

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



**“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA RESIDUAL DE CELENDÍN A TRAVÉS DE HUMEDALES CON EL USO
DE LA COLA DE ZORRO (*Myriophyllum aquaticum*)”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
EROS RONALDO DELGADO PORTILLA**

**ASESOR:
Ing. M. Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**

Cajamarca – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

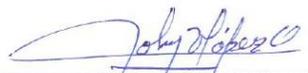
En la ciudad de Cajamarca, a los seis días del mes de junio del año dos mil veintidós, se reunieron en el ambiente 2G - 207 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 040-2022-FCA-UNC, de fecha 28 de febrero del 2022**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: "TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE CELENDÍN A TRAVÉS DE HUMEDALES CON EL USO DE LA COLA DE ZORRO (*Myriophyllum aquaticum*)", realizada por el Bachiller EROS RONALDO DELGADO PORTILLA para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las catorce horas y nueve minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las quince horas y veinticinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.



Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
PRESIDENTE



M. Cs. John Víctor López Orbegoso
SECRETARIO



Ing. M. Cs. José Ramiro Díaz Cumpén
VOCAL



Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
ASESOR

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre Alex Edwin Delgado Marín y mi tío Luis Filadelfo Díaz Bardales; aunque ahora ya no estén con nosotros su alegría y enseñanzas siempre perduraran.

A mi madre y hermano quien me brinda la fortaleza para poder seguir adelante.

A mis familiares y amigos para que mi ejemplo les guíe hacia buenos caminos.

AGRADECIMIENTO

A mi padre por ayudarme hasta en sus últimos días, logrando que se pueda realizar este proyecto.

A mi madre y hermano porque ellos fueron mi motivación para poder culminar este proyecto.

A la Ing. Giovana Chávez Horna, Ing. Adolfo López Aylas y Ing. Efrain Quintanilla Castro por ayudarme en el desarrollo de este proyecto.

A mi tío Edgar Gustavo Velasco Marín por apoyarme en los momentos más difíciles del desarrollo de este proyecto.

A mis familiares y amigos pues gracias a ellos se pudo lograr este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA.....	2
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. Objetivo principal.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO II.....	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS	6
2.2.1. Aguas residuales.....	6
2.2.2. Características físico-químicas de las aguas residuales domésticas.....	7
2.2.3. Humedales artificiales	11
2.2.4. Fitorremediación.....	14
2.2.5. Tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas	14
2.2.6. <i>Myriophyllum aquaticum</i>	15
CAPÍTULO III	17
MARCO METODOLÓGICO.....	17
3.1. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
3.2. MATERIALES	19
3.2.1. Material experimental.....	19
3.2.2. Material de campo	19
3.2.3. Materiales y equipos de laboratorio.....	19

3.2.4. Otros materiales.....	19
3.3. METODOLOGÍA.....	20
3.3.1. Diseño experimental.....	20
Modelo estadístico cuadrado latino.....	20
Análisis de varianza (ANVA).....	21
Coeficiente de variabilidad.....	21
3.3.2. Croquis del experimento	22
3.3.3. Procedimiento.....	23
Frecuencia de monitoreo	23
3.3.4. Tratamiento y análisis de datos	25
a) Fase de campo.....	25
b) Fase de laboratorio.....	26
3.3.5. Presentación de la información	26
CAPÍTULO IV	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1. pH.....	28
4.2. Temperatura (T°).....	29
4.3. Oxígeno disuelto (OD).....	31
4.4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	35
4.5. Nitrógeno amoniacal.....	39
4.6. Fosfato	43
4.7. Sulfato.....	47
4.8. Cloruro	50
4.9. Coliformes termotolerantes.....	53
CAPÍTULO V	58
CONCLUSIONES.....	58
CAPÍTULO VI.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
CAPÍTULO VII.....	66
ANEXOS	66
Anexo 1. Monitoreo de pH	66

Anexo 2. Monitoreo de temperatura	67
Anexo 3. Resultados del laboratorio regional del agua	68
Anexo 4. Panel fotográfico	76

Lista de tablas

Tabla 1: Cuadro de análisis de varianza (ANVA).....	21
Tabla 2: Tamaño de muestra	26
Tabla 3: Monitoreo de pH semana 1	66
Tabla 4: Monitoreo de pH semana 2	66
Tabla 5: Monitoreo de pH semana 3	66
Tabla 6: Monitoreo de pH semana 4	66
Tabla 7: Monitoreo de temperatura semana 1	67
Tabla 8: Monitoreo de temperatura semana 2	67
Tabla 9: Monitoreo de temperatura semana 3	67
Tabla 10: Monitoreo de temperatura semana 4	67

Lista de figuras

Figura 1: Humedales artificiales de flujo libre.....	13
Figura 2: Humedales artificiales de flujo subsuperficial.....	14
Figura 3: <i>Myriophyllum aquaticum</i>	16
Figura 4: Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).....	18
Figura 5: Diseño del sistema de tratamiento	22
Figura 6: Puntos de monitoreo	24
Figura 7: Valores promedio semanal de pH.....	28
Figura 8: Valores promedio de pH.....	28
Figura 9: Valores promedio semanal de temperatura	29
Figura 10: Valores promedio de temperatura.....	30
Figura 11: Concentración de OD durante el periodo de monitoreo	31
Figura 12: Valores promedio de OD	32
Figura 13: Concentración de DBO ₅ durante el periodo de monitoreo	35
Figura 14: Valores promedio de DBO ₅	36
Figura 15: Concentración de nitrógeno amoniacal durante el periodo de monitoreo	39
Figura 16: Valores promedio de nitrógeno amoniacal	40
Figura 17: Concentración de fosfato durante el periodo de monitoreo.....	43
Figura 18: Valores promedio de fosfatos	43
Figura 19: Concentración del sulfato durante el periodo de monitoreo	47

Figura 20: Valores promedio de sulfatos	47
Figura 21: Concentración de cloruros durante el periodo de monitoreo	50
Figura 22: Valores promedio de cloruros.....	51
Figura 23: Concentración de coliformes termotolerantes durante el periodo de monitoreo	53
Figura 24: Valores promedio de coliformes termotolerantes.....	54
Figura 25: Capa de arena	Figura 26: Capa de piedra de río.....
Figura 27: Suelo agrícola	76
Figura 28: Instalación del proyecto.....	77
Figura 29: Lugar de recolección de <i>Myriophyllum aquaticum</i>	77
Figura 30: Implementación de <i>Myriophyllum aquaticum</i>	78
Figura 31: Crecimiento de <i>Myriophyllum aquaticum</i>	78
Figura 32: Medición del caudal.....	79
Figura 33: Toma de muestras para el análisis de pH y T°	79
Figura 34: Análisis de pH y Temperatura	80
Figura 35: Poda de <i>Myriophyllum aquaticum</i>	80
Figura 36: Toma de muestras para el análisis de los parámetros de laboratorio.....	81
Figura 37: Recepción de muestras en el laboratorio	81

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín ubicado en el distrito de Celendín, provincia Celendín, departamento Cajamarca; a una altitud de 2605 m con coordenadas UTM, N: 9242123.81 m y E: 815415.78 m, con el objetivo de determinar la eficiencia de *Myriophyllum aquaticum* en la remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nitrógeno amoniacal (NH₃-N), fosfatos (PO₄), sulfatos (SO₄), cloruros (Cl⁻), y coliformes termotolerantes.

Los resultados obtenidos fueron: el valor promedio de pH del tanque de distribución (PM1) es de 8.25 mientras que al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* el pH disminuye a 8.16; disminuyendo ligeramente la alcalinidad del agua; la temperatura (T°) promedio del tanque de distribución (PM1) es de 15.5 °C mientras que al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* se registró un aumento a 16.3 °C aumentando la temperatura del agua; el caudal (Q) utilizado para el sistema de tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* fue de 0.023 L/min, lográndose cumplir con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 5 días; la eficiencia de remoción de los parámetros fue: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) 56.3 %, nitrógeno amoniacal (NH₃-N) 70.4 %, fosfatos (PO₄) 85%, sulfatos (SO₄) 65.5 %, cloruros (Cl⁻) 27.3% y coliformes termotolerantes 62.3%; el oxígeno disuelto en el tanque de distribución (PM1) registró un valor promedio de 0.79 mgO₂/L mientras que al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* se registró un incremento a 3.41 mgO₂/L representando una eficiencia de 76.9%.

Según los resultados obtenidos *Myriophyllum aquaticum* tiene mayor eficiencia de remoción en los parámetros de fosfatos (85%), nitrógeno amoniacal (70.4%) y sulfatos (65.5 %) sin mencionar que aumenta el oxígeno disuelto en 76.9%.

Palabras claves: afluente, humedales artificiales, hidrofita, *Myriophyllum aquaticum*.

ABSTRACT

This research work was carried out at the Celendín wastewater treatment plant located in the Celendín district, Celendín province, Cajamarca department; at an altitude of 2605 m with UTM coordinates, N: 9242123.81 m and E: 815415.78 m, in order to determine the efficiency of *Myriophyllum aquaticum* in the removal of biochemical oxygen demand (BOD₅), ammonia nitrogen (NH₃-N), phosphates (PO₄), sulfates (SO₄), chlorides (Cl⁻), and thermotolerant coliforms.

The results obtained were: the average pH value of the distribution tank (PM1) is 8.25 while when applying the treatment with *Myriophyllum aquaticum* the pH decreases to 8.16; slightly decreasing the alkalinity of the water; The average temperature (T°) of the distribution tank (PM1) is 15.5 C ° while when applying the treatment with *Myriophyllum aquaticum* an increase to 16.3 C ° was recorded, increasing the water temperature; the flow rate (Q) used for the *Myriophyllum aquaticum* treatment system is 0.023 L / min, achieving a hydraulic retention time (HRT) of 5 days; the removal efficiency of the parameters was: biochemical oxygen demand (BOD₅) 56.3%, ammonia nitrogen (NH₃-N) 70.4%, phosphates (PO₄) 85%, sulfates (SO₄) 65.5%, chlorides (Cl⁻) 27.3% and thermotolerant coliforms 62.3%; the dissolved oxygen in the distribution tank (PM1) registered an average value of 0.79 mgO₂ / L while when applying the treatment with *Myriophyllum aquaticum* an increase to 3.41 mgO₂ / L was registered, representing an efficiency of 76.9%.

According to the results obtained, *Myriophyllum aquaticum* has higher removal efficiency in the parameters of phosphates (85%), ammonia nitrogen (70.4%) and Sulfates (65.5%), not to mention that it increases dissolved oxygen by 76.9 %.

Key words: tributary, constructed wetlands, hydrophyte, *Myriophyllum aquaticum*.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Celendín cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales conformada por un sistema de reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA) y una laguna facultativa. El efluente de la planta de tratamiento es vertido al río Grande, posteriormente las aguas del cuerpo receptor son utilizadas para el riego de hortalizas, pastizales y/o para bebida de animales.

Las enfermedades parasitarias transmitidas por alimentos han incrementado su incidencia en las últimas décadas debido al inadecuado saneamiento, acelerado crecimiento de urbanizaciones y de industrias, hábitos pobres de higiene, ausencia de agua potable, globalización del comercio y el cambio de hábitos alimentarios con una preferencia por los alimentos crudos. En el caso de los vegetales que se consumen en estado crudo, estos deben ser regados con aguas que satisfagan criterios estrictos especialmente en lo que respecta a los parámetros microbiológicos, porque son muchas las enfermedades causadas por virus, bacterias, protozoarios o gusanos que se transmiten a través de esta vía (DIGESA 2002).

La eficiencia de remoción de parámetros físicos, químicos y biológicos de sistemas de tratamiento de aguas residuales con el uso de hidrófitas varía mucho según el tipo de planta que se utilice, por ejemplo, en el estudio realizado por Romero et al. (2011), compara la eficiencia de la *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Myriophyllum aquaticum* en la remoción de amonio, ortofosfatos y nitratos, concluyó que *Myriophyllum aquaticum* tiene mayor eficiencia de remoción de estos parámetros en comparación con las demás hidrófitas; en otros estudios se comprobó la eficiencia de *Myriophyllum aquaticum* en la remoción de metales como el arsénico, cromo, hierro y zinc.

En el presente trabajo de investigación se pretende determinar la eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno amoniacal, fosfato, sulfato,

cloruro y coliformes termotolerantes por *Myriophyllum aquaticum* en un sistema de tratamiento a escala de laboratorio, utilizando el efluente de la laguna facultativa de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín; con el fin de comparar la eficiencia de remoción de *Myriophyllum aquaticum* con trabajos de investigación ya realizados en esta planta de tratamiento, además de esto poder implementar un sistema de tratamiento terciario bajo ciertos criterios técnicos para su correcto funcionamiento.

1.1. PROBLEMA

La ciudad de Celendín cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales conformada por un sistema de reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA) y una laguna facultativa cuyo objetivo principal es la remoción de la materia orgánica; esta planta de tratamiento de aguas residuales proporciona un tratamiento primario y secundario respectivamente. El efluente de la planta de tratamiento es vertido al río Grande, posteriormente las aguas del cuerpo receptor son utilizadas para el riego de hortalizas, pastizales y/o para bebida de animales.

En el año 2019 Valdivia analizó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de la laguna facultativa de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín, determinando que la laguna facultativa contenía 73.4 mg/L en enero de 2019. Los niveles altos de DBO_5 indican que el agua está contaminada y necesita un tratamiento para poder darle uso, la contaminación por materia orgánica en las plantas hace que se acumule en las raíces o parte aérea de los vegetales, siendo afectados quienes ingieren directamente (DIGESA 2002).

Castillo (2017) analizó los nitratos de la laguna facultativa de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín, determinando que la laguna facultativa contenía 19.17 mg/L en marzo del 2017. Las concentraciones excesivas de nitratos causan trastornos sanguíneos (DIGESA 2002). Además, los nitratos y fosfatos son los principales causantes de la eutrofización (Echarri 1998).

