agrícola
Amonio libre	NH ₄ ⁺	Usado como medida de nutrientes y para establecer el grado de descomposición del agua residual
Nitrógeno total Kjeldahl	NTK (Norg + NH ₄ ⁺)	
Nitritos	No ₃ ⁻	
nitratos	No ₂ ⁻	
Fósforo total	FT	
pH	Ph=logI[H ⁺]	Medida de la acidez o basicidad de una solución acuosa
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	Estimar la formación potencial de olores y tratamiento apropiado de lodos residuales
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	Medida de la cantidad de oxígeno para estabilizar biológicamente un residuo
Demanda química de oxígeno	DQO	Usada frecuentemente como sustituto de la prueba de DBO
Organismos coliformes	NMP (número más probable)	Estimar la presencia de bacterias patógenos y la eficiencia del proceso de desinfección
Microorganismos específicos	Bacterias, protozoos, helmintos y virus	Estimar la presencia de organismos específicos en conexión con la operación de la planta de tratamiento y la reutilización del agua

2.2.4 Compuestos orgánicos presentes en el agua residual

Se constituye básicamente de proteínas (40% al 60%), carbohidratos (25% al 50%), grasas y aceites (8% al 12%). La urea el mayor componente de la orina, es otro elemento orgánico que es parte de las aguas residuales. Un cuerpo de agua contaminado disminuye el valor de su uso como agua para bebida o para fines agrícolas, afecta la vida acuática y los peces mueren por disminución del oxígeno disuelto. (León y Lucero 2009)

2.2.5 Remoción de nutrientes

Es de mucha importancia sanitaria, ya que su aumento en cuerpos de agua, especialmente lagos y lagunas, genera el fenómeno de eutrofización. (García 2012)

El consumo de las plantas acuáticas es un proceso por el cual los alimentos entran a ellas. Su fuente de alimentación son los nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+), fosfato (PO_4^{3-}) y otros nutrientes para crecer, entonces tiene el efecto de eliminación de estos elementos de la fase acuosa. Varios organismos en el entorno de las plantas acuáticas, incluyendo algas y bacterias, también asimilan estos alimentos. (García 2012)

2.2.6 Clases de plantas acuáticas

Son aquellas que requieren bastante cantidad de agua en sus raíces para vivir, crecen en medios inmensamente húmedos y completamente inundados, básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres. Se pueden clasificar en flotantes, sumergidas y emergentes. (Coronel 2016)

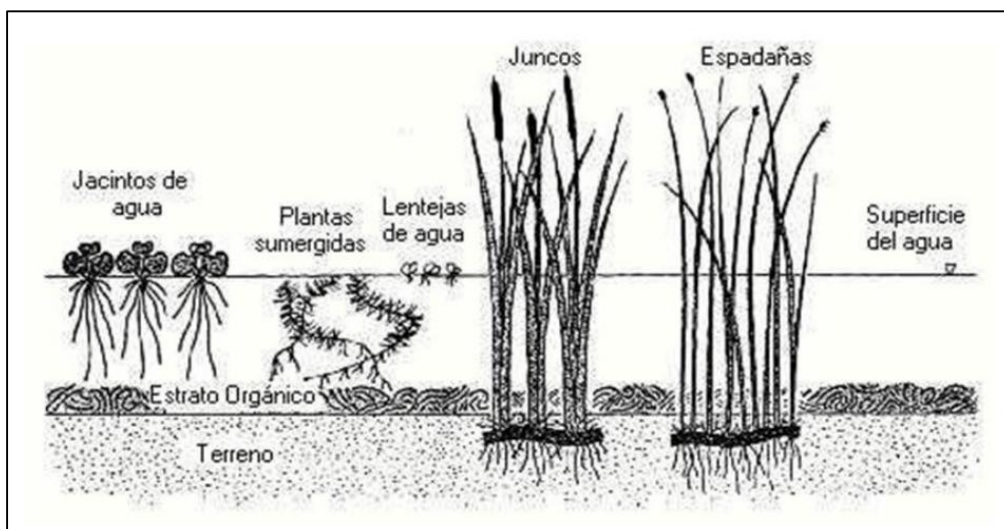


Figura 1. Principales plantas acuáticas según León y Lucero 2009.

a) Flotantes

Son aquellas que crecen sobre la superficie del agua (sin sustrato) braceando. Se reproducen con mucha facilidad y en períodos muy cortos. Son sensibles al frío y a las heladas, por lo que, en zonas de clima frío, se recomienda tenerlas en un invernadero con una excelente luz y en lo posible expuestas al sol. Son especies que necesitan de pleno sol o sombra ligera. (Poveda 2014)

Ejemplo de estas especies encontramos al “jacinto de agua” (*Eichhornia crassipes*); “helecho de agua” (*Salvinia* sp y *Azolla* sp), “lechuga de agua” (*Pistia* sp) y “lentejas” (*Lemna* sp; *Wolffia* sp y *Wolffiella* sp). (León y Lucero 2009)

b) Sumergidas

Son aquellas que no flotan en la superficie y sus raíces están sueltas dentro del agua o arraigadas en el fondo. Sirven principalmente para oxigenar el agua y nunca se las encuentra en sitios donde existen plantas flotantes, debido a que estas impiden el ingreso de luz y las plantas sumergidas dejarían de realizar la fotosíntesis, ejemplo: “elodea” (*Elodea canadensis*), y a la "planta espada" (*Echinodorus bleheri*). (Coronel 2016)

c) Emergentes o anfibias

Estas plantas crecen enraizadas en el fondo y sus hojas sobresalen de la superficie del agua, entre las más comunes para América del Sur se encuentran el carrizo (*Phragmites* sp), junco (*Juncus* sp) y la espadaña (*Typha* sp); estas especies de plantas son más usadas en humedales artificiales en los que adiciona un medio de soporte para el enraizamiento de las mismas. (León y Lucero 2009)

2.2.7 Actuación de las plantas acuáticas en sistemas de tratamiento

Según León y Lucero (2009), las plantas juegan un papel fundamental en estos sistemas siendo sus principales funciones:

Absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo).

Airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizósfera.

Filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular.

Eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos.

Generalmente estas plantas acuáticas crecen favorablemente sobre una zona sin movimiento, libre de competidores como algas, insectos y enfermedades. Las floraciones de algas compiten por nutrientes y provocan un cambio en la circulación del agua, pH, turbidez y OD. (Poveda 2014)

2.2.8 Tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas

Hay plantas que tienen la interesante capacidad de limpiar los ambientes contaminados. Pueden acumular o transformar sustancias tóxicas que aparecen en el suelo o el agua, ya sea por accidente como derrame de petróleo por la actividad del hombre (por ej. desechos industriales en la actividad minera) o por cuestiones geológicas (por ej. altos niveles de arsénico y metales pesados en las aguas subterráneas). Se conocen unas 400 especies que pueden acumular selectivamente alguna sustancia. (Poveda 2014)

Las plantas acuáticas flotantes como la “lenteja de agua” o Lemna (*Lemna minor*), “azolla” (*Azolla* sp) y “jacinto de agua” (*Eichhornia crassipes*) son las que has sido evaluadas con más intensidad en el trópico como posibles integrantes de sistemas de recirculación de nutrientes a través de su cultivo en estanques cargados con efluentes provenientes de biodigestores anaeróbicos, en lagunas, o simplemente colectadas en su medio natural. (García 2012)

a) *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laub- PONTEDERIACEAE

Conocido también como “jacinto de agua”, “camalote”, “lampazo”, “violeta de agua”, “buchón”, “taruya”, “lirio de agua”, “lechuga de agua” y “lechuguin”; pertenece a la familia Pontederiaceae, es una macrofita acuática flotante no enraizada, herbácea perenne de agua dulce. La planta crece muy rápido en el hábitat de 20 a 30° de temperaturas medias, y se estanca en el intervalo de 8 a 15°. (Camacho y Ordoñez 2008)

Esta planta posee un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ella que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas, retienen en sus tejidos metales pesados (Cd, Hg, As). Además, remueve algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, ácido fórmico, colorante y pesticidas, y disminuye niveles de DBO₅, DQO y sólidos suspendidos. (Celis et al. 2005)

Puede vivir en aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento, como zanjas, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos; es considerado como la maleza acuática. Se originó en la Amazonía, pero en la actualidad se distribuye en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo. (Jaramillo y Flores 2012)



Reino	:	Plantae
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Liliopsida
Orden	:	Liliales
Familia	:	Pontederiaceae
Género	:	<i>Eichhornia</i>
Especie	:	<i>E. crassipes</i>

Figura 2. Taxonomía del *Eichhornia crassipes* “jacinto de agua”.

b) *Nasturtium officinale* W.T. Aiton-BRASSICACEAE

Planta acuática perenne sumergida, con raíz fibrosa. Tallos ascendentes, robustos, fistulosos, entre 10-50 cm de altura, algo carnosos, ramificados y con raíces adventicias en los nudos sumergidos. Hojas alternas, lámina simple, bordes lisos a levemente sinuosos de 4-12 cm de longitud. Flores pequeñas agrupadas en racimos terminales, cuatro pétalos blancos, 3-5 mm longitud. Fruto silicua oblonga, algo arqueada hacia el ápice, 1-2 cm de longitud. Florece desde setiembre hasta noviembre aproximadamente; fructifica de octubre a diciembre. Crece en los cursos de agua en donde la corriente y profundidad del agua son favorables en aguas lóxicas poco profundas, de escaso caudal y sustrato arenoso, con las hojas superiores y las flores completamente emergentes. (Huamán y Rumaja 2017)

Distribución geográfica

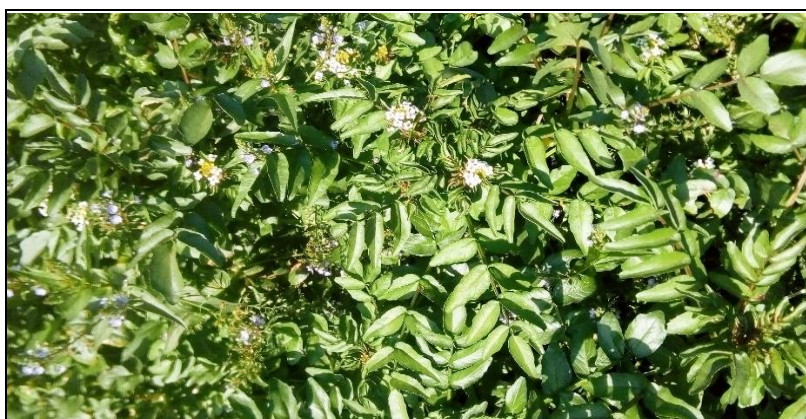
Abunda en Europa, Asia y América (Venezuela, Bolivia, Argentina, Uruguay, Chile y Perú), en la región de Cusco crece en los alrededores de la ciudad entre los 3200 a 3500 msnm en charcos, al contorno de los manantiales y riachuelos como por ejemplo el riachuelo de Káyra-San Jerónimo. (Huamán y Rumaja 2017)

Usos:

Está recomendada principalmente para el tratamiento de problemas renales y dolores de estómago. También se utiliza para tratar la anemia, bocio y diabetes. Es rica en vitaminas y minerales (vitamina C, E, beta carotenos) de considerable utilidad como antioxidantes que eliminan los radicales libres teniendo una importante acción en la prevención de los cánceres por este motivo. (Huamán y Rumaja 2017)

En la clasificación APG IV (Grupo filogenético de angiospermas) la ubicación taxonómica corresponde a:

Posición sistemática:



Clase :	Equisetopsida C. Agardh
Subclase :	Magnoliidae Novák ex Takht.
Superorden :	Rosanae Takh.,
Orden :	Brassicales Bromhead
Familia :	Brassicaceae Burnett
Genero :	<i>Nasturtium</i> W. T. Aiton.
Especie :	<i>Nasturtium officinale</i> W. T. Aiton.