La contaminación por coliformes termotolerantes puede acarrear graves problemas en animales y también en el hombre. La presencia de microorganismos debe vigilarse particularmente en los cultivos de aquellas plantas que son consumidas por el hombre o animales (DIGESA 2002).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo principal

- Determinar la eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno amoniacal, fosfato, sulfato, cloruro y coliformes termotolerantes por *Myriophyllum aquaticum*, del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno amoniacal, fosfato, sulfato, cloruro y coliformes termotolerantes; provenientes del afluente y efluente del sistema de tratamiento con *Myriophyllum aquaticum*.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos de campo: temperatura (T°), pH y tiempo de retención hidráulica (TRH).

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Hasta el momento no existe investigaciones acerca de la eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes por *Myriophyllum aquaticum*, sin embargo, en estudios de remoción de demanda química de oxígeno, amonio, ortofosfatos, nitratos, cromo, hierro, zinc y arsénico se puede evidenciar la alta eficiencia de remoción que presenta esta hidrófita.

En el año 2016, Bravo evaluó la remoción de demanda química de oxígeno (DQO) del efluente de un reactor piloto UASB tratado por la hidrofita *Myriophyllum aquaticum*; el estudio consistió en dos sistemas de tratamiento con la planta acuática y un control; los resultados fueron que hubo un aumento de OD de 2.2 mgO₂/L a 7.7. mgO₂/L en el sistema de tratamiento existiendo una correlación entre el aumento del OD y la disminución de DQO, alcanzando la hidrofita una eficiencia de remoción mayor al 70%.

Romero et al. (2011), estudió la eficiencia de remoción de amonio, ortofosfatos y nitratos por *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Myriophyllum aquaticum* de agua de rastro previamente tratada con sistemas anaerobios en serie; el agua residual analizada fue proporcionada por el “Rastro Frigorífico La Paz, S.A.de C.V.” ubicado en la carretera federal México-Puebla Km 21 Los Reyes la Paz, el cual sacrifica ganado vacuno y porcino. Los resultados fueron que la remoción de amonio por las diferentes hidrófitas durante un periodo de 15 días, fue de 98% con *Lemna gibba* y *Eichhornia crassipes*, y de 100% con *Myriophyllum aquaticum*. La remoción de ortofosfatos solamente se dio con *Myriophyllum aquaticum*, presentando así una remoción del 63%, los nitratos sólo fueron removidos con *Myriophyllum aquaticum* y *Lemna gibba* en

comparación con *Eichhornia crassipes* que no presentó remoción, aun así, la mayor remoción para nitratos fue con *Myriophyllum aquaticum* con un 82% concluyendo que la hidrófita más eficiente para la remoción de nutrientes fue *Myriophyllum aquaticum*.

En el año 2016, Bautista estudió la eficiencia del *Myriophyllum aquaticum* para la remoción de cromo total de efluentes líquidos de una industria de pinturas en Chacra Cerro - Lima. La población de estudio fue de 18 000 L del efluente líquido y 80 tallos de la hidrófita, se implementaron 4 tratamientos que contienen 10 litros del efluente líquido de la industria de pintura y 11 tallos de la hidrófita por cada tratamiento, los resultados fueron que en el tratamiento N° 1 a las 20 horas de contacto con la hidrófita el cromo total disminuyó de 2.75 mg/L a 1.09 mg/L, en el tratamiento N° 2 a las 40 horas de contacto con la hidrófita disminuyó de 2.75 mg/L a 1.47 mg/L, en el tratamiento N° 3 a las 60 horas de contacto con la hidrófita disminuyó de 2.75 mg/L a 0.88 mg/L y en el tratamiento N° 4 a las 80 horas de contacto con la hidrófita disminuyó de 2.75 mg/L a 0.011 mg/L. Llegando a la conclusión de que la eficiencia del *Myriophyllum aquaticum* en la remoción de cromo total es del 99.6 %.

Mendoza et al. (2016) estudió la adaptabilidad y tolerancia del *Myriophyllum aquaticum* a diferentes unidades de pH y la tolerancia de esta hidrófita a concentraciones de 1000, 600, 300 y 100 ppm de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 100, 50, 30 y 10 ppm de ZnSO_4 para tratar los efluentes generados por pasivos ambientales mineros de Hualgayoc - Cajamarca, llegando a la conclusión de que el *Myriophyllum aquaticum* (VeII.) se adapta y tolera rangos de unidades de pH 4 a 7 pero muestra un mejor desarrollo a un pH ácido de 4 unidades además esta hidrófita se adapta y tolera concentraciones menores de 100 ppm de Zn y concentraciones menores de 1000 ppm de Fe. Sin embargo, cabe resaltar que presenta un buen desarrollo y crecimiento a concentraciones menores de 30 ppm de Zn y concentraciones menores de 600 ppm de Fe, sin presentar signos de

intoxicación, mientras que a concentraciones de 1000 ppm muestra signos de intoxicación en su fisiología.

En el año 2017, Pochuanca, estudió el tratamiento de las plantas con concentraciones de 4, 8, 16 y 32 ppm de arseniato de sodio (Na_2HAsO_4) diluida con nitrato de calcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, y un control sin arsénico, por el periodo de 32 días. Se midió la tasa de crecimiento absoluto TCA (número y longitud de la raíz, longitud total, peso fresco), peso seco, tasa de crecimiento relativo (TCR), índice de tolerancia y contenido de pigmentos fotosintéticos, cuyos resultados fueron que el porcentaje de sobrevivientes fue del 100%, la tasa de crecimiento absoluta y relativa fueron mayores a los 16 días con tratamientos de 4 y 8 ppm de As. El índice de tolerancia fue mayor en el tratamiento con 8 ppm. Los pigmentos fotosintéticos disminuyeron en todos los tratamientos; concluyendo que las mejores condiciones de crecimiento para esta hidrófita se presentaron con tratamientos de 4 y 8 ppm de arseniato de sodio, a los 16 días.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Aguas residuales

Para el OEFA (2014), las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado. Para Pulido et al. (s.f.), las aguas residuales son aquellas aguas que contienen una gran cantidad de sustancias (químicas, biológicas), que son nocivas o dañinas para el ser humano y que han sido utilizadas o manipuladas de alguna manera por el ser humano sin importar que su origen sea de características (doméstica, industrial, pecuaria, agrícola o recreativa).

2.2.2. Características físico-químicas de las aguas residuales domésticas

a) pH

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número de iones hidrogeno presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7 la sustancia es neutra. Los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica (DIGESA 2002).

En un efluente doméstico alcanza un valor aproximado de 7 u 8. Cuando es más bajo indica la existencia de volcamientos ácidos y si es alto, estos son alcalinos y ambos provienen de comercios o industrias. En cualquier caso, son perjudiciales para las cañerías, equipos de bombeo e impactan en los sitios de disposición final (Orellana 2005).

b) Temperatura (T°)

La temperatura de las aguas residuales suele ser superior a la del agua de consumo, por el aporte de agua caliente procedente del aseo y las tareas domésticas. Oscila entre 10 °C y 21 °C, con un valor medio de 15 °C aproximadamente. Esta mayor temperatura ejerce una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas, y dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc. (Espigares y Pérez s.f.).

c) Tiempo de retención hidráulica (TRH)

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 (Vega s.f.).

d) Oxígeno disuelto (OD)

El contenido de oxígeno disuelto en las lagunas facultativas es uno de los mejores indicadores sobre su funcionamiento. La principal fuente de oxígeno

disuelto es la fotosíntesis, seguida por la reaireación superficial. Una laguna facultativa que opere correctamente debe tener una capa superficial oxigenada. La concentración de oxígeno disuelto presenta una variación sinusoidal a lo largo del día. El contenido en oxígeno es mínimo al amanecer y máximo por la tarde, y puede oscilar entre un valor nulo hasta la sobresaturación. Además de las variaciones diarias en el contenido en oxígeno disuelto, éste presenta también variaciones importantes en profundidad. La concentración de oxígeno disuelto es máxima en superficie, y a medida que aumenta la profundidad va disminuyendo hasta anularse. La profundidad a la cual se anula el oxígeno disuelto se llama oxipausa, y su posición en donde se anula el oxígeno depende de la actividad fotosintética, el consumo de oxígeno por las bacterias y el grado de mezcla inducido por el viento. En invierno la capa oxigenada tiende a ser mucho más reducida que en verano (CIDTA s.f.).

e) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La prueba de la demanda bioquímica de oxígeno es un procedimiento experimental que mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales. Las condiciones estándar del ensayo incluyen incubación en la oscuridad a 20 °C por 5 días; la disminución de la concentración de oxígeno disuelto durante el periodo de incubación, produce una medida de la DBO₅ (Calderón 1997).

La oxidación es un proceso lento. En un período de 20 días se completa la oxidación del 95 % al 99% de la materia carbonosa, y en los 5 días que dura el ensayo de la DBO₅ se llega a oxidar entre el 60 % y el 70 % (DIGESA 2002).

Las muestras para determinación de la DBO₅ se deben analizar con prontitud; si no es posible refrigerarlas a una temperatura cercana al punto de congelación, ya que se pueden degradar durante el almacenamiento, dando como resultado valores bajos. Sin embargo, es necesario mantenerlas el mínimo tiempo posible en almacenamiento, incluso si se llevan a bajas temperaturas (Calderón 1997).

Los resultados de los ensayos de DBO₅ se emplea para:

- Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.
- Dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
- Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento.
- Controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos (DIGESA 2002).

f) Nitrógeno amoniacal (NH₃-N)

En condiciones normales la fuente de nitrógeno amoniacal en aguas superficiales proviene de la degradación natural de la materia orgánica presente en la naturaleza. Es uno de los componentes transitorios en el agua, porque es parte del ciclo del nitrógeno, y se ve influido por la actividad biológica. En ambos casos el nitrógeno amoniacal, se origina de la degradación del nitrógeno orgánico y, este a su vez, por acción bacteriana, se va oxidando gradualmente a nitritos y finalmente a nitratos. Los aportes adicionales de nitrógeno amoniacal que alteran las concentraciones normales de este nutriente, implican una alteración perjudicial del medio al cual son vertidos, provocando entre otras consecuencias, la disminución de los niveles de oxígeno disuelto de los ríos, el cual es consumido en los procesos de degradación bacteriana de nitrógeno amoniacal. Provocando un ambiente anóxico, desencadenándose así una serie de reacciones químicas y microbianas que dan como resultado la disminución de la calidad del agua, muerte de especies que habitan en el sitio, entre otras consecuencias (González 2013).

g) Fosfato (PO₄)

Los compuestos de fosfato que se encuentran en las aguas residuales o se vierten directamente a las aguas superficiales provienen de fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento, excreciones humanas y animales, detergentes y productos de limpieza. La carga de fosfato total se compone de

ortofosfato + polifosfato + compuestos de fósforo orgánico, siendo normalmente la proporción de ortofosfato la más elevada. Los fosfatos existen en forma disuelta, coloidal o sólida (Putz s.f.).

El fósforo favorece la eutrofización. Se ha demostrado que la ausencia de este elemento es más importante que la del nitrógeno para limitar el crecimiento de las algas planctónicas, especialmente en algunos tipos (algas «azules-verdes»), capaces de fijar el nitrógeno atmosférico (Ronzano y Dapena s.f.).

h) Sulfato (SO₄)

Los sulfatos, sales solubles en agua a excepción de los de Pb, Ba y Sr, se hallan profusamente repartidos en todas las aguas. El ion procede fundamentalmente de los procesos de disolución de yesos (CaSO₄.2H₂O), sin olvidar las cantidades procedentes de la oxidación bacteriana de sulfuros. Como efecto positivo, ha de destacarse que aguas con importante contenido en sulfatos, insolubilizan los metales pesados allí presentes y minimizan su toxicidad (Ujaen s.f.).

i) Cloruro (Cl)

El ión cloruro es uno de los iones inorgánicos que se encuentran en mayor cantidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Un alto contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y evitar el crecimiento de plantas. Las altas concentraciones de cloruro en aguas residuales, cuando éstas son utilizadas para el riego en campos agrícolas deteriora, en forma importante la calidad del suelo (NMX 2001).

Cloruros, fosfatos y nitritos son indicadores típicos de contaminación residual doméstica vertida a un cauce natural. Esto, además, puede servir de señal de alerta acerca de la probabilidad de que el agua presente contaminación también de carácter microbiológico patógeno e indeseable (Ujaen s.f.).

j) Coliformes termotolerantes

Los coliformes termotolerantes denominados así porque soportan temperaturas hasta de 45 °C, comprenden un número muy reducido de microorganismos, los cuales son indicadores de calidad por su origen. En su mayoría están representados por *E. coli*, pero se pueden encontrar de forma menos frecuente las especies *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae* (Santiago et al., Badgley et al., citado por Larrea et al. 2013)

La presencia de estos microorganismos indica la existencia de contaminación fecal de origen humano o animal, ya que las heces contienen coliformes termotolerantes que están presentes en la microbiota intestinal, siendo *E. coli* la más representativa, con un 90-100 % (Carrillo y Lozano, citado por Larrea et al. 2013)

Es poco probable que los organismos coliformes termotolerantes vuelvan a desarrollarse en un sistema de distribución a menos que estén presentes nutrientes en cantidad suficiente o que materiales inadecuados entren en contacto con el agua tratada; por contacto directo pueden infectar heridas, mucosas de ojos y oídos, por ingestión ocasionan gastroenteritis aguda (DIGESA 2002).

2.2.3. Humedales artificiales

Los humedales artificiales consisten normalmente en un monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrofitas) dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos. El efluente, normalmente después de recibir un pretratamiento, pasa a través del humedal durante el tiempo de retención. El efluente es tratado a través de varios procesos físico-químicos y bacteriológicos. El oxígeno necesario para estos procesos es suministrado por las propias plantas, que forman por fotosíntesis o toman del aire e inyectan hasta la zona radicular. La transferencia de oxígeno hacia la zona radicular por parte de estas plantas acuáticas es un requisito imprescindible para que la eliminación microbiana de algunos contaminantes se realice con

eficacia, estimulando además la degradación de materia orgánica y el crecimiento de bacterias nitrificantes. Los mecanismos que tienen lugar para la depuración de contaminantes constituyen una gran variedad de procesos físicos, químicos y biológicos (Beascochea et al. 2014).

Tipos de humedales

Existen dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual; los sistemas de flujo libre (FWS) y sistemas de flujo subsuperficial (SFS) (Rodríguez 2008).

- **Sistema de flujo libre (FWS)**

En estos sistemas el flujo de agua es de tipo horizontal superficial. El agua se hace discurrir por la superficie un canal o estanque que contiene una capa de agua no muy profunda, generalmente de unos 30 cm, aunque puede llegar a ser más de 1 m. Los sistemas FWS se configuran con una apariencia similar a los humedales naturales. Se diseñan a modo de canales o estanques con paredes ataludadas, en donde éstas y el recubrimiento inferior son estancos (materiales impermeables), canalizaciones de entrada y salida del agua residual, estructuras o dispositivos de control del flujo, y alternancia de áreas con y sin vegetación acuática (Beascochea et al. 2014).

El nivel de agua está sobre la superficie del terreno, la vegetación está sembrada y fija y emerge sobre la superficie del agua, el flujo de agua es principalmente superficial; el agua residual normalmente se alimenta en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente (Rodríguez 2008).

Humedales de Flujo Superficial

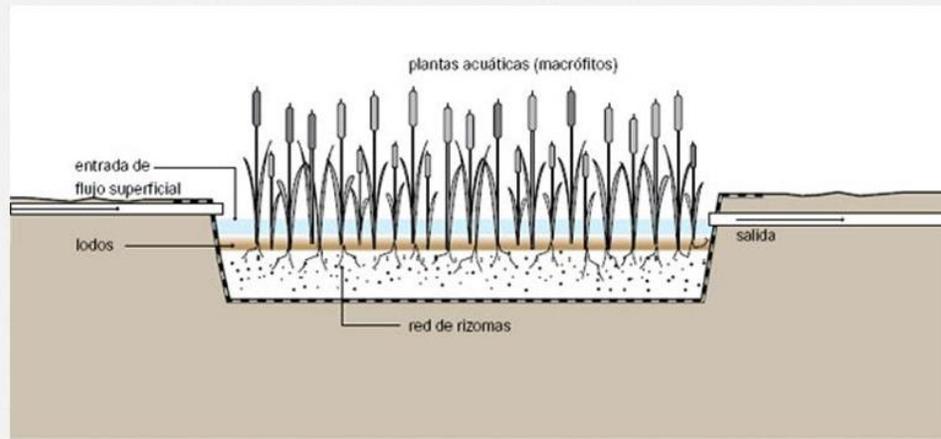


Figura 1: Humedales artificiales de flujo libre.

Fuente: Najarro 2014.

- **Sistema de flujo Subsuperficial (SFS)**

En los sistemas SFS, el flujo del influente es de tipo horizontal subsuperficial, es decir, que el agua se hace discurrir por debajo de la superficie del sistema. De modo semejante al de los FWS, se diseñan a modo de estanques con paredes y base estancas y las debidas canalizaciones y dispositivos de control de flujo. Sin embargo, más que el tipo de flujo, lo que realmente define al humedal SFS es que no hay, como tal, una columna de agua continua, sino que el influente circula a través de un medio inerte, que consiste en un lecho de arena y/o grava de grosor variable, que sostiene la vegetación (hidrófitos o higrófitos). Este lecho se diseña de modo que permita la circulación del agua residual a través del sistema radicular de las macrofitas acuáticas. El agua se puede mover tanto de forma horizontal como verticalmente a través de la zona radicular de las macrofitas. En definitiva, en los sistemas de flujo subsuperficial no existe lámina de agua a la vista del observador, y el conjunto sólo recuerda vagamente a los humedales naturales por el tipo de vegetación. Por esta razón a estos

sistemas se les denomina alternativamente “lechos vegetados sumergidos”, o sistemas SFS (Beascochea et al. 2014).

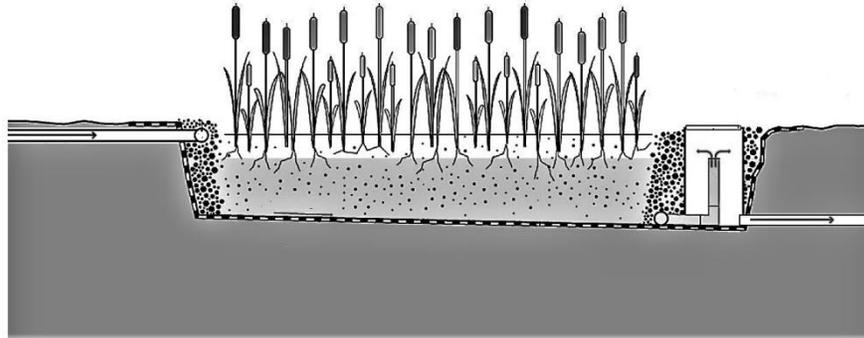


Figura 2: Humedales artificiales de flujo subsuperficial

Fuente: Tilley et al. s.f.

2.2.4. Fitorremediación

La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Estas fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo (Delgadillo et al. 2011).

2.2.5. Tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas

Los sistemas de plantas acuáticas están en los estanques poco profundos como plantas acuáticas flotantes o sumergidas. Estos sistemas incluyen dos tipos basado en tipos de plantas dominantes. El primer tipo usa plantas flotantes y se distingue por la habilidad de estas plantas para derivar el dióxido carbono y las necesidades de oxígeno de la atmósfera directamente. Las plantas reciben sus nutrientes minerales desde el agua. El segundo tipo de sistema consiste en plantas sumergidas, se distingue por la habilidad de estas plantas para absorber oxígeno, dióxido de carbono, y minerales de la columna de agua. Las plantas

sumergidas se inhiben fácilmente por la turbiedad alta en el agua porque sus partes fotosintéticas están debajo del agua (Frers 2008).

Los tratamientos de aguas residuales que involucran macrófitas flotantes han demostrado ser eficientes en la remediación de aguas con contenidos de nutrientes, materia orgánica y sustancias tóxicas como arsénico, zinc, cadmio, cobre, plomo, cromo, y mercurio. Su importancia radica en su aptitud para ser empleados en núcleos rurales debido a su bajo consumo de energía convencional y la practicidad en el montaje y operación de los sistemas de tratamiento. Aun así, todavía no se han esclarecido rigurosamente los procesos que tienen lugar en la depuración de aguas residuales con macrófitas flotantes (Martelo y Lara 2012).

2.2.6. *Myriophyllum aquaticum*

El *Myriophyllum aquaticum* es nativa de la cuenca del Amazonas (Sudamérica), pertenece a la familia de las Haloragaceas y forma parte de las 45 especies que engloba el Género *Myriophyllum*. También conocido popularmente con nombres como “milénrama brasileño”, “parrot feather”, “watermilfoil”, “milhojas acuáticas” (Floresyplantas.net 2010).

Planta perenne de tallo erguido, con hojas pinnadas, dispuestas alrededor de un tallo robusto en grupos de 4 a 6 hojas. Las hojas miden de 1.5 a 3.5 cm, y tienen de 20 a 30 divisiones (segmentos filiformes) por hoja, lo que le confiere un aspecto plumoso. La distancia entre verticilos es mayor en la base y se va acortando a medida que llega a la punta. Aparte del sistema de raíces que desarrolla para anclarse al sustrato, puede desarrollar raíces adventicias. Puede emerger del agua, en cuyo caso cambia su morfología, con menos divisiones por hoja (de 6 a 18), más rígidas, y de un verde más oscuro que las sumergidas, de tacto suave y color verde claro. Las flores femeninas, de 1,5 mm, son blancas, sin pétalos y con 4 sépalos. Nacen en las axilas de las hojas emergidas (Catálogo Español de Especies Exóticas 2013, citado por CONABIO 2015).

Aunque puede crecer en suelos húmedos y tolera una amplia gama de niveles de agua, la pluma de loro crece más rápidamente en niveles de agua más altos, pero se ha documentado en profundidades de hasta 16 pies (Banfield 2008, citado por U.S. Fish & Wildlife Service 2015) y ambientes con alto contenido de nutrientes (Hussner et al. 2009; Sutton 1985; Sytsma y Anderson 1993, citado por U.S. Fish & Wildlife Service 2015). La pluma de loro requiere enraizamiento en los sedimentos del fondo, en hábitats donde la luz puede penetrar hasta el fondo favoreciendo el crecimiento y la colonización. La pluma de loro prospera en condiciones ligeramente alcalinas (rango de pH 6.8-8.0), prefiere temperaturas entre 16-23 °C y puede soportar un nivel de dureza del agua entre 50-200 ppm (Federación de Sociedades Acuáticas de Nueva Zelanda, en Mabulu 2005). Esta especie muestra actividad fotosintética a niveles de pH de 6.0 a 8.5, profundidades de 0 a 10 metros y temperaturas del agua de 10 °C a 30 °C, aunque puede sobrevivir en rangos aún más amplios (Robinson 2003; WIDNR 2011, citado por U.S. Fish & Wildlife Service 2015). La pluma de loro puede sobrevivir a los inviernos en su forma sumergida y comenzar a crecer cuando la temperatura del agua alcanza los 7 °C (Moreira et al. 1999, citado por U.S. Fish & Wildlife Service 2015).



Figura 3: *Myriophyllum aquaticum*

Fuente: Floresyplantas.net 2010

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín ubicado en el distrito de Celendín, provincia Celendín, departamento Cajamarca; a una altitud de 2605 m con coordenadas UTM N: 9242123.81 m y E: 815415.78 m.

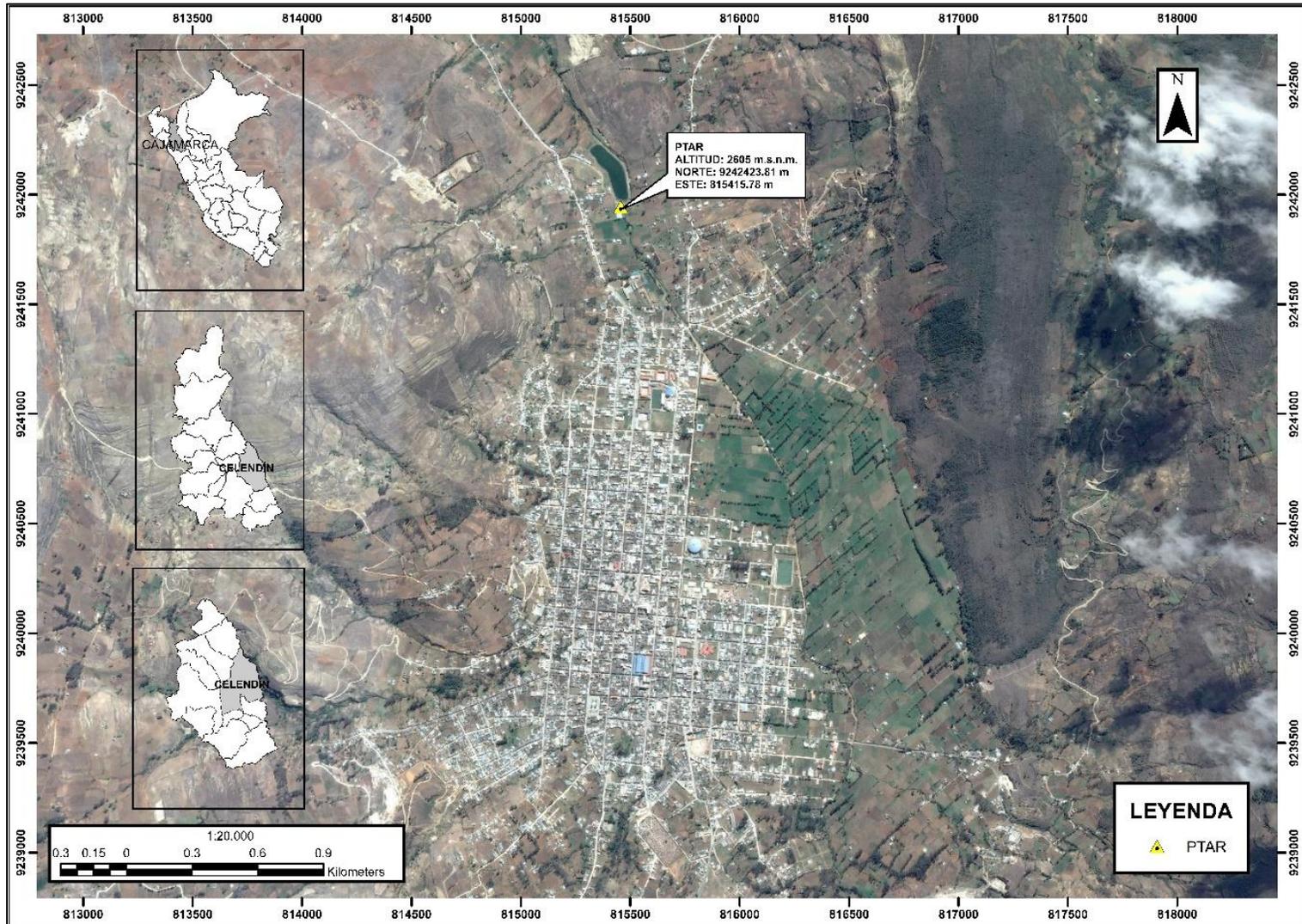


Figura 4: Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

3.2. MATERIALES

3.2.1. Material experimental

- Efluente de la laguna facultativa de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín.
- Ejemplares de *Myriophyllum aquaticum*.