Figura 3. Taxonomía de la especie “berro” (*Nasturtium officinale* W. T. Aiton).

Nombres vulgares: Berro, berros

Nombre científico: *Nasturtium officinale* W. T. Aiton.

2.2.9 Parámetros que se analizan en las aguas residuales

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. Es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido, estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, diseñar unidades de tratamiento biológico, evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras; el tiempo de incubación de la DBO₅ generalmente es de 5 días y a 20 °C. (Camacho y Ordoñez 2008)

La DBO₅ es un análisis que la única finalidad que tiene en las aguas residuales, es oxidar (degradar, corroer, eliminar) la materia orgánica, con el objetivo de obtener oxígeno, para realizar la vida acuática tanto de animales como de plantas, ya que demandan de ese oxígeno para sobrevivir; por lo que la flora y fauna acuática con oxígeno menor a 3 mg/l, pueden ocasionar la muerte en estas especies.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se emplea para medir el contenido de materia orgánica de las aguas residuales. Mide el oxígeno equivalente químicamente mediante un agente químicamente fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura, es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales a la vida biológica. Es una prueba más rápida que la DBO₅. Oxida casi todos los compuestos orgánicos, en consecuencia, es mayor que la DBO₅. (Camacho y Ordoñez 2008)

Oxígeno disuelto

La presencia en el agua es indispensable para la vida de peces y otros seres acuáticos, el problema es la baja solubilidad de este gas en el agua, además la cantidad de oxígeno en el agua depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión. No existe concentración mínima de O₂ que cause efectos adversos a la salud humana, pero si existe un límite para sostener la vida de la fauna acuática. Se acepta que concentraciones de 5 mg/L son adecuadas para su desarrollo, en tanto que concentraciones menores a 3 mg/L pueden ser letales. (Coronel 2016)

Temperatura

Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua; afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y la actividad bacteriana. La tasa de sedimentación de sólidos en aguas cálidas es menor que en aguas frías, por el cambio a la viscosidad del agua. (Camacho y Ordoñez 2008)

pH

Es la medida de la concentración de ion hidrogeno en el agua. 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 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, la fuente receptora puede ser alterado. (García 2012)

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 (m^3s^{-1}). Londoño y Marín (2009) lo define como el volumen de agua que pasa por una sección en un determinado tiempo (t) es decir: $Q = v/t$.

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.

2.2.10 Normas Nacionales

Son elaboradas, sometidas a un período de información pública y sancionadas por un organismo reconocido legalmente para desarrollar actividades de normalización en un ámbito nacional.

Para evitar consecuencias del uso del agua contaminada se ha ido ideando mecanismos de control temprano de la contaminación. Existen normas que establecen los rangos máximos permisibles de contaminación, que aseguran que el agua que se utiliza para consumo humano no sea dañina. La calidad del agua residual depende del uso de las aguas del cuerpo receptor al cual se vierte.

a) Normas para descargas de aguas residuales en Perú

Para el Perú existe el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, el cual fue aprobado el 17 de marzo del 2010. Esta es una Norma ambiental en la que establece los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

Tabla 2. Límites Máximos Permisibles para Efluentes de PTAR.

Parámetros	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes	NMP/100mL	10 000
Termotolerantes		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
Ph	Unidad	6,5 - 8,5
Sólidos Totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: D.S N° 003-2010-MINAM.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación geográfica del trabajo de investigación

El desarrollo del presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el distrito de Celendín, se encuentra ubicada en la parte Norte del Perú, en el departamento de Cajamarca con las siguientes coordenadas UTM: Este: 815493, Norte: 9240194 y una altitud de 2629 msnm, según la estación del SENAMHI presenta un clima templado seco, con una temperatura media de 13.7 °C (entre 2200 y 2800 msnm) y una precipitación media anual de unos 750 mm.

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) está ubicada al norte de la ciudad de Celendín, la salida del efluente de la laguna facultativa que se utilizó para la ejecución del proyecto tiene las siguientes coordenadas UTM: Este: 815326 m; Norte: 9242258 m; altitud: 2592 msnm.

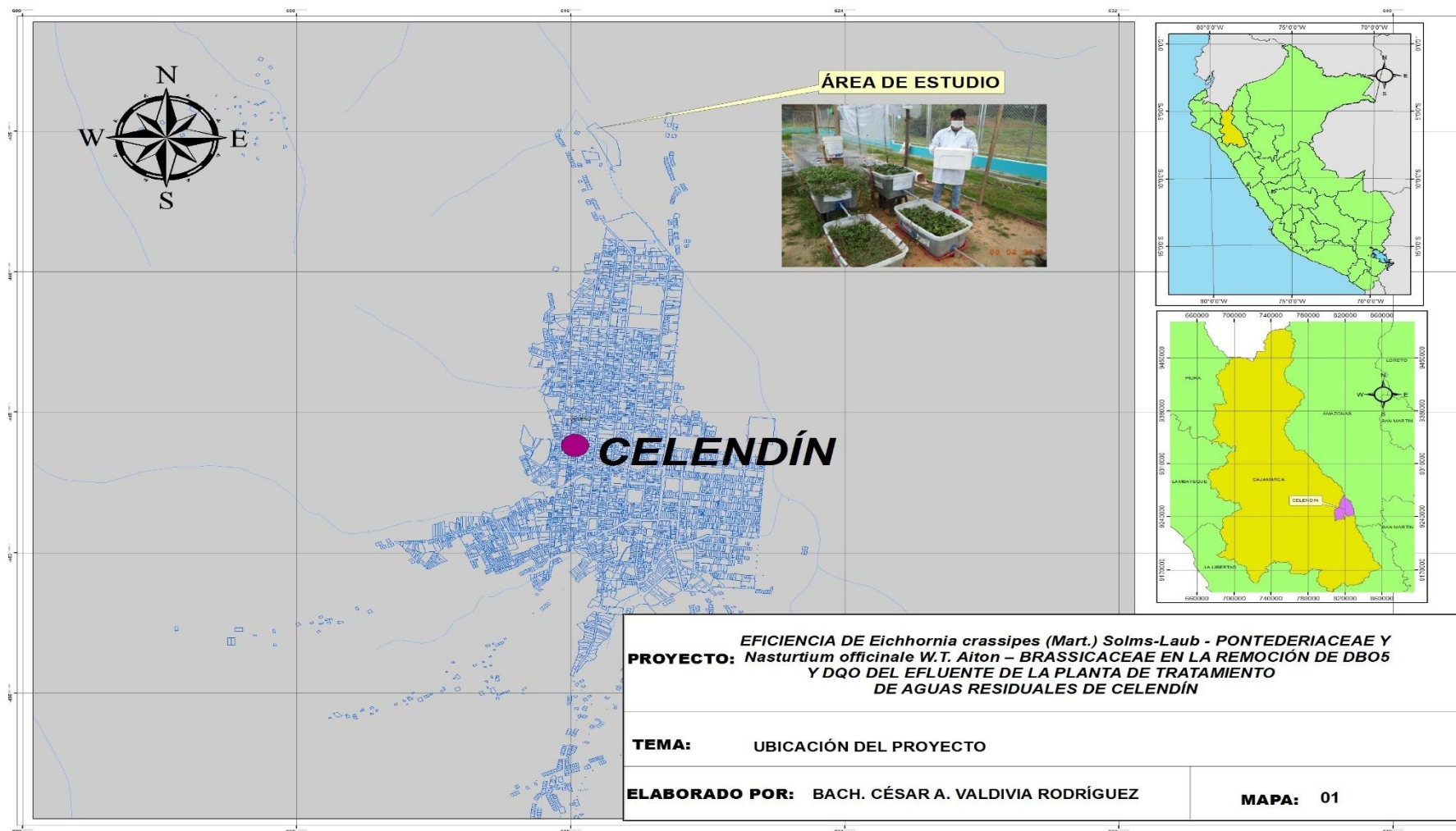


Figura 4. Mapa de ubicación del área de estudio.



Figura 5. Mapa de ubicación satelital del área de estudio.

3.2 Materiales

3.2.1 Material biológico

Ejemplares de *Eichhornia crassipes* “jacinto de agua”

Ejemplares de *Nasturtium officinale* “berro”

3.2.2 Materiales de campo

Muestras de agua para laboratorio de la planta de tratamiento

GPS marca Garmin modelo ETREX 30

Cámara fotográfica, marca Sony, modelo: DSC-W710

Cronómetro

Agenda de campo

Botellas de plástico (PET)

3.2.3 Materiales y equipo de laboratorio

Multiparámetro marca DELTA OHM

pH-metro marca: OAKTON modelo: RS232

Termómetro ambiental

Cooler térmico pequeño

Laptop con software para procesamiento y sistematización de datos

Impresora

Agua destilada

Guardapolvo (prenda larga de color blanco que se utiliza en laboratorio)

Guantes

Mascarilla

3.2.4 Otros materiales

Electrobomba 0.5 HP

Timer digital (controlador de tiempo)

Caja duraforte # 220 (reactor)

Válvula check

Llave de paso y conexiones PVC ½”

Tubo PVC ½” y PVC ¾”

Calamina transparente

Balde

3.3 Metodología aplicada

a) Fase de campo

Se realizó la georreferenciación del área en estudio teniendo en cuenta la topografía del terreno, condiciones climáticas, ubicación del efluente de la laguna facultativa e instalación de los recipientes.



Figura 6. Ubicación y georreferenciación del área de estudio.

Se gestionó el permiso en las oficinas de PROREGIÓN en la ciudad de Cajamarca, ver anexo 1 y 2, para la intervención e instalación del sistema en el efluente de la PTAR de Celendín, el área de la caseta fue de 4 m de largo, 3 m de ancho.

Se ejecutó la construcción de la caseta con una altura de 2 m, las paredes cubiertas alrededor con malla metálica, el techo de calamina transparente de policarbonato a una altura; los recipientes constituidos por cuatro cajas duraforte de plástico, el cual se lo hizo de dos para cada sistema de tratamiento y posteriormente colocados sobre bancos de plástico a una altura de 0.10 m y 0.50 m, el tanque de distribución consistió en un balde de 20 litros quedando a una altura de 0.80 m, 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 (controlador de tiempo) obteniendo las siguientes programaciones como se muestra en la tabla número 3, las instalaciones fueron hechas con tubería de PVC de 1/2" y 3/4", también se instaló 2 llaves de paso para cada tratamiento, con la finalidad de controlar el caudal adecuado.

Tabla 3. Tiempos programados con el timer (controlador de tiempo) digital.

Tiempos	Inicio	Final
1	8:00 am	8:01 am
2	2:00 pm	2:01 pm
3	8.00 pm	8.01 pm
4	2:00 am	2:01 am

Las especies se recolectaron en los alrededores de la ciudad de Celendín, *Nasturtium officinale* en el Rio Grande con las siguientes coordenadas E:815447 m y N: 9242171 m y una altitud de 2580 msnm y *Eichhornia crassipes* en el Caserío de Poyuntecucho con las siguientes coordenadas E:815500 m y N: 9243244 m y una altitud de 2592 msnm.