3.2.2. Material de campo

- Ficha de registro.
- Plumón indeleble.
- pH-metro marca: TRACER modelo: Pocketester.
- Cámara fotográfica.
- Cronometro.

3.2.3. Materiales y equipos de laboratorio

- Kit de muestreo
- Preservantes
- Cooler
- Guantes
- Mascarilla
- Agua destilada.
- Laptop para procesamiento de datos.

3.2.4. Otros materiales

- Baldes.
- Mangueras para pecera.
- Tubo PVC $\frac{3}{4}$ ".
- Caja duraforte # 220.
- Electrobomba de 0.5 Hp.
- Timer digital.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Diseño experimental

El presente proyecto de investigación es de tipo preexperimental, es decir diseño de preprueba y posprueba; el análisis preprueba será el afluente de la laguna facultativa de la planta de tratamiento quien proporcionará datos de referencia inicial, luego se administrará un tratamiento con *Myriophyllum aquaticum*, el efluente del tratamiento constituirá el análisis posprueba que servirá para determinar el porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno amoniacal, fosfato, sulfato, cloruro y coliformes termotolerantes.

Modelo estadístico cuadrado latino

El modelo estadístico cuadrado latino es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + R_j + H_k + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ij} = Son las observaciones obtenidas la j-esima vez que se repite el experimento, con el tratamiento i-esimo.

μ = Media general.

T_i = Efecto del tratamiento i.

R_j = Efecto de la repetición j.

H_k = Efecto de la Hilera K.

ϵ_{ijk} = Efecto del error experimental que se presenta al efectuar la j-esima observación del i-esimo tratamiento.

Análisis de varianza (ANVA)

Es un arreglo dado por las fuentes de variación, seguido de los grados de libertad, de las sumas de cuadrados, de los cuadrados medios de cada componente, así como del valor F y su probabilidad de significación.

Tabla 1: Cuadro de análisis de varianza (ANVA)

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	F tabulado
Tratamientos (T)	t-1	$\sum_{i=1}^t \frac{T_i^2}{t} - \frac{Y^2}{t^2}$	$\frac{Sc\ Ti}{t-1}$	$\frac{CM\ Ti}{CMEE}$	Este valor se obtiene a través de tablas, utilizando grados de libertad, el error, así como el nivel de confianza a utilizar
Repetición (R)	t-1	$\sum_{j=1}^t \frac{R_j^2}{t} - \frac{Y^2}{t^2}$	$\frac{Sc\ Rj}{t-1}$	$\frac{CM\ Rj}{CMEE}$	
Hileras (H)	t-1	$\sum_{k=1}^t \frac{H_k^2}{t} - \frac{Y^2}{t^2}$	$\frac{Sc\ Hk}{t-1}$	$\frac{CM\ Hk}{CMEE}$	
Error experimental (EE)	(t-1)(t-2)	$\sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 - \frac{Y^2}{t^2}$	$\frac{Sc\ EE}{(t-1)(t-2)}$		
Total	t ² -1	Sc totsl - (ScTi + Sc Cj + Sc Hk)			

Dónde:

T = tratamiento

Sc = suma de cuadrados

CM = cuadrado medio

Coefficiente de variabilidad

$$CV = \frac{\sqrt{CMEE}}{X} * 100$$

Dónde:

X = promedio de repeticiones

3.3.2. Croquis del experimento

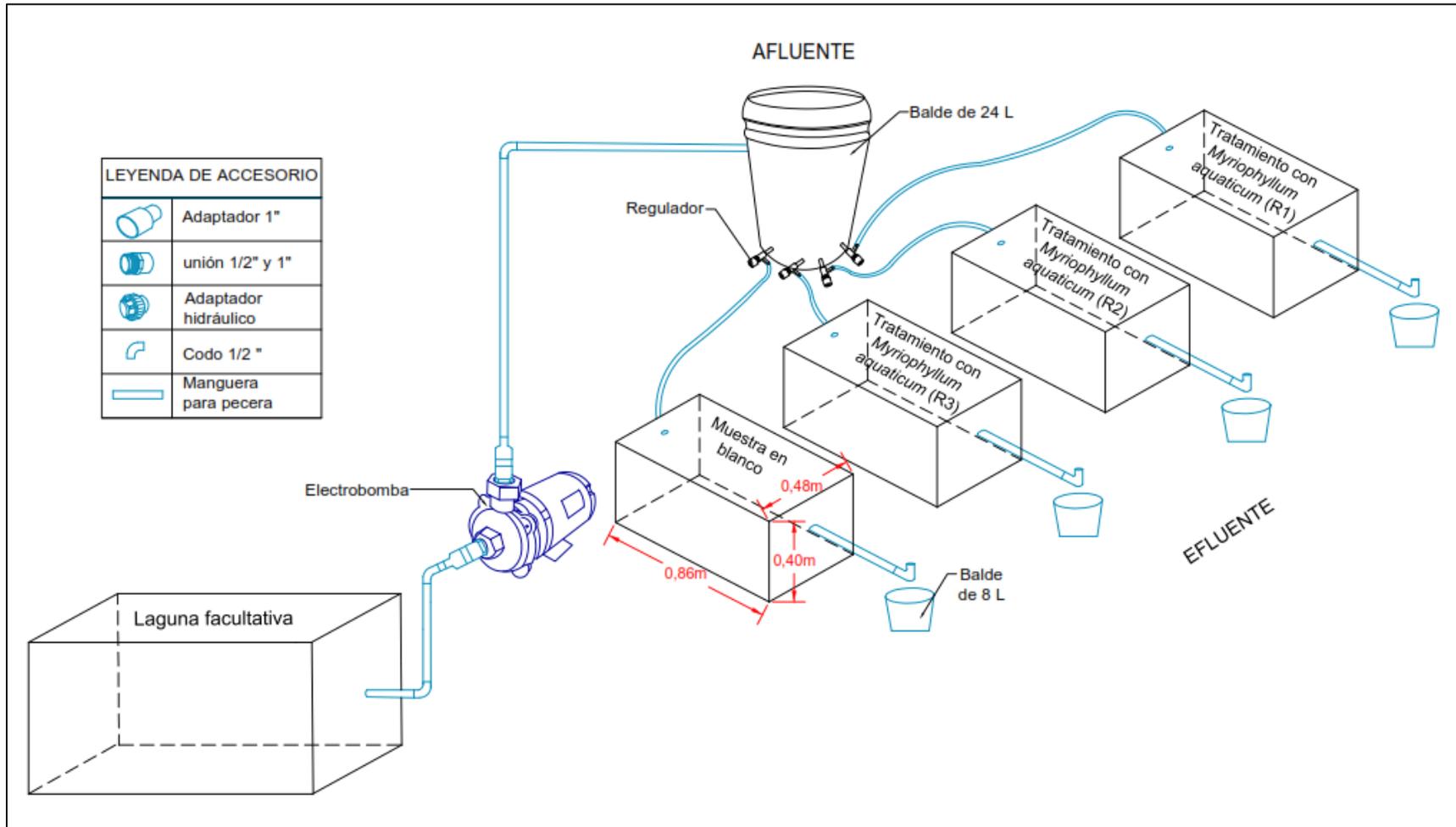


Figura 5: Diseño del sistema de tratamiento

3.3.3. Procedimiento

- Instalación del sistema, los recipientes que constituyen el sistema de tratamiento son cajas duraforte # 220 cuyas dimensiones son: largo 86 cm, ancho 48 cm y altura 40 cm con un volumen de 0,165 m³; instalados sobre un taburete de madera de 0.50 m; el efluente del sistema de tratamiento se verterá en baldes de 8 L; el tanque de distribución es un balde de 24 L ubicado a una altura de 0.80 m el cual es alimentado con el efluente de la laguna facultativa a través de una electrobomba de 0.5 Hp controlado por un timer digital, las conexiones para la distribución del caudal se realizó con mangueras para pecera con sus respectivas llaves para el correcto ingreso del caudal a cada reactor.
- Obtención de *Myriophyllum aquaticum*, los ejemplares se obtuvieron del río Grande de la ciudad de Celendín, luego se lavó con agua y se hizo la selección de las plantas más pequeñas.
- Adaptación de los ejemplares de *Myriophyllum aquaticum*, se realizó en 3 cajas duraforte #220 por un periodo de 2 meses.
- Puesta en marcha del sistema de tratamiento, entró en funcionamiento después de la instalación del sistema y la adaptación de los ejemplares de *Myriophyllum aquaticum*, dando inicio a la etapa de ejecución del proyecto.

Frecuencia de monitoreo

- Análisis de parámetros de campo in situ, se realizó de acuerdo al cronograma de actividades establecido y en los diferentes puntos de monitoreo que se detallan en la figura 6, midiendo los parámetros de pH, temperatura y caudal los días lunes, miércoles, viernes y domingo a las 9:00 am durante las 4 semanas de ejecución del proyecto.

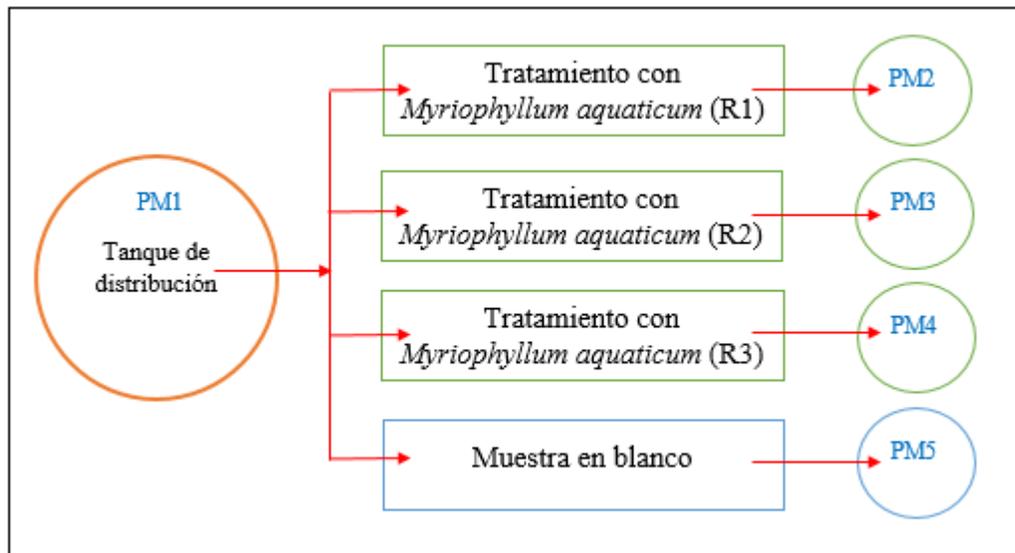


Figura 6: Puntos de monitoreo

Dónde:

- PM1: Punto de monitoreo 1
- PM2: Punto de monitoreo 2
- PM3: Punto de monitoreo 3
- PM4: Punto de monitoreo 4
- PM5: Punto de monitoreo 5

- Recolección de las muestras y envío a un laboratorio certificado, se realizó de acuerdo al protocolo de toma de muestras del laboratorio regional del agua acreditado por el organismo peruano de acreditación (INACAL-DA) con registro N° LE-084; los días viernes durante cuatro semanas, el envío se hizo inmediatamente después de la recolección de muestras en los puntos de monitoreo establecidos.

3.3.4. Tratamiento y análisis de datos

El presente proyecto de investigación se realizó en 2 etapas:

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

a) Fase de campo

La determinación de estos parámetros se realizó directamente en el campo, los parámetros se midieron en cada uno de los puntos de monitoreo establecidos para lo cual se procedió de la siguiente manera.

- Tiempo de retención hidráulico; se determinó en cada uno de los reactores aplicando la siguiente formula:

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

Dónde:

TRH : tiempo de retención hidráulica (días).

V : volumen del reactor (m³).

Q : caudal (m³/día).

- Temperatura: se determinó a través del uso del multiparametro marca: TRACER modelo: Pocketester.
- pH: este parámetro se determinó con el uso del multiparametro marca TRACER modelo: Pocketester.

Tamaño de muestra

El tamaño de muestra se recolectó de acuerdo a los requisitos mínimos para la toma de muestras de agua y los requerimientos del laboratorio regional del agua – Cajamarca; para los parámetros de oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nitrógeno amoniacal (NH₃-N), fosfatos (PO₄), sulfatos (SO₄), cloruros (Cl⁻) y coliformes termotolerantes en los puntos de monitoreo establecidos.

Tabla 2: Tamaño de muestra

PARAMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	VOLUMEN MINIMO DE TOMA DE MUESTRA	TIPO DE MATRIZ	PRESERVACION	TIEMPO MÀXIMO DE DURACION
OD	Plástico o Vidrio	300 mL	Agua residual	NaN ₃ + Acet. Zinc	8 h
DBO₅	Plástico o Vidrio	1000 mL	Agua residual	Refrigeración	6 h
Nitrógeno Amoniacal	Plástico o Vidrio	500 mL	Agua residual	H ₂ SO ₄ -pH<2	7 d
Fosfato	Plástico o Vidrio	100 mL	Agua residual	Refrigeración	No indica
Sulfato	Plástico o Vidrio	100 mL	Agua residual	Refrigeración	No indica
Cloruros	Plástico o Vidrio	100 mL	Agua residual	Refrigeración	No indica
Coliformes termotolerantes	Vidrio borosilicato o plástico esteril boca ancha	200 mL	Agua residual	< 10°C (No congelar)	24 horas

b) Fase de laboratorio

Esta fase es exclusiva del laboratorio quien se encargará del procesamiento de datos y los resultados correspondientes para cada parámetro.