La medición de temperatura se realizó en el área de estudio con el termómetro ambiental, de igual manera se realizó la medida del caudal y tiempo de retención hidráulica en cada uno de los tratamientos, para el pH se recogieron muestras en 3 botellas de plástico (PET) de 625 ml, los cuales fueron trasladados al laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca con sede en Celendín para sus análisis correspondientes con el pH metro digital, todos estos parámetros de campo se realizaron los martes de cada semana durante 3 meses y a diferentes horas del día preferentemente a las 9:00 am, 12:00 pm y 4:00 am.

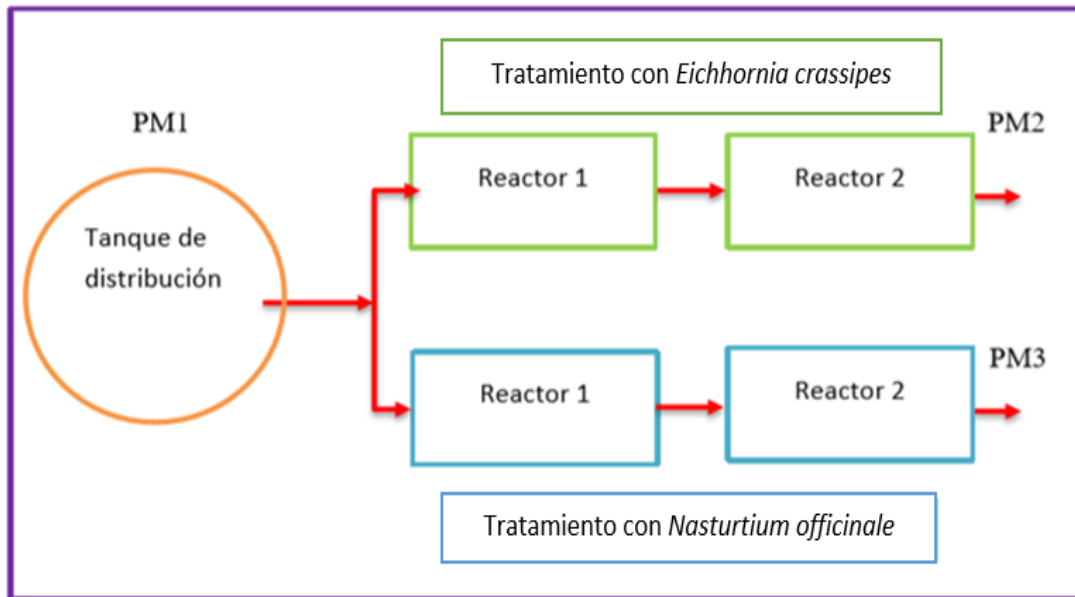


Figura 7. Puntos de monitoreo.

Fuente: adaptado de Castillo, 2017:39

Donde:

PM1: Punto de monitoreo 1 (agua residual muestra o patrón)

PM2: Punto de monitoreo 2 (*Eichhornia crassipes*)

PM3: Punto de monitoreo 3 (*Nasturtium officinale*)

Frecuencia de monitoreo

Se realizaron en un periodo de 4 meses los parámetros de DBO₅, DQO y OD, los cuales fueron evaluados con una prolongación de una vez por mes en el afluente y efluente de cada uno de los recipientes utilizando *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale*, los cuales posteriormente fueron enviados al Laboratorio Regional del Agua en la ciudad de Cajamarca.

Parámetros de campo

Castillo (2017), indica que las determinaciones de estos parámetros se realizaron directamente en cada uno de los puntos de monitoreo establecidos para lo cual se procederá de la siguiente manera:

Tiempo de retención hidráulica; se determinará en cada uno de los recipientes (cada sistema de tratamiento consta de dos recipientes), haciendo el uso de la siguiente fórmula:

$$TRH = Vr/Q$$

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulica (días)

Vr : Volumen del reactor (m³)

Q : Caudal del sistema (m³/día)

En nuestro caso el sistema consistió de 04 recipientes (caja duraplast # 220) de plástico, 2 recipientes en serie para cada sistema de tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale* con las siguientes dimensiones: largo 0.77 m, ancho 0.48 m y alto 0.40 m con el 1% de pendiente al interior de cada recipiente.

El caudal en cada sistema en serie utilizando *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale* fue de 0.0432 m³/ día. (Castillo 2017)

De los cuales el tiempo de retención hidráulica (TRH) para cada recipiente fue de 3.44 días llegando a los 6.88 días por cada sistema de tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale*.

Tamaño y tipo de muestra

Se lo realizó de acuerdo a lo estipulado por el Laboratorio Regional del Agua en la ciudad de Cajamarca.

Tabla 4. Requisitos para la toma de muestra de agua y preservación.

Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra	Tipo de matriz	Preservación	Tiempo máximo de duración
DBO ₅	Plástico o vidrio	1000 ml	Agua residual	Refrigerar a 4° C	24 horas
DQO	Plástico o vidrio	100 ml	Agua residual	Refrigerar, 4°c agregar H2SO4 hasta pH < 2	28 días
OD	vidrio	300 ml	Agua residual	Agregar sulfato manganoso y solución yoduro alcalina	8 horas

Fuente: DIGESA, 2006

*MINAGRI, 2011

b) Fase de laboratorio

Esta fase será exclusiva del laboratorio el cual se encargó de la fiabilidad de los resultados, aplicándose la técnica de análisis de muestras para cada parámetro.

Pasos para el análisis de cada parámetro

Conservación de las muestras.

Preparación de las muestras.

Análisis de las muestras.

Entrega de resultados.

En el laboratorio se produjeron resultados analíticos útiles para el procesamiento de la información, dada la trascendencia de los informes de laboratorio, pueden tener resultados evidentes, todo laboratorio debe de disponer de un sistema que asegure la calidad de sus resultados.

Tabla 5. Técnica de recolección de datos de laboratorio.

Parámetro	Técnica/norma de referencia	Tipo de matriz
DBO₅	ISO 5815-1: 2003.- Calidad del agua. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno después de n días (DBOn). Parte 1: Método de dilución y siembra con adición de aliltiurea.	Agua residual
DQO	SM 5220. Demanda química de oxígeno (DQO)	Agua residual
OD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 4500-OC, 22 ndEd. 2012: Oxígeno (disuelto). Modificación de azida	Agua residual

Fuente: Adaptado de Castillo, 2017

c) Fase de gabinete

Técnicas de procesamiento de datos fisicoquímicos para obtener los valores de remoción.

Obtenidos los resultados emitidos por el laboratorio, se procedió a realizar el cálculo de los valores promedios de DBO₅, DQO y OD, de la misma manera ocurrió con los datos de campo como es temperatura y pH en cada punto de monitoreo utilizando las macrofitas. Castillo (2017), utilizó la siguiente fórmula que se presenta a continuación:

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

Donde:

\bar{X} = promedio aritmético

Σ = sumatoria de los datos

x = valor individual de cada dato

n = número de datos

Haciendo uso de los valores promedios de DBO₅, DQO y OD; obtenidos en cada punto de monitoreo se procedió a calcular el porcentaje de remoción de compuestos orgánicos para cada uno de los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale*. (Castillo 2017)

$$\% \text{ n remoción} = \frac{\text{N afluyente} - \text{N efluente}}{\text{N afluyente}} \times 100$$

Donde:

n = Eficiencia de remoción (%)

N afluyente = concentración de DBO₅ en la entrada

N efluente = concentración de DBO₅ en la salida

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Eficiencia de *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale*), en la remoción de DBO₅ y DQO del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendín.

4.1 Características fisicoquímicas de la (DBO₅)

Tabla 6. Resultados de la DBO₅ para el periodo en estudio (mg O₂/l).

Parámetro	Unidad	LCM	Tratamientos	Resultados			
				2018		2019	
				Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DB ₅)	mg O ₂ /l	2.6	PM1 - TD	32.9	73.4	58.4	58.7
			PM2 - JA	5.3	15.8	3.6	7
			PM3 - B	30.2	81.2	21.2	22.4

En la tabla 6 y figura 8, se observa que en el tanque de distribución o patrón (PM1 - TD) existen valores que se encuentran en un rango de 32.9 mg O₂ /l y 73.4 mg O₂ /l, al aplicar *E. crassipes* (PM2 - JA) los datos han bajado en comparación al agua patrón 5.3 mg O₂ /l y 15.8 mg O₂ /l, al utilizar *N. officinale* (PM3 - B) existe una disminución significativa pero en menor proporción a *E. crassipes* que esta entre 21.2 mg O₂ /l y 81.2 mg O₂ /l, a excepción del mes de enero con respecto al agua patrón vemos que *N. officinale* ha dado un aumento significativo, esto es debido a que la especie estaba adaptándose a estos sistemas de tratamiento con agua residual.

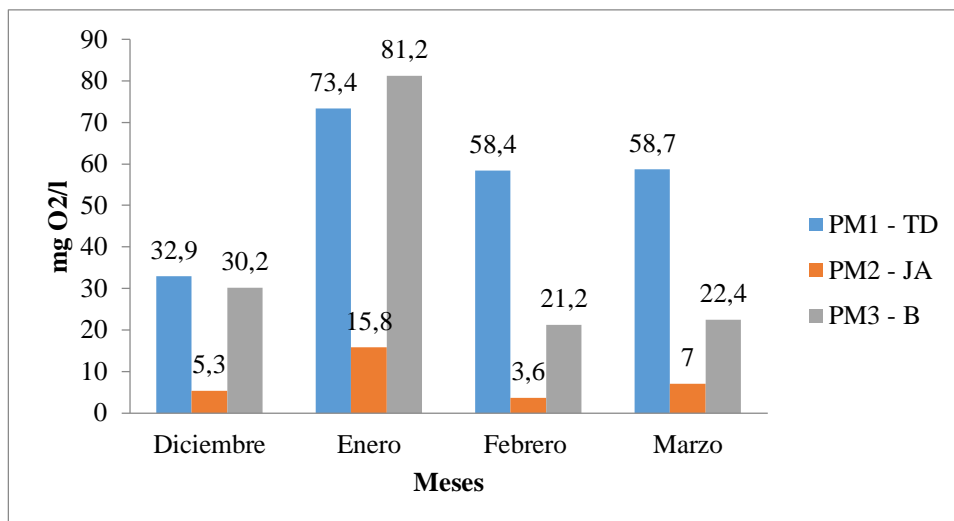


Figura 8. Histograma de los valores de la DBO₅ para el periodo en estudio (mg O₂/l).

Con los datos obtenidos se efectuó el cálculo de los valores promedios de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), en cada sistema de tratamiento utilizando *E. crassipes* y *N. officinale*.

Tabla 7. Valores promedio de la DBO₅.

Parámetro	Unidad	LCM	Tratamientos	Promedio
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DB₅)	mg O ₂ /l	2.6	PM1 - TD	55.85
			PM2 - JA	7.93
			PM3 - B	38.75

En la tabla 7, se observa los diferentes promedios de DBO₅, en el tanque de distribución (PM1 - TD) obtuvimos 55.85 mg O₂/l, *E. crassipes* (PM2 - JA) 7.93 mg O₂/l, indicando que ha ocurrido una disminución significativa con respecto al agua patrón y con *N. officinale* (PM3 - B) 38.75 mg O₂/l, ocurriendo una diferencia, pero en menor cantidad en relación a *E. crassipes*.

La razón para una mayor remoción de DBO₅ en *E. crassipes* se debe al sistema de la raíz de la planta, que actúa como medios adecuados para el crecimiento microbiano proporcionando condiciones de oxigenación para la eliminación microbiana de contaminantes orgánicos.

Valderrama (2005), indica que la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), se debe en estos sistemas tratados con plantas acuáticas a que las raíces densas proporcionan más sitios de adhesión para las colonias bacterianas degradadoras de materia orgánica y actúan como filtros de material particulado.

por lo tanto, haciendo uso de estos valores promedios procederemos a realizar el porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) para cada uno de los tratamientos con *E. crassipes* y *N. officinale*.

Tabla 8. Porcentajes de remoción de la DBO₅.

Parámetro	Unidad	LCM	Tratamientos	% Remoción
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DB₅)	mg O ₂ /l	2.6	PM2 – JA	85.80
			PM3 - B	30.62

En la tabla 8 y figura 9, observamos que *N. officinale* (PM3 - B) obtiene 30.62 % y *E. crassipes* (PM2 - B) 85.80 %, lo que significa que *E. crassipes* en la remoción de (DBO₅) es el más eficiente alcanzando un porcentaje elevado a comparación de *N. officinale*.

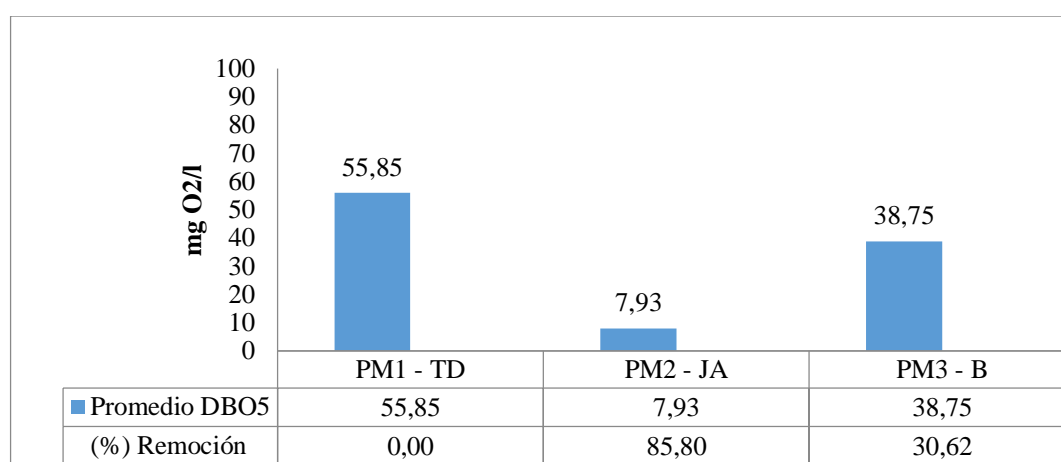


Figura 9. Histograma de los valores promedio y porcentaje de la remoción de la DBO₅.

Los valores indican que la especie más eficiente en la remoción de DBO₅ es *E. crassipes* obteniendo 85.80 % a comparación de *N. officinale* con 30.62%, estos resultados son corroborados con el estudio de Coronel (2016), quien manifiesta que *E. crassipes* logró

una disminución del 95,55%. Obando citado por Coronel (2016), comenta que *E. crassipes* removió en un 89,3%. Olguín (2004), menciona que los porcentajes en DBO₅ fue de 65%. Rodríguez, *et al.* (s/f), logró que *E. crassipes* reduzca en un rango de 80-90%. García (2012), señala que *E. crassipes* presentó una eliminación de 26.7%. Rodríguez, *et al.* (s/f), en un ensayo con *E. crassipes* fue de 65.53% y Saavedra (2017), en su investigación indica que el resultado obtenido para el parámetro de DBO₅ fue de 65.18%.

4.2 Características fisicoquímicas de la DQO

Tabla 9. Resultados de la DQO para el periodo en estudio (mg O₂/l).

Parámetro	Unidad	LCM	Tratamientos	Resultados			
				2018		2019	
				Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /l	8.3	PM1 - TD	202.1	165	198.7	354.2
			PM2 - JA	37.1	51.1	27.2	28.7
			PM3 - B	127.3	192	127.8	146.8

En la tabla 9 y figura 10, observamos que en el tanque de distribución (PM1 - TD) existen valores que se encuentran en un rango de 165 mg O₂ /l y 354.2 mg O₂ /l, al aplicar *E. crassipes* (PM2 - JA) los datos han bajado en comparación al agua patrón 27.2 mg O₂ /l y 51.1 mg O₂ /l, al utilizar *N. officinale* (PM3 - B) existe una disminución significativa pero en menor proporción a *E. crassipes* que esta entre 127.3 mg O₂ /l y 192 mg O₂ /l, a excepción del mes de enero con respecto al agua patrón vemos que *N. officinale* ha dado un aumento, esto es debido a que la especie estaba adaptándose a estos sistemas de tratamiento con agua residual.

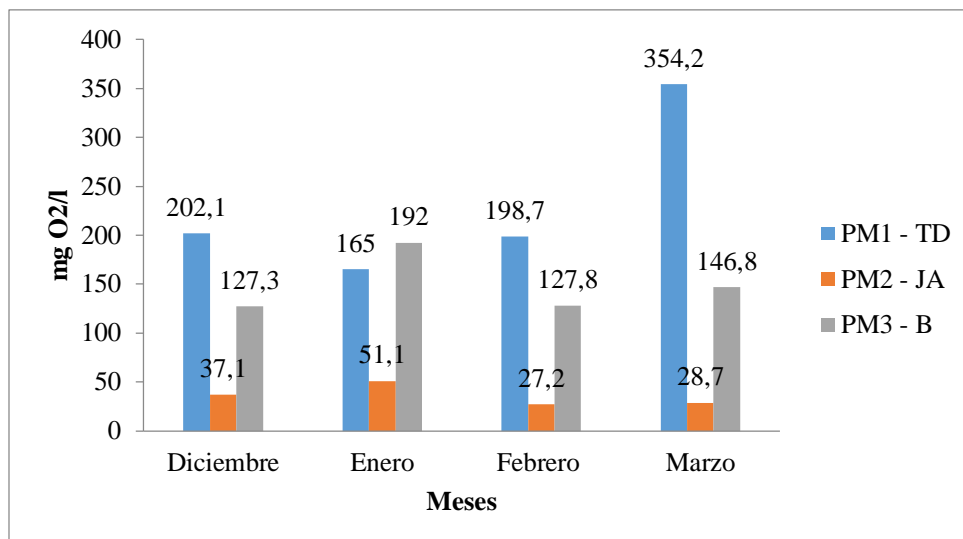


Figura 10. Histograma de los valores de la DQO para el periodo en estudio (mg O₂/l).

A continuación, veremos los valores promedios de los sistemas de tratamiento.

Tabla 10. Valores promedio de la DQO.

Parámetro	Unidad	LCM	Tratamientos	Promedio
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /l	8.3	PM1 - TD	230
			PM2 - JA	36.03
			PM3 - B	148.48

En la tabla 10, se observa los diferentes promedios de DQO, en el tanque de distribución (PM1 - TD) obtuvimos 230 mg O₂/l, *E. crassipes* (PM2 - JA) 36.03 mg O₂/l indicando que ha ocurrido una disminución significativa con respecto al agua patrón y con *N. officinale* (PM3 - B) 148.48 mg O₂/l, ocurriendo una diferencia, pero en menor cantidad con relación a *E. crassipes*.

García (2012), dice que la demanda química de oxígeno (DQO) es un indicador de las sustancias orgánicas biodegradables y no biodegradables con una solución de dicromato, algunos compuestos orgánicos como lignina pueden ser oxidados químicamente, y la concentración es mayor que la DBO₅.

De todos estos promedios obtenidos, procederemos a calcular el porcentaje de remoción en los tratamientos con *E. crassipes* y *N. officinale*.

Tabla 11. Porcentajes de remoción de la DQO.

Parámetro	Unidad	LCM	Tratamientos	% Remoción
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /l	8.3	PM2 - JA	84.33
			PM3 - B	35.44

En la tabla 11 y figura 11, observamos que *N. officinale* (PM3 - B) obtiene 35.44 % y *E. crassipes* (PM2 - JA) 84.33 % lo que significa que *E. crassipes* en la remoción de (DQO) es el más eficiente alcanzando un porcentaje elevado a comparación de *N. officinale*. Estos resultados obtenidos concuerdan con la investigación de Valderrama *et al.* (2014), donde *E. crassipes* logró una remoción de DQO del 83%, por su parte León y Lucero (2009), en su estudio indica que la especie que tuvo mayor remoción de este parámetro es *E. crassipes* con el 76,30%.

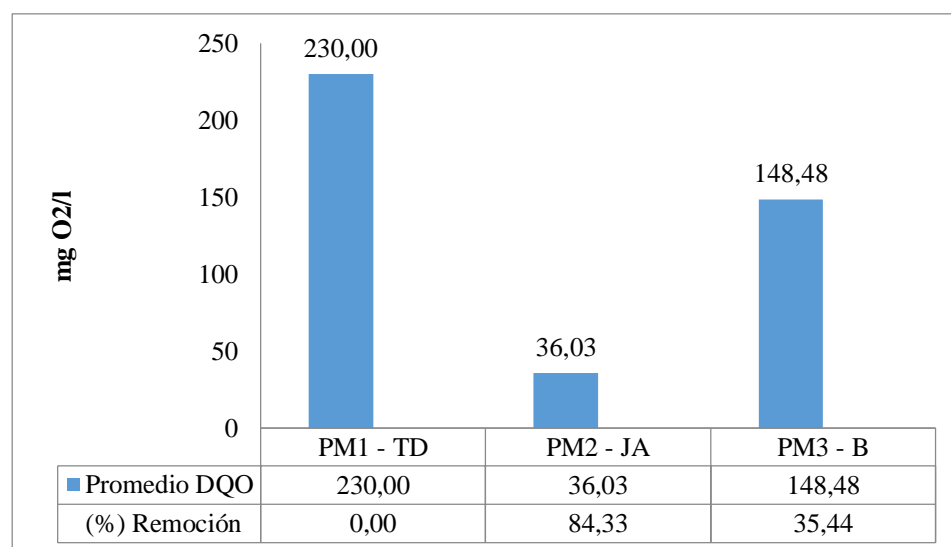


Figura 11. Histograma de los valores promedio y porcentajes de la remoción de la DQO.

Los datos indican que la especie más eficiente en la remoción de DQO es *E. crassipes* obteniendo un valor de 84.33% a comparación de *N. officinale* con 35.44%, estos resultados son corroborados con el estudio de Coronel (2016), quien menciona que *E. crassipes* obtuvo una eficiencia de 93,09%. Olguín (2004), señala que los porcentajes de DQO fue de 95%. Rodríguez, *et al.* (s/f), en su ensayo realizado muestra que

E. crassipes fue de 47.78% y Saavedra (2017), en su investigación dice que los resultados fueron de 57.18%.

4.3 Parámetros fisicoquímicos de OD

Tabla 12. Resultados del OD para el periodo en estudio (mg O₂/l).

Parámetro	Unidad	LCM	Tratamientos	Resultados			
				2018 Diciembre	Enero	2019 Febrero	Marzo
Oxígeno			PM1 - TD	1.9	1.9	2.09	<LCM
Disuelto	mg O ₂ /l	0.5	PM2 - JA	2.5	3.1	2.07	1.95
(OD)			PM3 - B	2	3.4	4.27	<LCM

(*) La concentración de oxígeno disuelto (OD) es menor al LCM (Límite de cuantificación del método) del Laboratorio establecido (0.5 mg/L).

En la tabla 12 y figura 12, observamos que en el tanque de distribución (PM1 - TD) y en el tratamiento con *N. officinale* (PM3 - B) adquirimos un resultado así (<LCM), lo cual significa que los resultados son menores al límite de cuantificación del método que para el oxígeno disuelto es < 0.5 mg/L, por lo tanto cuando se analizaron las muestras tuvieron un valor < 0.5 mg/L y según el método de ensayo se deben reportar como < LCM, lo que indica que en ese mes no se aprecia crecimiento en la muestra.