Teniendo en cuenta la distancia y siguiendo el protocolo del laboratorio es necesario la conservación de las muestras para lo cual se colocó preservantes los cuales se detallan en la tabla 2.

3.3.5. Presentación de la información

Se registraron los resultados emitidos por el laboratorio regional del agua: demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno amoniacal, fosfatos, sulfatos, cloruros y coliformes termotolerantes; los cuales fueron procesados para obtener el porcentaje de remoción de *Myriophyllum aquaticum*.

La determinación del porcentaje de remoción en los diferentes puntos de monitoreo se realizó de la siguiente manera:

- Se calculó el promedio aritmético de los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno amoniacal, fosfatos, sulfatos, cloruros y coliformes termotolerantes para cada punto de monitoreo, para ello se aplicó la siguiente fórmula:

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

Dónde:

\bar{x} = promedio aritmético

x = valor de cada parámetro

n = número de datos

- Haciendo uso del promedio aritmético de los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno amoniacal, fosfatos, sulfatos, cloruros y coliformes termotolerantes obtenidos en cada punto de monitoreo se procedió a calcular el porcentaje de remoción aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ remoción} = \frac{\text{afluente} - \text{efluente}}{\text{afluente}} * 100$$

Dónde:

afluente = efluente de la planta de tratamientos (efluente laguna facultativa)

efluente = efluente del sistema de tratamiento

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. pH

El monitoreo de pH se encuentra en el anexo 1.



Figura 7: Valores promedio semanal de pH

Los valores promedio semanal de pH de los 5 puntos de monitoreo oscilan entre 7.73 y 9.01 presentando un pH alcalino; existe variaciones del pH notándose un aumento en el PM5 (muestra en blanco).

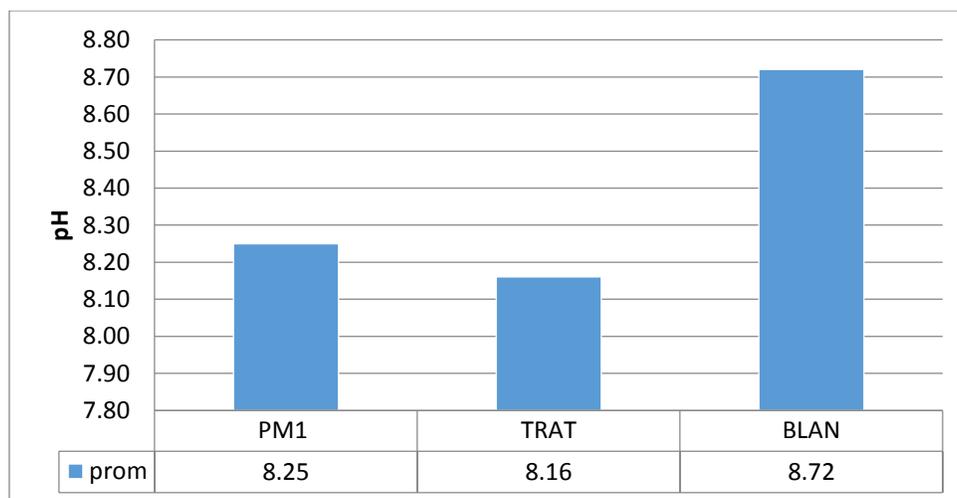


Figura 8: Valores promedio de pH

El efluente de la laguna facultativa de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín (PM1) tiene un pH promedio de 8.25, con el tratamiento de *Myriophyllum aquaticum* baja ligeramente a 8.16, mientras que la muestra en blanco tiende a incrementarlo a 8.72.

Myriophyllum aquaticum se desarrolla mejor en ambientes donde el rango del pH se encuentra entre 6.8 – 8.0 (Federación de Sociedades Acuáticas de Nueva Zelanda, en Mabulu 2005; citado por CONABIO 2015).

4.2. Temperatura (T°)

El monitoreo de la temperatura se encuentra en el anexo 2.

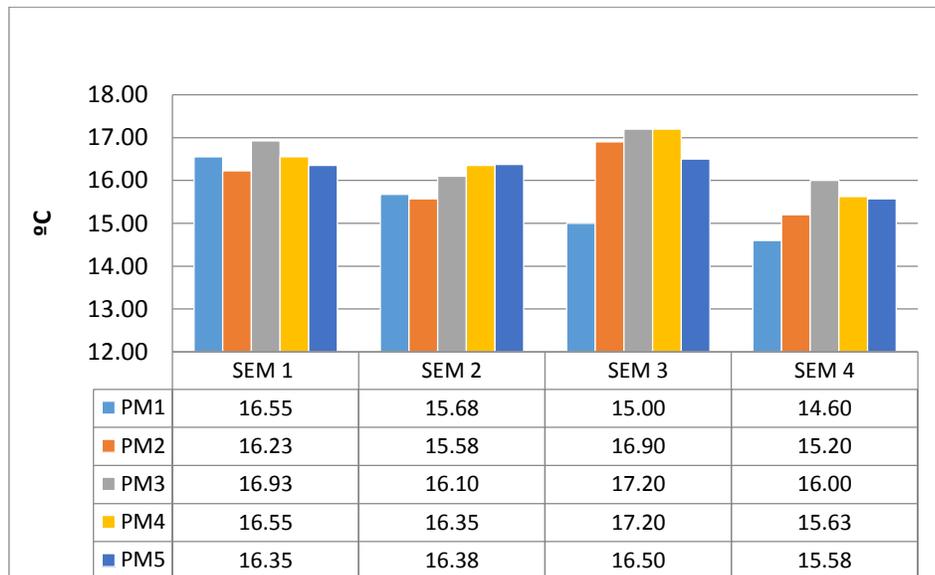


Figura 9: Valores promedio semanal de temperatura

Las mediciones promedio semanal de la temperatura de los 5 puntos de monitoreo oscilan entre 14.6 °C y 17.2 °C notándose una ligera disminución durante el transcurso de las semanas.

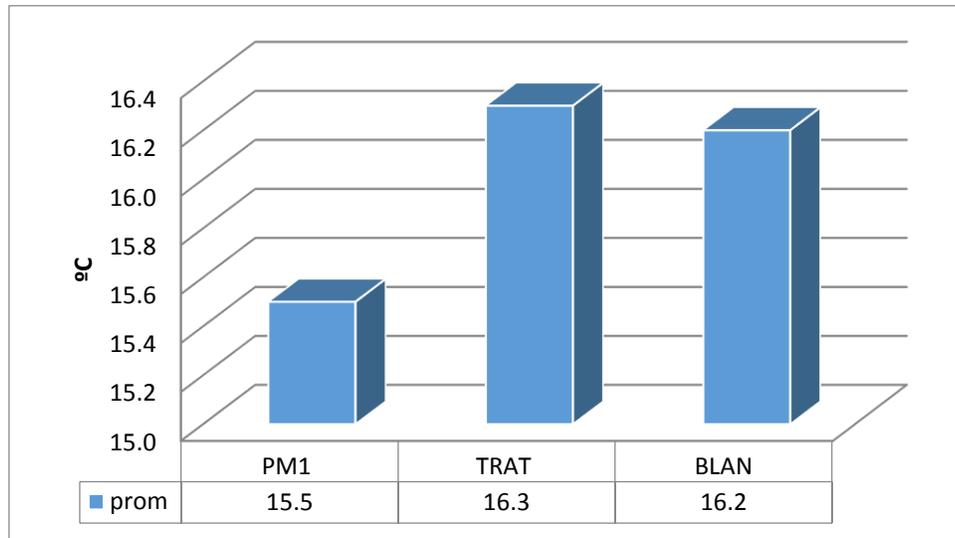


Figura 10: Valores promedio de temperatura

La temperatura en el efluente de la laguna facultativa de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín (PM1) tiene en promedio 15.5 ° C; tanto el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* como la muestra en blanco tienden a aumentar la temperatura, pero *Myriophyllum aquaticum* aumenta la temperatura un poco más en comparación con la muestra en blanco.

Myriophyllum aquaticum se desarrolla mejor entre temperaturas de 16 - 23 °C (Federación de Sociedades Acuáticas de Nueva Zelanda, en Mabulu 2005; citado por CONABIO 2015). Las plantas acuáticas son sensibles a los cambios de temperatura del agua y requieren que esta se mantenga dentro de un intervalo determinado para poder sobrevivir y reproducirse. Si la temperatura del agua permanece fuera de este intervalo durante mucho tiempo, los organismos quedarán expuestos a condiciones inadecuadas (COBCM/COBCLM 2013).

4.3. Oxígeno disuelto (OD)

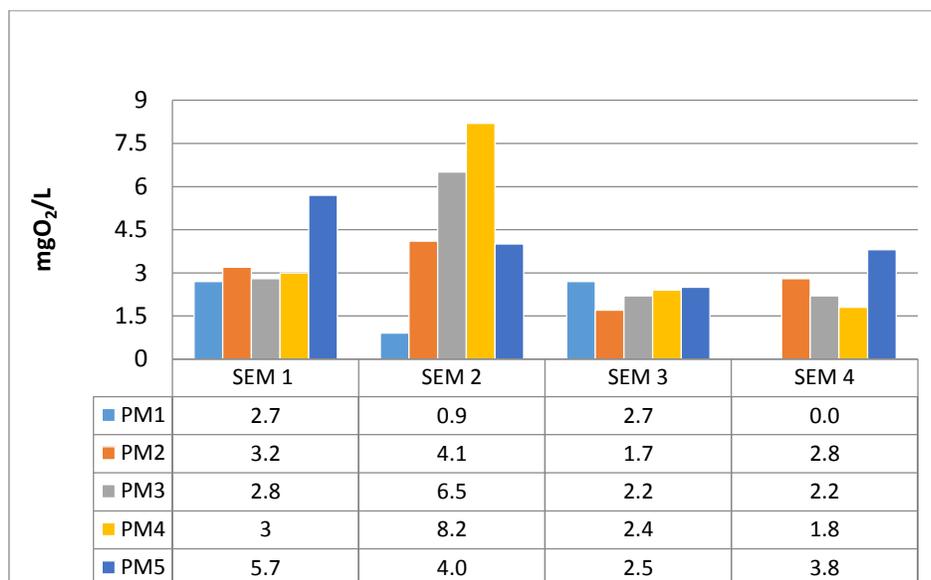


Figura 11: Concentración de OD durante el periodo de monitoreo

En la figura 11 podemos observar las variaciones de OD en los diferentes puntos de monitoreo durante 4 semanas de análisis; en el PM1 (efluente de la laguna facultativa) el OD varía entre 0 mgO₂/L y 2.7 mgO₂/L mientras que aplicando el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* el OD aumenta entre 1.7 mgO₂/L y 8.2 mgO₂/L y con el PM5 (muestra en blanco) el OD tiene valores entre 2.5 mgO₂/L y 5.7 mgO₂/L.

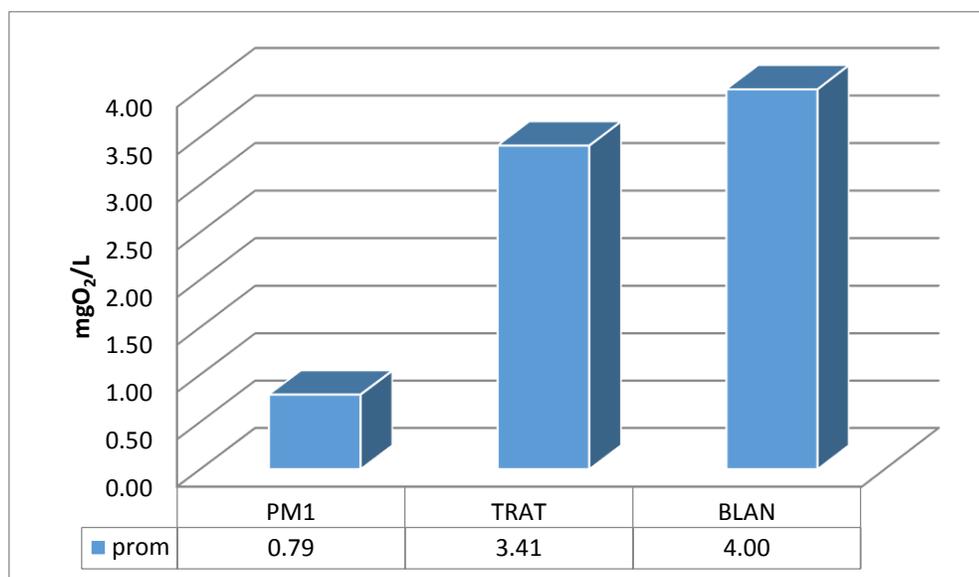


Figura 12: Valores promedio de OD

En la figura 12 se observa el promedio de oxígeno disuelto, el efluente de la laguna facultativa de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín (PM1) presenta 0.79 mgO₂/L de OD mientras que al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* observamos un aumento considerable del OD a 3.41 mgO₂/L obteniendo una eficiencia de amento de oxígeno disuelto de 76.9 %.

Las plantas acuáticas, y particularmente, las macrofitas emergentes, han desarrollado mecanismos adaptativos a las condiciones de saturación del sustrato y de inundación. Entre estas adaptaciones hay que destacar las que se refieren a la necesidad de proporcionar mecanismos de aireación de sus tejidos. La presencia de lenticelas, pequeñas aberturas en hojas y tallos, permite que el aire entre dentro de la planta, pero lo que es más importante es el desarrollo de un tejido especializado con grandes espacios huecos interconectados, el aerénquima, que permite la convección de gases a través de toda la longitud de la planta, llegando a proporcionar aire a las raíces. Finalmente, por intercambio gaseoso en las raíces se libera oxígeno al medio, redundando en la creación de un microambiente aerobio en el agua próxima a las raíces (González et al. s.f.).