También se observa que en el tanque de distribución (PM1 - TD) los valores están en un rango de 1.9 mg O₂ /l y 2.09 mg O₂ /l, al aplicar *E. crassipes* (PM2 - JA) vemos que hay una mejora de oxigenación de 2.05 mg O₂ /l y 3.1 mg O₂ /l y al utilizar *N. officinale* (PM3 - B) existe un avance significativo de oxigenación a comparación del *E. crassipes* que esta entre 2 mg O₂ /l y 4.27 mg O₂ /l.

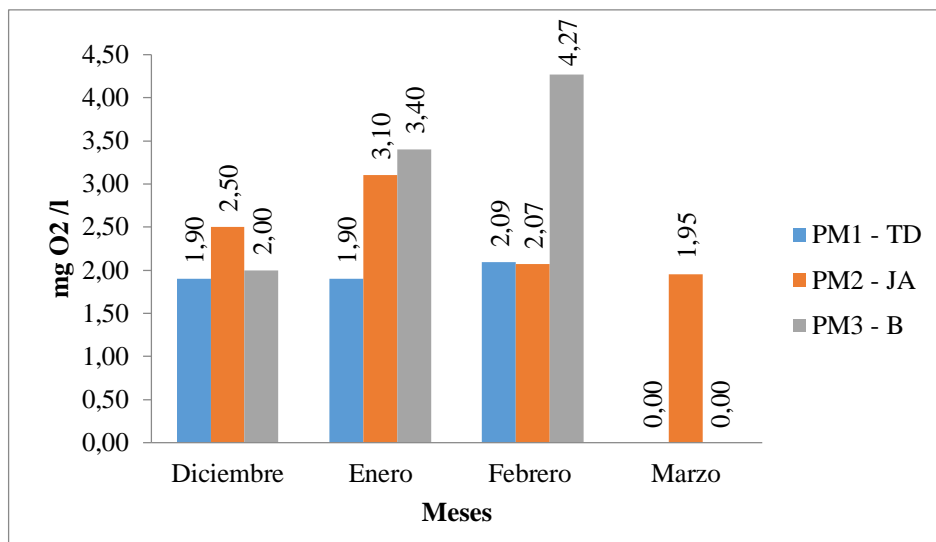


Figura 12. Histograma de los valores del OD para el periodo en estudio (mg O₂/l).

García (2012), menciona que la presencia de oxígeno disuelto en el agua es indispensable para la vida de peces y otros seres acuáticos, el problema es la baja solubilidad de este gas en el agua, además la cantidad de oxígeno en el agua depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión.

Tabla 13. Valores promedio del OD.

Parámetro	Unidad	LCM	Tratamientos	Promedio
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /l	0.5	PM1 - TD	1.96
			PM2 - JA	2.56
			PM3 - B	3.22

En la tabla 13, se observa los diferentes promedios de OD, en el tanque de distribución, (PM1 - TD) obtuvimos 1.96 mg O₂/l, *E. crassipes* (PM2 - JA) 2.56 mg O₂/l, indicando un crecimiento significativo con respecto al agua patrón y con *N. officinale* (PM3 - B) 3.22 mg O₂/L, alcanzando un aumento progresivo a comparación de *E. crassipes*.

De todos estos promedios obtenidos, procederemos a calcular el porcentaje de remoción con los tratamientos de *E. crassipes* y *N. officinale*.

Tabla 14. Porcentajes de remoción de OD.

Parámetro	Unidad	LCM	Tratamientos	% Remoción
Oxígeno Disuelto (DQO)	mg O ₂ /l	0.5	PM2 - JA PM3 - B	30.61 64.29

En la tabla 14 y figura 13, observamos que *E. crassipes* (PM2 - JA) obtiene 30.61 % y *N. officinale* (PM3 - B) 64.29 %, lo que significa que dicha especie alcanza un incremento progresivo a comparación de *E. crassipes*, indicando una mayor tasa de liberación de oxígeno.

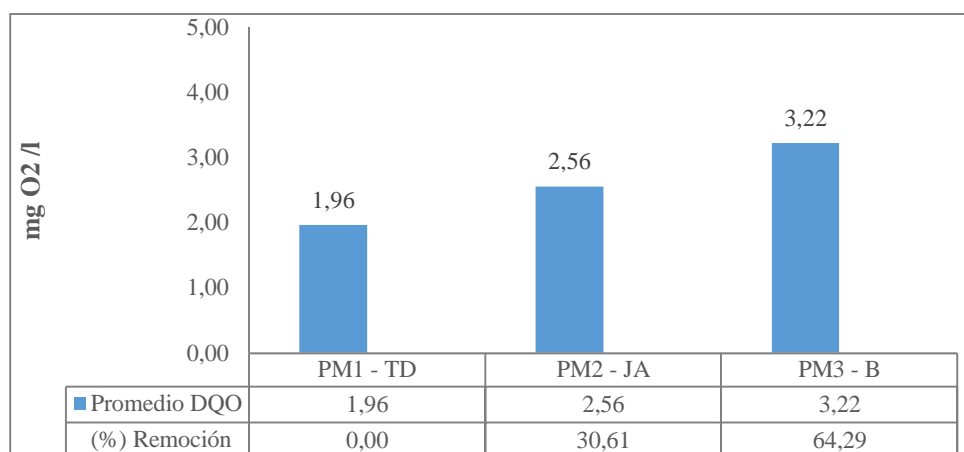


Figura 13. Histograma de los valores promedio y porcentaje de la remoción del OD.

Los datos indican que la especie más eficiente en la remoción de OD es *N. officinale* obteniendo un valor de 64.29% a comparación de *E. crassipes* con 30.61%. Castillo (2017), menciona que *E. crassipes* alcanza un valor promedio de 3.06 mg O₂ /l significando un incremento de 107 %, mejorando considerablemente las condiciones de oxigenación del agua. Coronel (2016), indica que *E. crassipes* aumentó esta concentración a 6,75 mg O₂/l expresando un aumento del 96 % para este parámetro.

4.4 Parámetros fisicoquímicos de temperatura (°C)

La temperatura en nuestro estudio de investigación se lo realizó durante tres meses en la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín, con un termómetro ambiental totalmente calibrado, los valores de los resultados obtenidos en campo se encuentran en el anexo 4.

Tabla 15. Resultados de la Temperatura (°C) para el periodo en estudio.

N°	Localización de la muestra	Tratamientos	Temperatura (°C)		
			Diciembre	Enero	Febrero
1	PTAR-Celendín	PM1 - TD	15.3	17.5	16.9
2	PTAR-Celendín	PM2 - JA	14.7	16.3	16.1
3	PTAR-Celendín	PM3 - B	15	16.8	16.1

En los resultados obtenidos de la tabla 15 y figura 14, se observa que existe un rango de temperatura que oscila entre 14.7 °C y 17.5 °C, los cuales nos indican que dichas temperaturas están dentro de la calidad óptima de aguas residuales, además vemos que *E. crassipes* (PM2 – JA), logra valores menores de temperatura que *N. officinale* (PM3 – B).

Los estudios realizados por Valderrama, *et al.* (2014) muestra que los valores de temperatura en este tipo de medios pueden variar a diferentes horas del día según la cantidad de heliofanía (cantidad de brillo del sol) que reciban los sistemas.

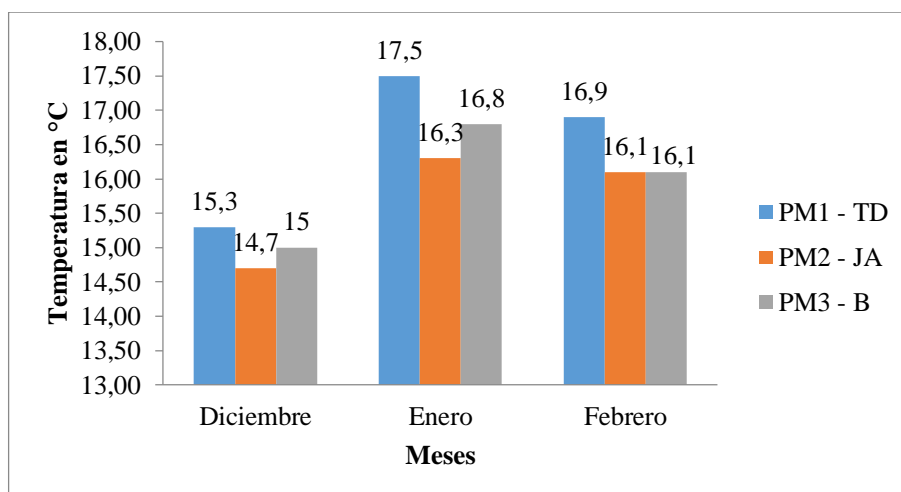


Figura 14. Histograma de los valores de Temperatura (°C) para el periodo en estudio.

A continuación, presentamos los valores promedio de temperatura (°C) por cada punto de monitoreo.

Tabla 16. Valores promedio de temperatura (°C).

Temperatura (°C)			
N°	Localización de la muestra	Tratamientos	Promedio
1	PTAR-Celendín	PM1 - TD	16.6
2	PTAR-Celendín	PM2 - JA	15.7
3	PTAR-Celendín	PM3 - B	16.0

De los resultados obtenidos en la tabla 16 y figura 15, indica que *N. officinale* mantiene al agua con mayor temperatura que *E. crassipes*, esto es debido a que aumentó a 16 °C, sin embargo *E. crassipes* disminuyó a 15.7 °C. Esto es corroborado por el trabajo de García (2012) donde indica que la temperatura en aguas tratadas con *E. crassipes* puede disminuir hasta en un 3,9 °C, debido a la sombra que proveen sus hojas gruesas y anchas.

Celis *et al.* (2005), indica que la factibilidad de utilizar plantas acuáticas depende muchas veces de la temperatura ambiental, pues ellas presentan actividad estacional que pueden afectar seriamente su rendimiento en sistemas de tratamiento de aguas industriales que deben operar todo el año.

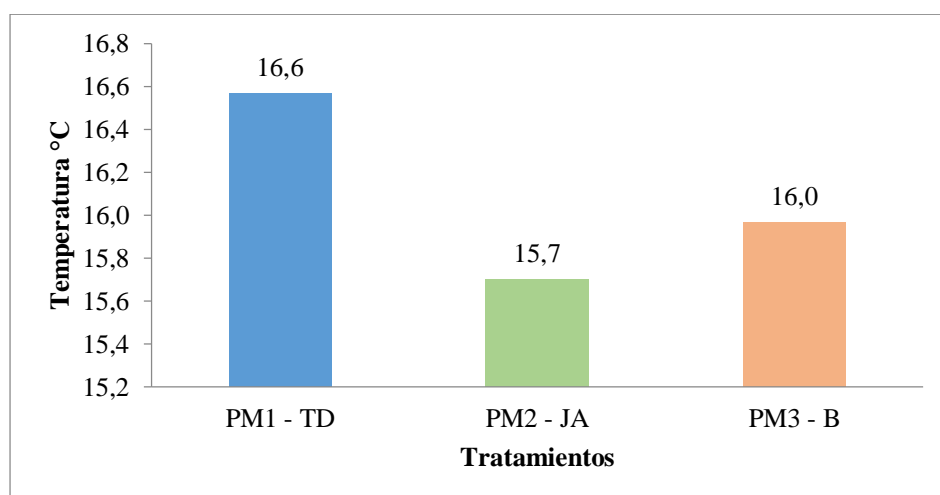


Figura 15. Histograma de los valores promedio de temperatura (°C).

Los resultados muestran que *E. crassipes* tiene un promedio de 15.7 °C y *N. officinale* 16 °C, estos valores son corroborados con los estudios realizados por Castillo (2017), quien alcanzó 18.63 °C para el sistemas de tratamiento con *E. crassipes*, en dicho estudio muestra que el valor de temperatura en este tipo de sistema se encuentra dentro del rango óptimo para el desarrollo de esta especie y que también genera condiciones óptimas para los procesos de remoción influyendo considerablemente en las velocidades de las reacciones químicas. Coronel (2016), en su investigación con *E. crassipes* logró 19,98 °C, lo cual indica que está por debajo de los límites máximos permisibles, y por ende es óptima para el desarrollo y funcionamiento de dicha especie.

4.5 Parámetros fisicoquímicos de pH

El análisis de pH realizado en nuestro estudio de investigación consistió en traer en traer las muestras de campo en botellas de plástico (PET) debidamente esterilizados, luego fue llevado al laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca con sede en Celendín, para posteriormente ser analizado con el potenciómetro debidamente calibrado, los valores obtenidos se encuentran en el anexo 5.

Tabla 17. Resultados del pH para el periodo en estudio.

pH					
N°	Localización de la muestra	Tratamientos	Resultados		
			Diciembre	Enero	Febrero
1	PTAR-Celendín	PM1 - TD	8.1	8	8.1
2	PTAR-Celendín	PM2 - JA	7.1	6.9	7
3	PTAR-Celendín	PM3 - B	7.1	7.5	7.8

En la tabla 17 y figura 16, se observa los diferentes valores de pH en ambos tratamientos con *E. crassipes* (PM2 - JA) y *N. officinale* (PM3 - B), los cuales se encuentran en un rango de 6.9 y 8.1 demostrando que estas aguas residuales están entre pH neutro y ligeramente alcalinas.

Aguilar (2012), menciona que el pH óptico varía según la composición del agua y el tipo de materiales de construcción utilizados en el sistema de distribución, pero con frecuencia se sitúa entre 4,0 a 9,0. Los valores extremos del pH pueden ser resultados de vertimientos accidentales, de interrupciones del proceso de tratamiento o del curado insuficiente del revestimiento del mortero de cemento manipulado en las tuberías.

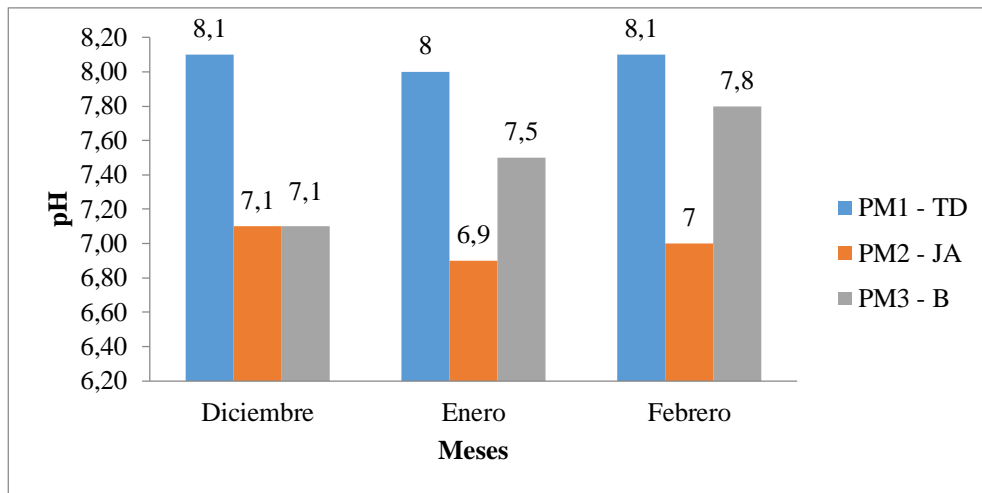


Figura 16. Histograma de valores de pH para el periodo en estudio.

A continuación, presentamos los valores promedio de pH por cada punto de monitoreo.

Tabla 18. Valores promedio de pH.

pH			
N°	Localización de la muestra	Tratamientos	Promedio
1	PTAR-Celendín	PM1 - TD	8.1
2	PTAR-Celendín	PM2 - JA	7
3	PTAR-Celendín	PM3 - B	7.5

De la tabla 18 y figura 17, se observa que el tanque de distribución (PM1 - TD) tiene un pH 8.1, demostrando que es un agua alcalina, *E. crassipes* (PM2 – JA) tiene un valor de 7 indicando que es un pH neutro, que no es ni ácido ni tampoco básico o alcalino esto concuerda con las observaciones obtenidos de Coronel (2016) quien señala que la remoción de parámetros químicos demuestran que *E. crassipes* logra que el pH del agua residual se acerque a la neutralidad, en donde comenta que hubo una agua patrón con 8.73 de pH y *E. crassipes* logro bajarlo hasta 7.20.

En el tratamiento con *N. officinale* (PM3 - B) obtuvimos un valor de 7.5 de pH el cual nos indica que es un agua ligeramente alcalina, estos datos de pH obtenidos en ambos tratamientos nos indican que están en el rango óptimo para que exista la vida biológica.

Aguilar (2012), menciona que la alcalinidad es importante en muchos usos y tratamientos de aguas naturales y residuales. la alcalinidad de muchas aguas de superficie depende primordialmente de su contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que suele tomarse como una indicación de la concentración de estos componentes.

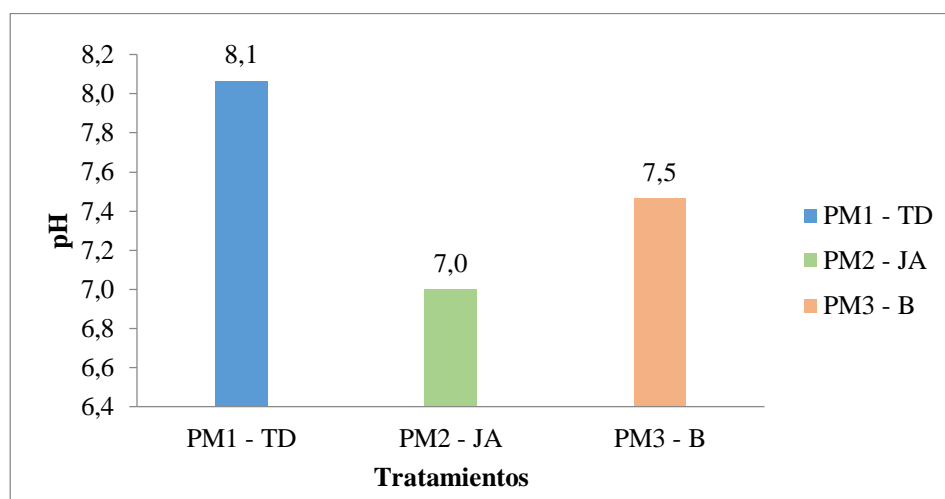


Figura 17. Histograma de los valores promedio de pH.

Los resultados muestran que *E. crassipes* tiene un pH promedio de 7 y *N. officinale* de 7.5, estos valores son corroborados con los estudios de Rodier (1986), quien menciona que 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. Castillo (2017), en su estudio menciona que el tratamiento con *E. crassipes* tiende a neutralizar ligeramente el agua residual al disminuirlo a un valor de 7.25. Valderrama, *et al.* (2014), manifiesta que *E. crassipes* estabiliza el pH y contribuye a producir valores más cercanos a la neutralidad del agua corroborando así lo dicho en esta investigación.

4.6 Parámetros fisicoquímicos de caudal (Q)

Como todos sabemos el caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río y canal) por unidad de tiempo, normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

En temas de ingeniería el caudal es fundamental para garantizar la seguridad de la estructura en construcción, en nuestro caso, la medición del caudal en diversos estudios de investigación tiene una importancia muy grande, ya que de estas mediciones depende muchas veces el buen funcionamiento del sistema en estudio.

En nuestra investigación trabajamos con un caudal de 0.0432 m³/día, el cual se lo realizó con la ayuda de un cronometro y un vaso de laboratorio con sus medias respectivas en cada sistema de tratamiento con *E. crassipes* y *N. officinale*, distribuidos desde el tanque, mediante tubos de 1/2" y una llave de paso.

Tabla 19. Medición del caudal en cada sistema de tratamiento.

N°	Tratamientos	Caudal (m ³ /día)
1	<i>Eichhornia crassipes</i>	0.0432
2	<i>Nasturtium officinale</i>	0.0432

4.7 Parámetros fisicoquímicos del (TRH).

El Tiempo de Retención Hidráulica es el tiempo que una unidad de fluido permanece en un recipiente, es decir, el tiempo que el líquido que entra en tu recipiente tarda en salir del mismo, o también podríamos decir que el TRH es un parámetro que mide la relación expresada en horas entre el caudal a tratar y el volumen del depósito de aireación, en el tratamiento de aguas residuales.

El tiempo de retención hidráulica, para nuestro estudio de investigación fue de 3.44 días por recipiente llegando a los 6.88 días por cada sistema de tratamiento con *E. crassipes* y *N. officinale*; 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.

A continuación, presentamos la fórmula para la medida del tiempo de retención hidráulica (TRH):

$$TRH = Vr/Q$$

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulica (días)

V_r : Volumen del reactor (m³)

Q : Caudal del sistema (m³/día)

Tabla 20. Medida del (TRH) en cada sistema de tratamiento.

N°	Tratamientos	TRH (días)
1	<i>Eichhornia crassipes</i>	6.88
2	<i>Nasturtium officinale</i>	6.88

Tabla 21. Comparación de los resultados obtenidos de los tratamientos con los Límites Máximos para los efluentes de la PTAR.

Parámetro	Unidad de medida	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Nasturtium Officinale</i>	LMP
Temperatura	°C	15.7	16	<35
pH	Unidad	7	7.5	6,5-8,5
Oxígeno disuelto	mg O ₂ /L	2.56	3.22	-
DBO ₅	mg O ₂ /L	7.93	38.75	100
DQO	mg O ₂ /L	36.03	148.48	200

Los parámetros fisicoquímicos que se compararon con los límites máximos permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales especificados en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM son temperatura, pH, demanda bioquímica de oxígeno (DQO₅) y demanda química de oxígeno (DQO), todos estos valores como podemos observar en la tabla 21 presentaron valores inferiores a los límites máximos permisibles; el parámetro de oxígeno disuelto no se pudo comparar, debido a que no están especificados sus límites de permisibilidad.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los procesos de remoción en los parámetros fisicoquímicos de DBO₅ Y DQO son diferentes en cada sistema de tratamiento, puesto que *E. crassipes* logró una eficiencia de remoción de 85,80 % de DBO₅ y para la DQO una eficiencia de remoción de 84.33 % mientras que *N. officinale* alcanzó una eficiencia de remoción de 30.62 % de DBO₅ y para la DQO una eficiencia de remoción de 35.44 %, por lo que se llegó a la conclusión que la especie más eficiente en la remoción de DBO₅ y DQO del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín es *E. crassipes*, debido a que logro una mayor remoción.

El oxígeno disuelto promedio en *E. crassipes* logró un valor de 2.56 mg O₂ /l alcanzando una eficiencia de remoción 30.61% y para *N. officinale* un valor de 3.22 mg O₂ /l alcanzando una eficiencia de remoción 64.29%, lo cual nos da a entender que la especie más eficiente en remoción de oxígeno disuelto es *N. officinale*, puesto que logro una mayor remoción de este parámetro.