En comparación con los resultados obtenidos en la tesis titulada “Eficiencia de *Eichhioria crassipes* y *Asturtium officiale* en la remoción de DBO₅ y DQO del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín” realizada por Valdivia en 2019. *Myriophyllum aquaticum* alcanzó mayor porcentaje de aumento de OD llegado a 76.9% mientras que *Nasturtium officinale* obtuvo 64.29% y *Eichhornia crassipes* 30.61 %.

Modelo lineal general: OD vs tratamiento, semana, efecto

Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	4	PM2, PM3, PM4, PM5
Semana	Fijo	4	1, 2, 3, 4
Efecto	Fijo	4	A, B, C, D

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	CM ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	5.0219	1.674	6.93	0.022
Semana	3	2.7254	0.9085	3.76	0.079
Efecto	3	0.3154	0.1051	0.43	0.736
Error	6	1.4503	0.2417		
Total	15	9.9694			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.492	85.45%	63.63%	0.00%

Promedio de repeticiones

X = 2.81

Coefficiente de variabilidad

CV = 24.88 %

Interpretación:

Tratamiento

H_0 : Todos los tratamientos tienen el mismo efecto para OD

H_1 : Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para OD

P valor= 0.022 menor a 0.05 se rechaza H_0 , en consecuencia:

Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para OD

Semana

H_0 : Todas las semanas tienen el mismo efecto para OD

H_1 : Al menos una semana tiene efecto distinto para OD

P valor= 0.079 mayor a 0.05 no se rechaza H_0 , en consecuencia:

Todas las semanas tienen el mismo efecto para OD

Efecto

H_0 : Todas las hileras tienen el mismo efecto para OD

H_1 : Al menos una hilera tiene efecto distinto para OD

P valor= 0.736 mayor a 0.05 no se rechaza H_0 , en consecuencia:

Todas las hileras tienen el mismo efecto para OD.

El 85.45% del contenido de OD es explicado por el modelo cuadrado latino.

El coeficiente de variabilidad es menor al 30% lo que significa que el diseño es controlado.

4.4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

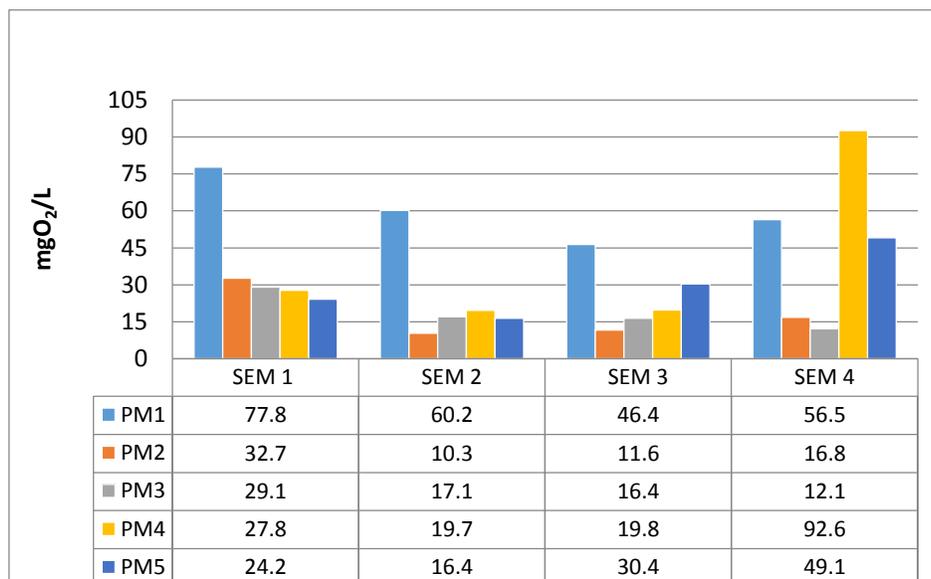


Figura 13: Concentración de DBO₅ durante el periodo de monitoreo

En la figura 13 se muestra los valores obtenidos de DBO₅ durante las 4 semanas de monitoreo; en el PM1 (efluente de la laguna facultativa) los valores oscilan entre 46.4 mgO₂/L y 77.8 mgO₂/L mientras que con el tratamiento de *Myriophyllum aquaticum* se observa valores entre 10.3 mgO₂/L y 92.6 mgO₂/L notándose una disminución del mismo; en el PM5 (muestra en blanco) la DBO₅ oscila entre 16.4 mgO₂/L y 49.1 mgO₂/L.

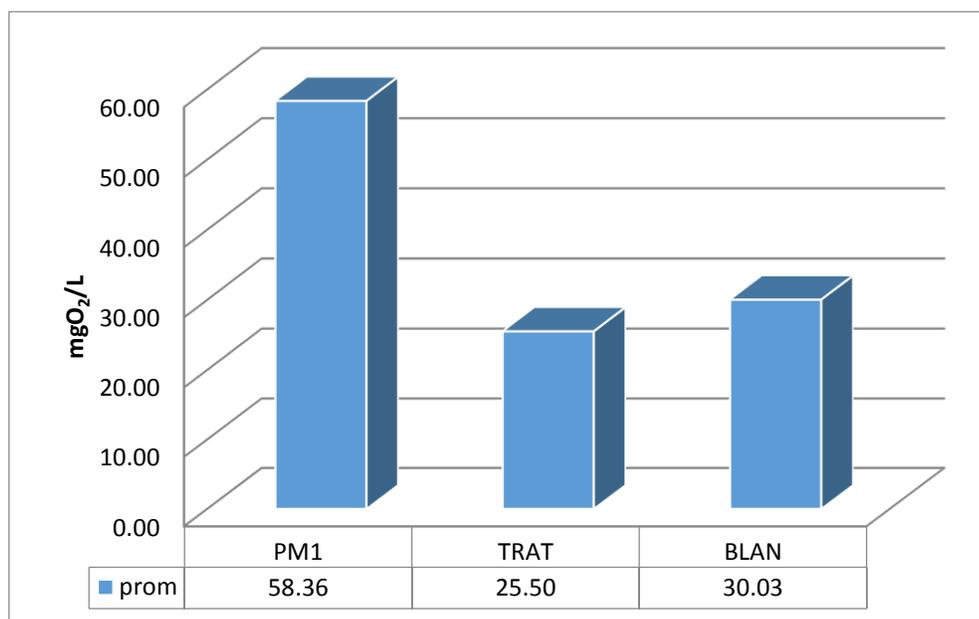


Figura 14: Valores promedio de DBO₅

El efluente de la laguna facultativa de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín (PM1) en promedio presenta 58.36 mgO₂/L de DBO₅ mientras que al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* se reduce considerablemente a 25.50 mgO₂/L presentando una eficiencia de remoción del 56.3 %.

Según el estudio “Post-tratamiento del efluente de un reactor UASB que trata agua residual urbana mediante *Myriophyllum aquaticum* (Verll.) a condiciones tropicales”, menciona que la razón que se dio para la reducción de DBO₅ en el cultivo de plantas acuáticas es debido al sistema de raíz de la planta, que actúa como medio adecuado para el crecimiento microbiano proporcionando condiciones oxigénicas en la rizosfera produciendo una degradación microbiana de contaminantes orgánicos. Esta conclusión resalta el estudio de (H. Dong, Qiang, Li, Jin, y Chen, 2012; Klomjek y Nitisoravut, 2005) donde concluyen que para una mayor eliminación de los contaminantes orgánicos por *M. aquaticum* (Vell.), en comparación con los demás estudios realizados con otras especies es debido a su morfología específica donde presentan propiedades singulares en su estructura como el desarrollo de estolones absorbentes y el desarrollo del gen “flexibilidad fenotípica” el cual mejora su adaptación a

distintos medios. El indicador influyente y la razón posible para mejorar la remoción de los contaminantes orgánicos (DBO, DQO) de aguas residuales fue relacionado a un aumento de OD que se da por aireación de la planta acuática al medio por sus raíces, lo que aumenta la velocidad de oxidación (Kumari y Tripathi 2014, citado por Bravo et al. 2016).

Comparando con la tesis realizada por Valdivia (2019), *Eichhornia crassipes* obtuvo mayor eficiencia de remoción de DBO₅ llegando a 85.80%, seguido por *Myriophyllum aquaticum* con 56.3%, y por último *Nasturtium officinale* con 30.62%.

Modelo lineal general: DBO₅ vs tratamiento, semana, efecto

Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	4	PM2, PM3, PM4, PM5
Semana	Fijo	4	1, 2, 3, 4
Efecto	Fijo	4	A, B, C, D

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	CM ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	335.34	111.781	13.69	0.004
Semana	3	13.04	4.347	0.53	0.677
Efecto	3	26.07	8.689	1.06	0.432
Error	6	49	8.166		
Total	5	415.18			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2.8577	88.20%	70.50%	27.39%

Promedio de repeticiones

$$X = 21.12$$

Coefficiente de variabilidad

$$CV = 13.53 \%$$

Interpretación:**Tratamiento**

H_0 : Todos los tratamientos tienen el mismo efecto para DBO_5

H_1 : Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para DBO_5

P valor= 0.004 menor a 0.05 se rechaza H_0 , en consecuencia:

Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para DBO_5

Semana

H_0 : Todas las semanas tienen el mismo efecto para DBO_5

H_1 : Al menos una semana tiene efecto distinto para DBO_5

P valor= 0.677 mayor a 0.05 no se rechaza H_0 , en consecuencia:

Todas las semanas tienen el mismo efecto para DBO_5

Efecto

H_0 : Todas las hileras tienen el mismo efecto para DBO_5

H_1 : Al menos una hilera tiene efecto distinto para DBO_5

P valor= 0.432 mayor a 0.05 no se rechaza H_0 , en consecuencia:

Todas las hileras tienen el mismo efecto para DBO_5

El 88.20% del contenido de OD es explicado por el modelo cuadrado latino

El coeficiente de variabilidad es menor al 30% lo que significa que el diseño es controlado.

4.5. Nitrógeno amoniacal

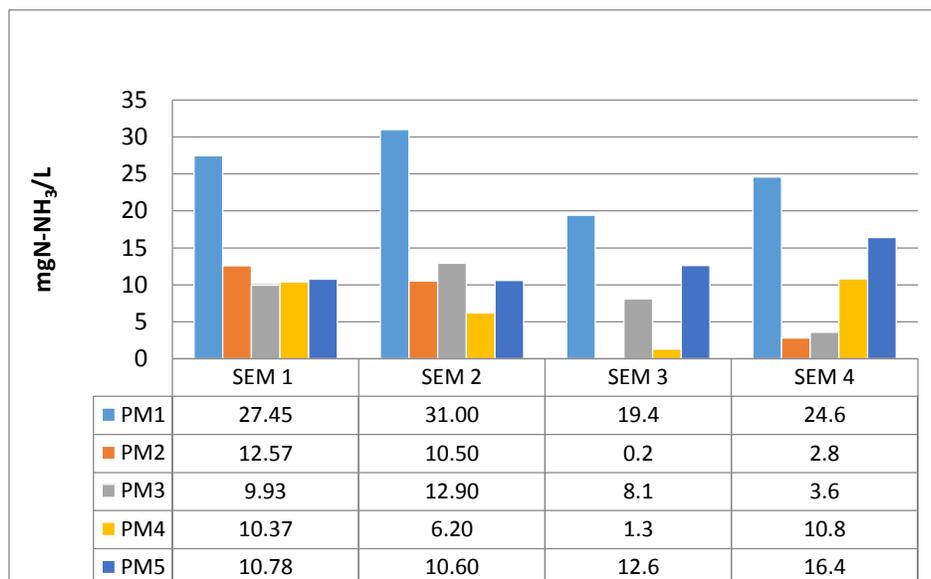


Figura 15: Concentración de nitrógeno amoniacal durante el periodo de monitoreo

En la figura 15 se evidencia la disminución del nitrógeno amoniacal con el uso del *Myriophyllum aquaticum*, en el PM1 (efluente de la laguna facultativa) el nitrógeno amoniacal oscila entre 19.4 mgN-NH₃/L y 31 mgN-NH₃/L mientras que con el uso de *Myriophyllum aquaticum* los valores obtenidos fueron 0.2 mgN-NH₃/L y 12.9 mgN-NH₃/L notándose una gran disminución del mismo; en el PM5 (muestra en blanco) los valores obtenidos fueron de 10.6 mgN-NH₃/L hasta 16.4 mgN-NH₃/L.

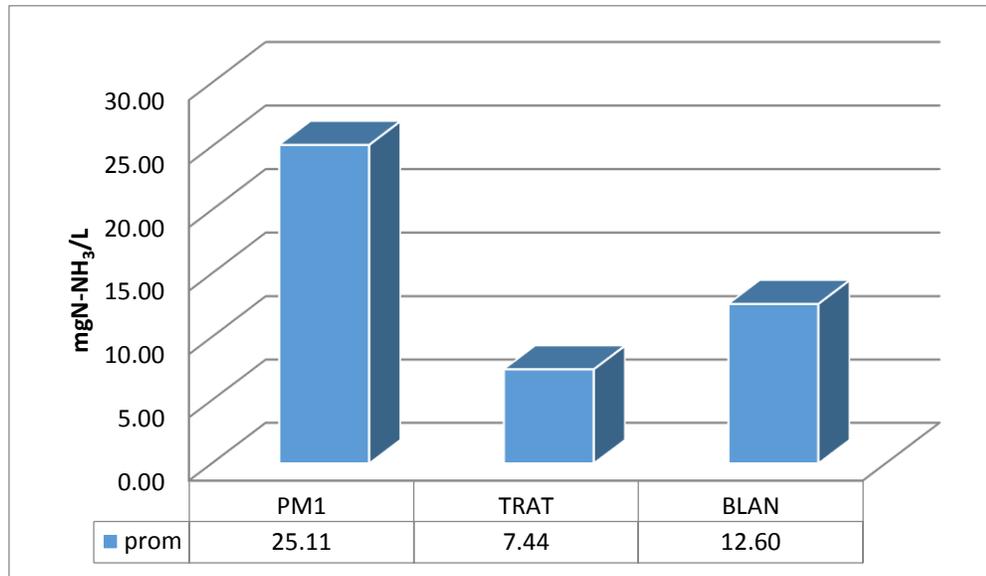


Figura 16: Valores promedio de nitrógeno amoniacal

El PM1 (efluente de la laguna facultativa) en promedio presenta 25.11 mgN-NH₃/L de nitrógeno amoniacal mientras que al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* disminuye la concentración a 7.44 mgN-NH₃/L, representando una eficiencia de remoción del 70.4 %.

Para González (2013), el proceso de extracción de nitrógeno por las plantas consiste en la asimilación de formas inorgánicas del nitrógeno para formar compuestos orgánicos nitrogenados estructurales de la planta. Como se sabe, el nitrógeno es un macronutriente indispensable para las plantas; cuanto mayor es la tasa de crecimiento de la planta mayor es la extracción de nitrógeno. La tasa de proliferación de *Myriophyllum aquaticum* es alta llegando a tener varios ejemplares en poco tiempo lo que explicaría el proceso de extracción del nitrógeno y su eficiencia en la remoción del mismo.

Modelo lineal general: NITRÓGENO AMONIACAL vs tratamiento, semana, efecto

Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	4	PM2, PM3, PM4, PM5
Semana	Fijo	4	1, 2, 3, 4
Efecto	Fijo	4	A, B, C, D

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	CM ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	23.895	7.9651	16.78	0.003
Semana	3	1.518	0.5061	1.07	0.431
Efecto	3	1.902	0.634	1.34	0.348
Error	6	2.847	0.4746		
Total	15	29.843			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.68889	90.46%	0.00%	0.00%

Promedio de repeticiones

X = 3.19

Coefficiente de variabilidad

CV = 21.62 %

Interpretación:

Tratamiento

H₀: Todos los tratamientos tienen el mismo efecto para nitrógeno amoniacal

H₁: Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para nitrógeno amoniacal

P valor= 0.003 menor a 0.05 se rechaza H_0 , en consecuencia:

Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para nitrógeno amoniacal

Semana

H_0 : Todas las semanas tienen el mismo efecto para nitrógeno amoniacal

H_1 : Al menos una semana tiene efecto distinto para nitrógeno amoniacal

P valor= 0.431 mayor a 0.05 no se rechaza H_0 , en consecuencia:

Todas las semanas tienen el mismo efecto para nitrógeno amoniacal

Efecto

H_0 : Todas las hileras tienen el mismo efecto para nitrógeno amoniacal

H_1 : Al menos una hilera tiene efecto distinto para nitrógeno amoniacal

P valor= 0.348 mayor a 0.05 no se rechaza H_0 , en consecuencia:

Todas las hileras tienen el mismo efecto para nitrógeno amoniacal

El 90.46% del contenido de Nitro Amoniacal es explicado por el modelo cuadrado latino.

El coeficiente de variabilidad es menor al 30% lo que significa que el diseño es controlado.

4.6. Fosfato

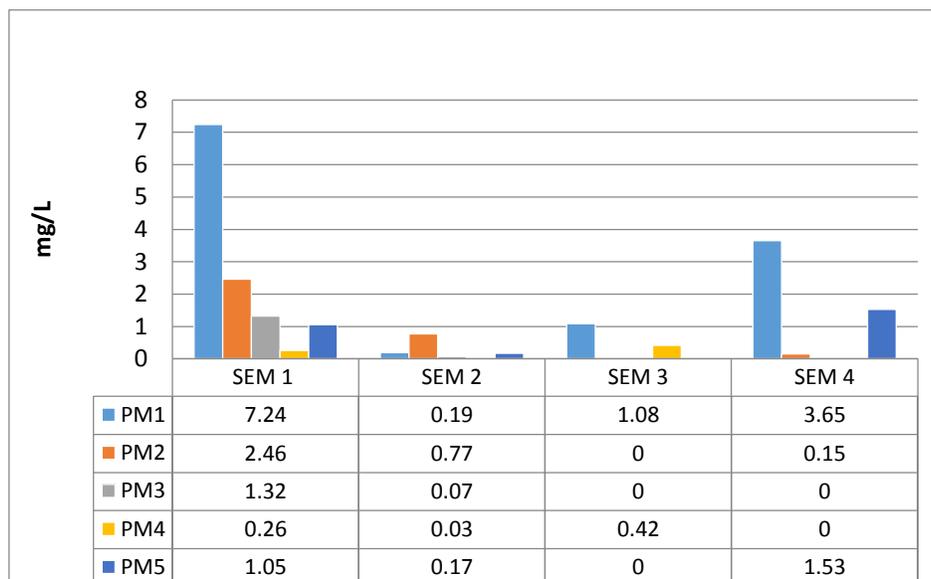


Figura 17: Concentración de fosfato durante el periodo de monitoreo

En la figura 17 podemos observar las variaciones del fosfato durante las 4 semanas de monitoreo, en el PM1 (efluente de la laguna facultativa) el fosfato oscila entre 0.19 mg/L y 7.24 mg/L mientras que al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* el fosfato disminuye entre 0 mg/L y 2.46 mg/L; en el PM5 (muestra en blanco) los valores varían desde 0 mg/L hasta 1.53 mg/L.

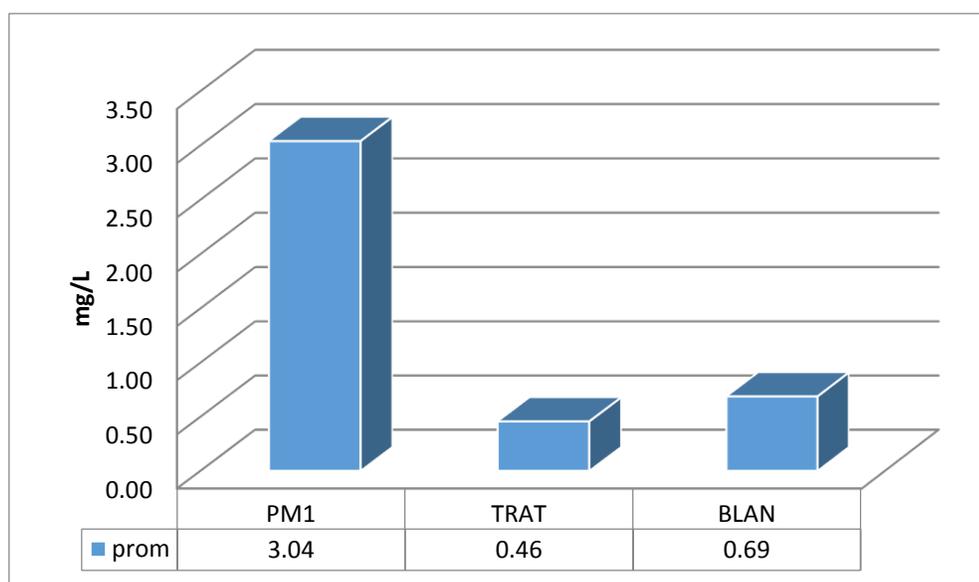


Figura 18: Valores promedio de fosfatos

El PM1 (efluente de la laguna facultativa) en promedio presenta valores de fosfatos de 3.04 mg/L mientras que al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* reduce considerablemente hasta 0.46 mg/L obteniendo una eficiencia de remoción del 85%.

La remoción significativa del fósforo se debe principalmente a la deposición e inmovilización de los fosfatos en los sedimentos. Una parte importante del fósforo del influente sigue una dinámica compleja de reciclado en el mismo sistema, que puede resumirse en la secuencia solubilización-extracción-incorporación; ocasionalmente se forman precipitados o deposiciones que conducen a su inmovilización (Gonzales s.f.).

El sedimento orgánico en los humedales es otro elemento fundamental en la depuración, porque además de ser sustrato para el crecimiento microbiano, presenta una elevada capacidad de intercambio iónico, lo cual asegura la retención y posterior transformación del material orgánico e inorgánico. Así mismo, dicho sedimento juega un papel fundamental en la dinámica del fósforo, cuyo principal mecanismo de eliminación es, junto con la asimilación biótica, su adsorción a las arcillas y la precipitación y formación de complejos con Al, Fe y Ca presentes en los sedimentos (Lahora, citado por Perez MA 2009).

La absorción del fosforo por *Myriophyllum aquaticum* podría explicarse según lo informado por Sytsma y Anderson (1993), quienes reportan que esta planta es capaz de acumular fósforo en periodos de disponibilidad de éste nutriente. Según el estudio realizado los rizomas contenían solo el 3 % del total de fosforo, mientras que el 80 % del fosforo se encontró en los tejidos emergentes, concluyeron que *M. aquaticum* parece depender de la absorción actual de fosforo para el crecimiento en lugar del fosforo almacenado.

Comparando con la tesis realizada por Castillo (2017) titulada “Eficiencia de *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín”, la hidrofita que alcanzó mayor porcentaje de remoción de fosfatos fue *Myriophyllum aquaticum*

llegando al 85% de remoción, seguido por *Eichhornia crassipes* con 68% y por último *Lemna sp* con 34%.

Modelo lineal general: FOSFATO vs tratamiento, semana, efecto

Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	4	PM2, PM3, PM4, PM5
Semana	Fijo	4	1, 2, 3, 4
Efecto	Fijo	4	A, B, C, D

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	CM ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	1.62386	0.541287	57.24	0.000
Semana	3	0.03496	0.011653	1.23	0.377
Efecto	3	0.01781	0.005936	0.63	0.623
Error	6	0.05673	0.009456		
Total	15	1.74567			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0972402	96.75%	0.00%	0.00%

Promedio de repeticiones

X = 0.50

Coefficiente de variabilidad

CV = 30.27 %

Interpretación:

Tratamiento

H₀: Todos los tratamientos tienen el mismo efecto para fosfato

H_1 : Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para fosfato

P valor= 0.000 menor a 0.05 se rechaza H_0 , en consecuencia:

Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para fosfato

Semana

H_0 : Todas las semanas tienen el mismo efecto para fosfato

H_1 : Al menos una semana tiene efecto distinto para fosfato

P valor= 0.377 mayor a 0.05 no se rechaza H_0 , en consecuencia:

Todas las semanas tienen el mismo efecto para fosfato

Efecto

H_0 : Todas las hileras tienen el mismo efecto para fosfato

H_1 : Al menos una hilera tiene efecto distinto para fosfato

P valor= 0.623 mayor a 0.05 no se rechaza H_0 , en consecuencia:

Todas las hileras tienen el mismo efecto para fosfato

El 96.75% del contenido de Fosfato es explicado por el modelo cuadrado latino

El coeficiente de variabilidad se encuentra alrededor del 30% lo que significa que el diseño es controlado.

4.7. Sulfato

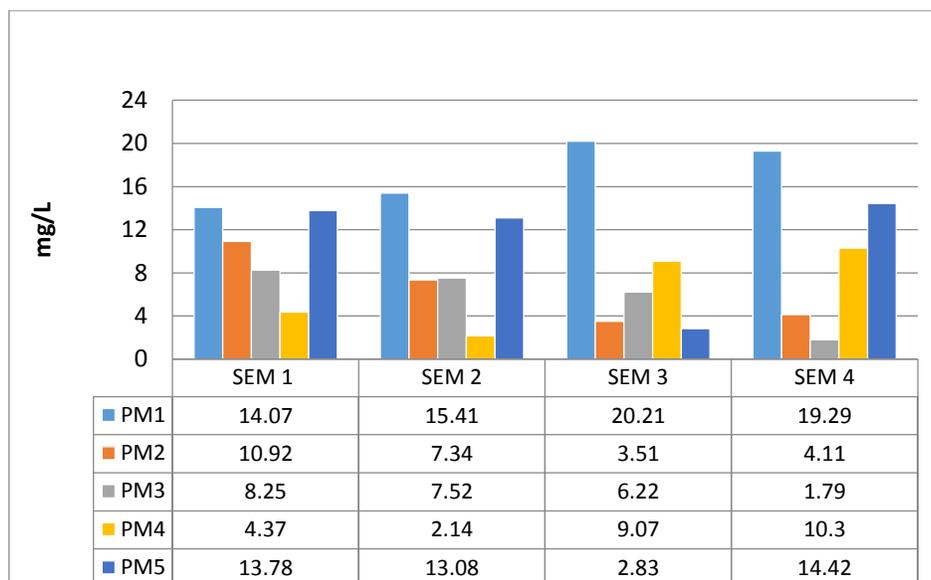


Figura 19: Concentración del sulfato durante el periodo de monitoreo

La concentración de sulfato en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín (PM1) presenta valores elevados entre 14.07 mg/L y 20.21 mg/L mientras que el tratamiento con *Myriophyllum Aquaticum* reduce la concentración de sulfatos entre 1.79 mg/L y 10.92 mg/L. En el PM5 (muestra en blanco) los resultados obtenidos se encuentran entre 2.83 mg/L y 14.42 mg/L.