La temperatura promedio en la especie *E. crassipes* logró un valor de 15.7 °C y para *N. officinale* 16 °C, encontrándose dentro de los rangos aceptables para su funcionamiento.

El pH promedio en la especie *E. crassipes* logró un valor de 7 y para *N. officinale* 7.5, encontrándose dentro de los rangos aceptables.

El caudal utilizado fue de 0.0432 m³/día con un tiempo de retención hidráulica 6.88 días en cada sistema de tratamiento con *E. crassipes* y *N. officinale* logrando así una mejor depuración de procesos.

Las aguas residuales tratadas tanto por *E. crassipes* y *N. officinale* presentaron concentraciones de temperatura, pH, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno por debajo de los límites máximos permisibles, mientras que oxígeno disuelto no pudo ser comparado por no estar especificados sus límites de permisibilidad.

Preferentemente se recomienda la aplicación de *E. crassipes* como un tratamiento terciario, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Celendín, puesto que en este estudio se corroboró su mejor adaptabilidad en este tipo de aguas, demostrando su mayor capacidad de remoción de contaminantes de los parámetros fisicoquímicos en los diferentes sistemas de tratamiento.

También se invita a realizar más estudios con respecto a la especie *N. officinale*, ya que en nuestro estudio de investigación tiene un gran potencial con respecto al parámetro de Oxígeno Disuelto.

Según la investigación ejecutada, se recomienda realizar estudios con *E. crassipes* y *N. officinale* a mayor profundidad ya que en nuestra investigación fue de 0.40 m, como también realizar en diferentes estaciones del año y a más largo plazo con la finalidad de evaluar las diferentes características fisicoquímicas de eficiencia de remoción frente a estos medios.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Zamora, NC. 2012. Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para agua apta para el consumo humano de Concepción Quezaltepeque, Chalatenango. Tesis Lic. Quím. Y Farm. San Salvador, El Salvador, Centroamérica, UES. 142p.
- 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. 116p.
- Camacho Pinto, JA; Ordoñez Niño, LJ. 2008. Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia crassipes* para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Tesis Ing. Sanit. Y Amb. Bucaramanga, Bogotá, UPB. 169p.
- Castillo Rojas, EW. 2017. eficiencia de *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín. Tesis Ing. Amb. Cajamarca, Perú, UNC. 107p.
- Celis Hidalgo, J; Junod Montano, J; Sandoval Estrada, M. 2005. Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. Theoria, Chillán, Chile; 01 jul.
- CENTA (Centro de las nuevas tecnologías del agua de sevilla). 2008. Manual de depuración de aguas residuales.
- Coronel Castro, E. 2016. Eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas - Chachapoyas, 2015. Tesis Ing. Amb. Chachapoyas, Perú, UNTRM. 96p.

- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. 2010. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales. Lima, Perú. El Peruano. 3p.
- Delgadillo, O; Camacho, A; Pérez, L; Andrade, M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba, Bolivia, Universidad Mayor de San Simón. 115p.
- García, L. 1999. Teoría de la medición de caudales y volúmenes de agua e instrumental necesario disponible en el mercado.
- García Trujillo, ZM. 2012. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis Ing. Sanit. Lima, Perú, UNI. 282p.
- Huertas, R; Marcos, C; Ibaguen, N; Ordás, S. 2012. Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Madrid, España. 70p.
- Huamán Tito, JZ; Rumaja Santos, A. 2017. Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies vegetales *nasturtium officinale* w. *t. aiton* (Berro) e *hydrocotyle ranunculoides* l. f. (Matecillo) en relación a la contaminación con mercurio a diferentes concentraciones. Tesis QF. Cusco, Perú, UNSAAC. 150p.
- Jaramillo Jumbo, MC; Flores Campoverde, ED. 2012. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Tesis Ing. Amb. Cuenca, Ecuador, UPS. 128p.
- León Espinoza, M; Lucero Peralta, AM. 2009. Estudio de *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Canton Cotacachi. Tesis Ing. RENARE. Ibarra, Ecuador, UNT. 188p.

- Londoño Cardona, LA; Marín Vanegas, C. 2009. Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética. Tesis Tlngo Quím. Pereira, Colombia, UTP. 215p.
- Noyola, A. 2003. Tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Latinoamérica. Ciudad de México, México. Instituto de Ingeniería UNAM. 9p.
- Olgún Palacios, EJ. 2004. Evaluación del potencial de fitorremediación de *Pontederia cordata* para remover materia orgánica. Unidad de Biotecnología Ambiental. Instituto de Ecología, A.C. Km 2.5 carretera antigua a Coatepec 351 Cong. México.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y UN-Hábitat (Programa de Asentamientos Humanos de las Naciones Unidas). 2010. Sick Water: The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development.
- Poveda O, RA. 2014. Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizada en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Tesis Ing. Bioquím. Ambato, Ecuador, UTA. 181p.
- Rodier, J. 1986. Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales y agua de mar. 1 ed. España. Ediciones Omega.
- Rodríguez Pérez, AC; Díaz Marrero, M; Guerra Díaz, L; Hernández de Armas, JM. s.f. Acción Depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las Aguas Residuales.
- 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.
- Saavedra, B. 2017. Aplicación de macrofitas 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.

Valderrama, L. 2005. Las plantas acuáticas una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Bogotá, Colombia. Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental.

Valderrama, LT.; 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.

ANEXOS

Anexo 1. Solicitud de permiso para la ejecución de tesis en la PTAR de Celendín

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

SOLICITO: Permiso para ejecución de tesis de investigación

Lic. César Flores Berrios.

Director Ejecutivo – PROREGION – GORECAJ

Yo, César Augusto Valdivia Rodríguez con DNI. N° 44558080 con domicilio legal en el Jr. Grau # 819 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 DEL JACINTO DE AGUA (*Eichhornia crassipes*) Y EL BERRO (*Nasturtium officinale*) EN LA REMOCIÓN DE DBO₅ Y DQO DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE 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 Aguas Residuales (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.

POR LO EXPUESTO:

Solicito a usted acceder a mi petición por ser de justicia.




Bach: César Augusto Valdivia Rodríguez
Tesisista

Anexo 2. Autorización para la ejecución de tesis por parte de Proregión en la Ciudad de Cajamarca



GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
PROGRAMAS REGIONALES
Oficina de Administración / Unidad de Personal



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

CARTA N° 020 -2018-GR.CAJ/PROREGIÓN/OA/UP

Señor:

CESAR AUGUSTO VALDIVIA RODRÍGUEZ

Bachiller – Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Universidad Nacional de Cajamarca

Presente.-

ASUNTO : Autorización para Ejecución de Tesis

REFERENCIA : Informe Técnico N° 209-2018-GR.CAJ/PROREGION/UI/SDRVR
Cronograma de Investigación

Me dirijo a usted para saludarlo cordialmente y a la vez, en relación al documento de la referencia, concernientes al Proyecto de Tesis "Eficiencia del Jacinto de Agua (Eichhornia crassipes) y el Berro (Nasturtium officinale) en la Remoción de DBO del Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Celendin"; esta Unidad Ejecutora **AUTORIZA EL PERMISO** para el ingreso a la planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y durante cronograma del proyecto de tesis se dispone el uso de 12 m² para la instalación de una caseta y colocación de reactores en serie; 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,


GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
V E DE PROGRAMAS REGIONALES PROREGIÓN
Ing. José C. Alcántara Espino
RESPONSABLE DE UNIDAD DE PERSONAL

C.c.
-U. Ingeniería
-Archivo

Anexo 3. Resultados de los parámetros obtenidos en el laboratorio Regional del Agua en la Ciudad de Cajamarca

	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 1218769			
DATOS DEL CLIENTE/USUARIO			
Razon Social/Usuario	VALDIVIA RODRIGUEZ CÉSAR AUGUSTO		
Dirección	Jr. Grau N° 819 - Celendín		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	cesar.valdiviarodriguez@gmail.com
DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora del Muestreo	26.12.18	Hora:	10:07 a 10:04
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de Muestra	03 Muestras	N° Frascos x muestra	01
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.		
Procedencia de la Muestra:	PTAR - CELENDIN - CAJAMARCA		
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO			
N° Contrato	SC - 874	Cadena de Custodia	CC - 769 - 18
N° Orden de Trabajo	1218769		
Fecha y Hora de Recepción	26.12.18	15:10	Inicio de Ensayo 26.12.18 16:40
Reporte Resultado	02.01.19	11:00	
			
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA  Bigo. Juan V. Diaz Saenz RESPONSABLE CBP 7395			
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA			
Cajamarca, 03 de Enero de 2019.			
Página: 1 de 2			
<small>"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 FON0: 599000 anexo 1140</small>			



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 1218769

ENSAYOS			QUÍMICOS y MICROBIOLÓGICOS					
Código Cliente	PM1 - TD		PM2 - JA	PM3 - B	-	-	-	
Código Laboratorio	1218769-01		1218769-02	1218769-03	-	-	-	
Matriz de Agua	RESIDUAL		RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	
Descripción	Doméstica		Doméstica	Doméstica	-	-	-	
Localización de la Muestra	PTAR Celendín		PTAR Celendín	PTAR Celendín	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O ₂ /L	2.6	32.9	5.3	30.2	-	-	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	202.1	37.1	127.3	-	-	
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	1.9	2.5	2.0	-	-	

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved), Azide Modification.

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación del métodos, los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
Los Resultados Microbiológicos <1,8, 1,0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.
(* 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.

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev:N°05 Fecha : 06/06/2017

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 17025:2008.
- ✓ 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.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 03 de Enero de 2019.



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 0119028

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **VALDIVIA RODRIGUEZ CÉSAR AUGUSTO**
Dirección **Jr. Grau N° 819 - Celendín**
Persona de contacto **-** Correo electrónico **cesar.valdiviarodriguez@gmail.com**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **17.01.19** Hora de Muestreo **09:20 a 09:45**
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de Muestras **03 Muestra** N° Frascos x muestra **01**
Ensayos solicitados **FISICOQUIMICO**
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 - 034** Cadena de Custodia **CC - 028-19**
Fecha y Hora de Recepción **17.01.19 15:30** Inicio de Ensayo **17.01.19 16:40**
Reporte Final de Resultados **24.01.19 10:50**

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

[Firma]
Bigo. Juan V. Díaz Saenz
RESPONSABLE
CBP 7395

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 25 de Enero de 2019.

Página: 1 de 2



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 0119028

ENSAYOS			QUÍMICOS y MICROBIOLÓGICOS					
Código Cliente			PM1 - TD	PM2 - JA	PM3 - B	-	-	-
Código Laboratorio			0119028-01	0119028-02	0119028-03	-	-	-
Matriz			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	73.4	15.8	81.2	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	165.0	51.1	192.0	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	1.9	3.1	3.4	-	-	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica
- (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ 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.
- ✓ 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.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev: N°06 Fecha : 02/01/2019

Cajamarca, 25 de Enero de 2019.

Página: 2 de 2



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 0219098

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **CÉSAR AUGUSTO VALDIVIA RODRÍGUEZ**
Dirección **Jr. Grau N° 819 - Celendín**
Persona de contacto - Correo electrónico **cesar.valdiviarodriguez@gmail.com**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **08.02.19** Hora de Muestreo **08:20 a 08:36**
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de Muestras **03 Muestras** N° Frascos x muestra **03**
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**
Procedencia de la Muestra: **PTAR - CELENDÍN**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 109** Cadena de Custodia **CC - 098 - 18**
Fecha y Hora de Recepción **08.02.19 12:50** Inicio de Ensayo **08.02.19 15:00**
Reporte Resultado **15.02.19 11:30**

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Juan V. Díaz Saenz
Bigo. Juan V. Díaz Saenz
RESPONSABLE
CBP 7335

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 18 de Febrero de 2019.

Página: 1 de 2



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 0219098

ENSAYOS			QUÍMICOS y MICROBIOLÓGICOS					
Código Cliente	PM 1 - TD		PM 2 - JA	PM 3 - B	-	-	-	
Código Laboratorio	0219098-01		0219098-02	0219098-03	-	-	-	
Matriz	RESIDUAL		RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	
Descripción	Doméstica		Doméstica	Doméstica	-	-	-	
Localización de la Muestra	PTAR - Celendín		PTAR - Celendín	PTAR - Celendín	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	58.4	3.6	21.2	-	-	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	198.7	27.2	127.8	-	-	
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	2.09	2.07	4.27	-	-	

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

Nota: Los Resultados <1.8: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian crecimiento en la muestra.

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23 rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica
- (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ 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.
- ✓ 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.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.



"Fin del documento"

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev: N°06 Fecha : 02/01/2019

Cajamarca, 18 de Febrero de 2019.



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 0319167

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **CÉSAR AUGUSTO VALDIVIA RODRÍGUEZ**
Dirección **Jr. Grau N° 819 - Celendín**
Persona de contacto - Correo electrónico **cesar.valdiviarodriguez@gmail.com**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **05.03.19** Hora de Muestreo **07:00 a 07:40**
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de Muestras **03 Muestras** N° Frascos x muestra **03**
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**
Procedencia de la Muestra: **PTAR - CELENDÍN**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 201** Cadena de Custodia **CC - 167-19**
Fecha y Hora de Recepción **05.03.19 11:40** Inicio de Ensayo **05.03.19 12:10**
Reporte Resultado **12.03.19 11:30**

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Bigo. Ronald A. Cáceda Cuba
RESPONSABLE DE LA CALIDAD
CBP: 4995

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 13 de Marzo de 2019.

Página: 1 de 2



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 0319167

ENSAYOS			QUÍMICOS y MICROBIOLÓGICOS					
Código Cliente	PM 1 - TD	PM 2 - JA	PM 3 - B	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0319167-01	0319167-02	0319167-03	-	-	-	-	-
Matriz	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	-	-
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	PTAR - Celendín	PTAR - Celendín	PTAR - Celendín	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	58.7	7.0	22.4	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	354.2	28.7	146.8	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	<LCM	1.95	<LCM	-	-	-

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

Nota: Los Resultados <1.8: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian crecimiento en la muestra.

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica
- (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ 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.
- ✓ 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.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

"Fin del documento"

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev:N°06 Fecha : 02/01/2019

Cajamarca, 13 de Marzo de 2019.

Página: 2 de 2

Anexo 4. Resultados de los parámetros de temperatura (°C) obtenidos en campo

Tabla 22. Monitoreo de temperatura (°C) Diciembre del 2018.

Temperatura (°C)						
N°	Fecha	Hora	Localización de la muestra	Resultados		
				PM1 - TD	PM2 - JA	PM3 - B
1	04/12/2018	9:00 am	PTAR-Celendín	13.4	13.7	13.5
2	04/12/2018	12: 00 pm	PTAR-Celendín	15	14.3	14.6
3	04/12/2018	4:00 pm	PTAR-Celendín	15.3	14.4	14.7
4	11/12/2018	9:00 am	PTAR-Celendín	13.5	13.8	13.6
5	11/12/2018	12: 00 pm	PTAR-Celendín	15	14	14.8
6	11/12/2018	4:00 pm	PTAR-Celendín	15.2	14.2	14.9
7	18/12/2018	9:00 am	PTAR-Celendín	13.1	14	14.6
8	18/12/2018	12: 00 pm	PTAR-Celendín	17	16	16
9	18/12/2018	4:00 pm	PTAR-Celendín	17.8	16.5	16.8
10	25/12/2018	9:00 am	PTAR-Celendín	15.5	14.3	14.7
11	25/12/2018	12: 00 pm	PTAR-Celendín	16	15.6	15.9
12	25/12/2018	4:00 pm	PTAR-Celendín	17	16	16.2

Tabla 23. Monitoreo de temperatura (°C) Enero del 2019.

Temperatura (°C)						
N°	Fecha	Hora	Localización de la muestra	Resultados		
				PM1 - TD	PM2 - JA	PM3 - B
1	01/01/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	16.3	16	15.4
2	01/01/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	16.8	16.2	16.5
3	01/01/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	17	16.5	16.7
4	08/01/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	16.5	14.5	14.7
5	08/01/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	16.9	16	17
6	08/01/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	17.3	16.3	17.1
7	15/01/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	15.7	14.7	14.8
8	15/01/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	17.4	17	17.3
9	15/01/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	17.9	17.3	18
10	22/01/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	16.3	15	15.5
11	22/01/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	18.7	17.5	19
12	22/01/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	19	18	18
13	29/01/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	17.9	15	15
14	29/01/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	19.5	17.8	19
15	29/01/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	19	17	18.5

Tabla 24. Monitoreo de temperatura (°C) Febrero del 2019.

Temperatura (°C)						
N°	Fecha	Hora	Localización de la muestra	Resultados		
				PM1 - TD	PM2 - JA	PM3 - B
1	05/02/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	16.5	15.5	15.2
2	05/02/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	18	17.5	18
3	05/02/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	18.5	18	18.2
4	12/02/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	15.2	14.9	14
5	12/02/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	16	16	16
6	12/02/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	17.2	17	17
7	19/02/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	15.5	14.8	14.6
8	19/02/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	17	16.2	16
9	19/02/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	17.6	17	17
10	26/02/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	15	13.2	13
11	26/02/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	17.8	16	17
12	26/02/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	18	17	17.5

Anexo 5. Resultados de los parámetros de pH obtenidos en campo

Tabla 25. Monitoreo de pH Diciembre del 2018.

pH						
N°	Fecha	Hora	Localización de la muestra	Resultados		
				PM1 - TD	PM2 - JA	PM3 - B
1	04/12/2018	9:00 am	PTAR-Celendín	8	7.1	7
2	04/12/2018	12: 00 pm	PTAR-Celendín	8.3	7.1	7.2
3	04/12/2018	4:00 pm	PTAR-Celendín	8.4	7	7.1
4	11/12/2018	9:00 am	PTAR-Celendín	8	7.2	7.1
5	11/12/2018	12: 00 pm	PTAR-Celendín	8.6	7	7.1
6	11/12/2018	4:00 pm	PTAR-Celendín	8.4	7	7.2
7	18/12/2018	9:00 am	PTAR-Celendín	8.7	7	6.8
8	18/12/2018	12: 00 pm	PTAR-Celendín	8.7	7.2	7.2
9	18/12/2018	4:00 pm	PTAR-Celendín	8	7.1	7.2
10	25/12/2018	9:00 am	PTAR-Celendín	7.4	6.9	7.1
11	25/12/2018	12: 00 pm	PTAR-Celendín	7.4	7	7.2
12	25/12/2018	4:00 pm	PTAR-Celendín	7.2	7	7.1

Tabla 26. Monitoreo de pH Enero del 2019.

pH						
N°	Fecha	Hora	Localización de la muestra	Resultados		
				PM1 - TD	PM2 - JA	PM3 - B
1	01/01/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	7.5	7	7.2
2	01/01/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	7.6	7	7.5
3	01/01/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	7.6	7.1	7.5
4	08/01/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	7.8	6.8	7.2
5	08/01/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	8.3	6.8	7.4
6	08/01/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	8.4	6.9	7.4
7	15/01/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	7.6	6.9	7.1
8	15/01/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	7.9	6.9	7.2
9	15/01/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	8.4	6.8	7.4
10	22/01/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	7.8	6.9	7.5
11	22/01/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	8.3	7	8
12	22/01/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	8.1	7	7.9
13	29/01/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	7.5	6.8	7.4
14	29/01/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	8.4	6.9	8.1
15	29/01/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	8.3	6.9	8

Tabla 27. Monitoreo de pH Febrero del 2019.

pH						
N°	Fecha	Hora	Localización de la muestra	Resultados		
				PM1 - TD	PM2 - JA	PM3 - B
1	05/02/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	7.7	6.7	7.5
2	05/02/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	8.4	6.7	8.1
3	05/02/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	8.3	6.7	8.1
4	12/02/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	7.7	7.2	7.2
5	12/02/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	8	7.1	8
6	12/02/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	8.2	7	8
7	19/02/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	7.9	7.1	7.5
8	19/02/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	8.3	7	8
9	19/02/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	8.4	7	8.1
10	26/02/2019	9:00 am	PTAR-Celendín	7.8	7	7.3
11	26/02/2019	12: 00 pm	PTAR-Celendín	8.2	7.1	7.8
12	26/02/2019	4:00 pm	PTAR-Celendín	8.3	7	7.8

Anexo 6. Panel fotográfico



Figura 18. Construcción de la caseta.



Figura 19. Instalación de los reactores.



Figura 20. Visita al lugar de las muestras.



Figura 21. Recolección de las muestras.



Figura 22. Llenado de los reactores con agua residual.



Figura 23. Implementación de *E. crassipes* y *N. officinale*.



Figura 24. Aclimatación y evolución de *E. crassipes* y *N. officinale*.



Figura 25. Medición del caudal en los tratamientos.



Figura 26. Toma de muestras en campo.



Figura 27. Toma de muestras para pH.



Figura 28. Medición de temperatura.



Figura 29. Análisis de pH en el laboratorio de la UNC



Figura 30. Limpieza y raleo de *E. crassipes*.



Figura 31. Limpieza y raleo de *N. officinale*.



Figura 32. Equipo para la recolección de muestras.



Figura 33. Muestra para el análisis de OD.



Figura 34. Muestra para el análisis de DQO.



Figura 35. Muestra para el análisis de DBO₅.



Figura36. Codificación de las muestras para el envío al Laboratorio Regional del Agua-Cajamarca.



Figura 37. Recepción de las muestras en el Laboratorio Regional del Agua-Cajamarca.

GLOSARIO

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO: Es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO: Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual.

OXÍGENO DISUELTO: Es la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua. El oxígeno libre es fundamental para la vida de los peces, plantas, algas, y otros organismos.

CAUDAL: Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo.

TEMPERATURA: La temperatura es una magnitud referida a la noción de calor medible mediante un termómetro.

PH: Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones.

REMOCIÓN DE CONTAMINANTES: Es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (cultivo aeróbico de microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado reactor.

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA: Es el tiempo que una unidad de fluido permanece en un recipiente, es decir, el tiempo que el líquido que entra en tu recipiente tarda en salir del mismo.

PLANTAS MACROFITAS: Son aquellas que pueden vivir en terrenos inundados durante toda su vida o encharcadas durante largos períodos de tiempo.

ACRÓNIMOS

OD	: Oxígeno Disuelto
QBO ₅	: Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	: Demanda Química de oxígeno
O ₂	: Oxígeno
PM1 – TD	: Punto de monitoreo 1 – Tanque de distribución
PM2 – JA	: Punto de monitoreo 2 – Jacinto de agua
PM3 – B	: Punto de monitoreo 3 – Berro
LMP	: Límite máximo permisible
PTAR	: Planta de tratamiento de aguas residuales
°C	: Grados Celsius
l	: Litro
Min	: Minuto
mg	: Miligramo
ml	: Mililitro
N°	: Número
Pág	: Página
T°	: Temperatura
pH	: Potencial de Hidrógeno
LCM	: Límite de cuantificación del método
UNC	: Universidad Nacional de Cajamarca