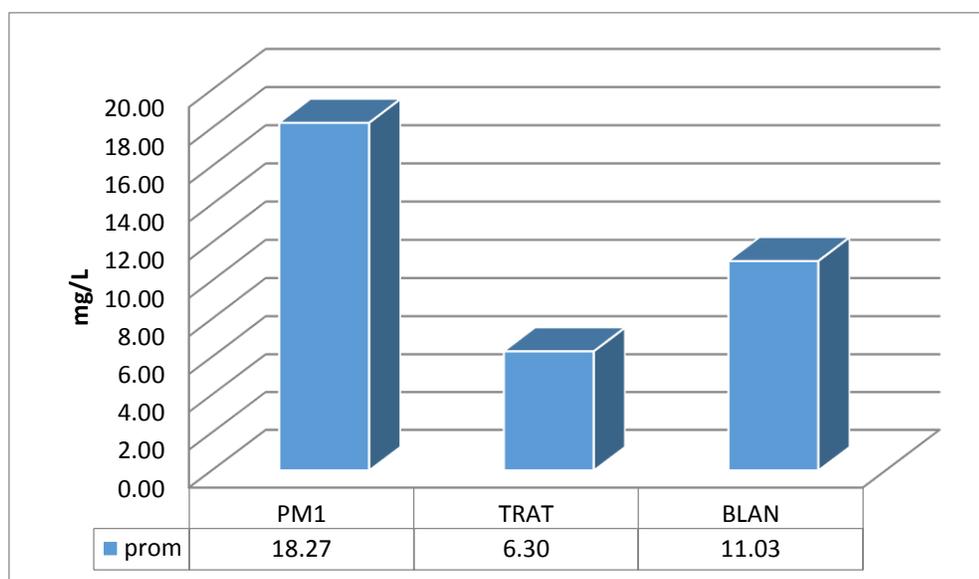


Figura 20: Valores promedio de sulfatos

El PM1 (efluente de la laguna facultativa) en promedio presenta valores de sulfato de 18.27 mg/L mientras que al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* la concentración de sulfatos se reduce considerablemente obteniendo valores de 6.30 mg/L representando una eficiencia de remoción del 65.5 %

La precipitación de sulfuro se produce debido a la reducción de sulfatos a sulfuros en ausencia de nitratos. Los microorganismos anaerobios sulfato reductores son capaces de eliminar metales como hierro, zinc, cobre, níquel, etc., a la vez que disminuye la concentración de sulfatos y se neutraliza el residuo. Ellos reducen los sulfatos produciendo sulfuros (Estrada 2010).

La remoción de sulfatos es muy importante debido a que, si se encuentra en grandes cantidades, los problemas se asocian a una fuerte disminución de pH lo cual alteraría la calidad del agua (Castro 2016).

Modelo lineal general: SULFATO vs tratamiento, semana, efecto

Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	4	PM2, PM3, PM4, PM5
Semana	Fijo	4	1, 2, 3, 4
Efecto	Fijo	4	A, B, C, D

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	CM ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	184.01	61.337	20.02	0.002
Semana	3	24.06	8.019	2.62	0.146
Efecto	3	48.36	16.118	5.26	0.051
Error	6	18.38	3.063		
Total	15	271.21			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.75016	93.22%	83.06%	45.16%

Promedio de repeticiones

$$X = 7.73$$

Coefficiente de variabilidad

$$CV = 23.00 \%$$

Interpretación:**Tratamiento**

H_0 : Todos los tratamientos tienen el mismo efecto para sulfato

H_1 : Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para sulfato

P valor= 0.002 menor a 0.05 se rechaza H_0 , en consecuencia:

Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para sulfato

Semana

H_0 : Todas las semanas tienen el mismo efecto para sulfato

H_1 : Al menos una semana tiene efecto distinto para sulfato

P valor= 0.146 mayor a 0.05 no se rechaza H_0 , en consecuencia:

Todas las semanas tienen el mismo efecto para sulfato

Efecto

H_0 : Todas las hileras tienen el mismo efecto para sulfato

H_1 : Al menos una hilera tiene efecto distinto para sulfato

P valor= 0.051 mayor a 0.05 se rechaza H_0 , en consecuencia:

Todas las hileras tienen el mismo efecto para sulfato

El 93.22% del contenido de Sulfato es explicado por el modelo cuadrado latino

El coeficiente de variabilidad es menor al 30% lo que significa que el diseño es controlado.

4.8. Cloruro



Figura 21: Concentración de cloruros durante el periodo de monitoreo

Los resultados obtenidos durante las 4 semanas de monitoreo fueron: el PM1 (efluente de la laguna facultativa) presenta valores entre 31.64 mg/L hasta 49.68 mg/L aumentando semanalmente, al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* los valores varían a 16.71 mg/L y 71.21 mg/L existiendo un aumento considerable en las dos últimas semanas. En el PM5 (muestra en blanco) los valores obtenidos se encuentran entre 32.45 mg/L y 48.84 mg/L aumentado durante el transcurrir de las semanas.

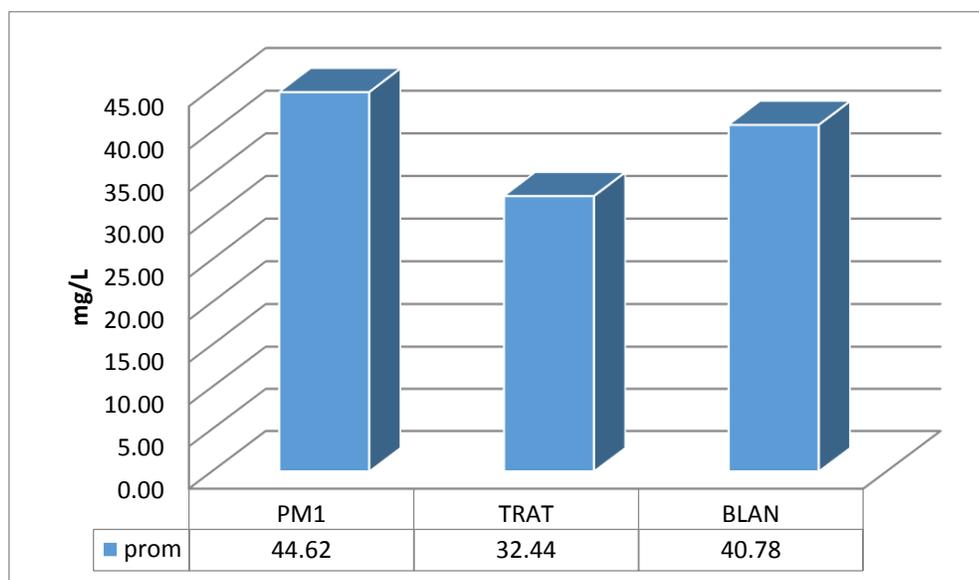


Figura 22: Valores promedio de cloruros

El PM1 (efluente de la laguna facultativa) presenta valores en promedio de cloruro de 44.62 mg/L mientras que al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* disminuye en 32.44 mg/L, presentando una eficiencia de remoción del 27.3 %.

Existe especies vegetales capaces de eliminar la alta salinidad del agua, gracias a su capacidad para acumular cloruros (Zimicz 2016), según los resultados obtenidos *Myriophyllum aquaticum* disminuye la cantidad de cloruros, pero no en grandes cantidades; hasta el momento no existe muchos estudios relacionados con la disminución de cloruros por el uso de plantas, pero se tiene conocimiento que existe algunas especies que son tolerantes a los cloruros y *Myriophyllum aquaticum* sería una de ellas.

Modelo lineal general: CLORURO vs tratamiento, semana, efecto

Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	4	PM2, PM3, PM4, PM5
Semana	Fijo	4	1, 2, 3, 4

Efecto Fijo 4 A, B, C, D

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	CM ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	769.56	256.52	4.98	0.046
Semana	3	5.05	1.684	0.03	0.991
Efecto	3	44.01	14.67	0.28	0.835
Error	6	308.96	51.494		
Total	15	1153.8			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
7.17593	73.22%	33.05%	0.00%

Promedio de repeticiones

X = 30.33

Coefficiente de variabilidad

CV = 23.66 %

Interpretación:

Tratamiento

H₀: Todos los tratamientos tienen el mismo efecto para cloruro

H₁: Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para cloruro

P valor= 0.046 menor a 0.05 se rechaza H₀, en consecuencia:

Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para cloruro

Semana

H₀: Todas las semanas tienen el mismo efecto para cloruro

H₁: Al menos una semana tiene efecto distinto para cloruro

P valor= 0.991 mayor a 0.05 no se rechaza Ho, en consecuencia:

Todas las semanas tienen el mismo efecto para cloruro

Efecto

H₀: Todas las hileras tienen el mismo efecto para cloruro

H₁: Al menos una hilera tiene efecto distinto para cloruro

P valor= 0.835 mayor a 0.05 no se rechaza Ho, en consecuencia:

Todas las hileras tienen el mismo efecto para Cloruro

El 73.22% del contenido de Cloruro es explicado por el modelo cuadrado latino

El coeficiente de variabilidad es menor al 30% lo que significa que el diseño es controlado.

4.9. Coliformes termotolerantes

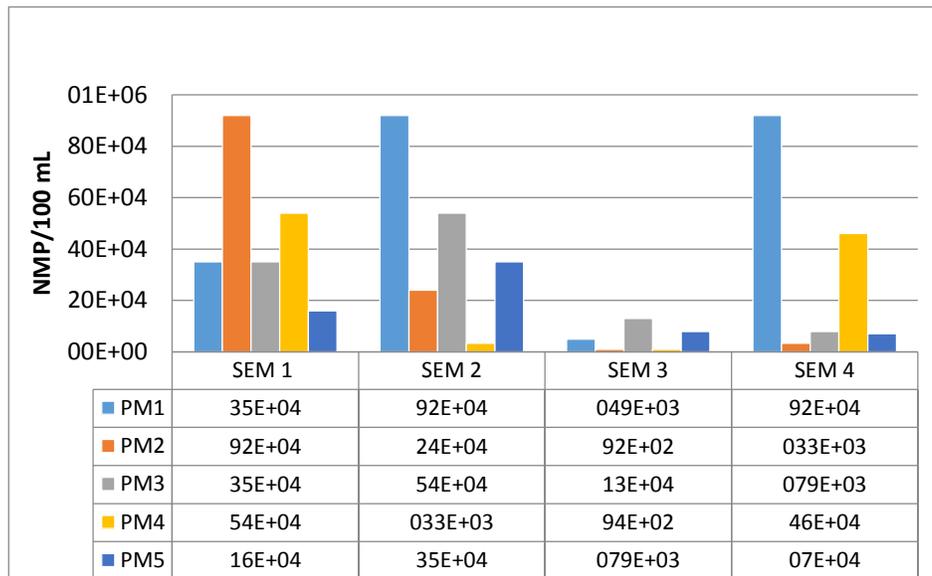


Figura 23: Concentración de coliformes termotolerantes durante el periodo de monitoreo

Los valores obtenidos para coliformes termotolerantes fueron: en el PM1 (efluente de la laguna facultativa) 49×10^3 NMP/100 mL hasta 92×10^4 NMP/100mL mientras que al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* los valores varían entre 92×10^2 NMP/100mL y 92×10^4 NMP/100mL.

En el PM5 (muestra en blanco) los valores obtenidos fueron de 70×10^3 NMP/100mL hasta 35×10^4 NMP/100mL.

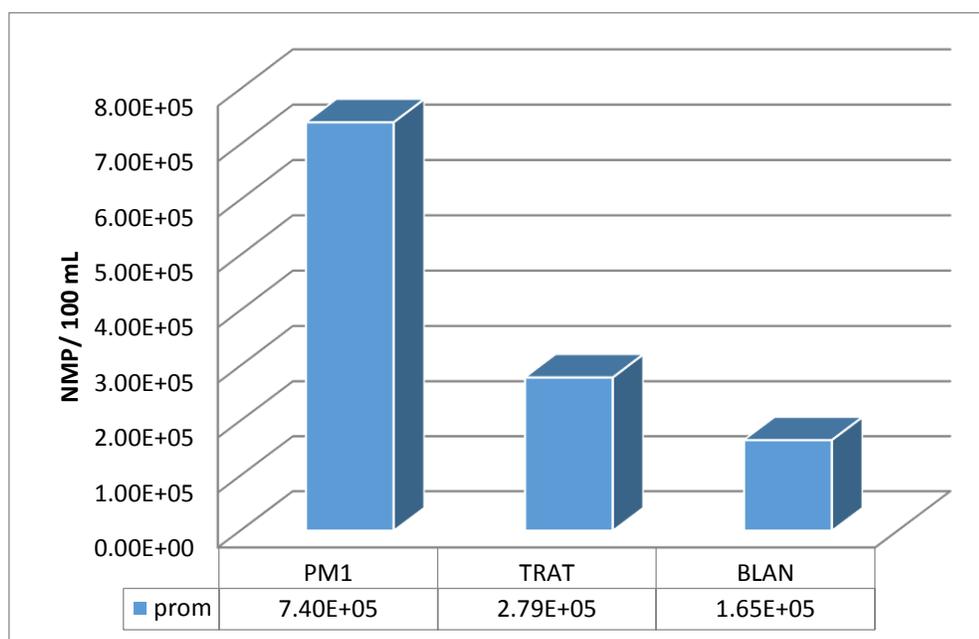


Figura 24: Valores promedio de coliformes termotolerantes

El PM1 (efluente de la laguna facultativa) presenta valores de coliformes termotolerantes de 73×10^4 NMP/100mL mientras que al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* la concentración disminuye a 27×10^4 NMP/100mL representando una eficiencia de remoción del 62.3 %.

En el año 2016, Morales estudió la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes utilizando las especies *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de las aguas residuales domesticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca, llegando a la conclusión que las macrofitas alcanzaron el 98% de remoción; un porcentaje aparentemente alto sin embargo solo se redujo una unidad logarítmica, el cálculo correcto debería ser en la disminución de unidades logarítmicas en estos términos la remoción alcanza un 22%. Según Corpas y Herrera citado por Morales (2019) los coliformes termotolerantes soportan hasta 45° de temperatura y su estudio solo alcanzó de 16° a 18° , por tal las remociones no pudieron ser altas llegando a la conclusión de que la remoción de coliformes termotolerantes fue debido a la biofiltración

producido por la grava, el tiempo de retención hidráulica y los antibióticos de la rizósfera quienes han propiciado esta cantidad de muerte natural de los coliformes.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Morales (2019) la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes por *Myriophyllum aquaticum* no sería muy alta ya que el porcentaje de remoción fue 63% aparentemente alto, pero si embargo no se ha disminuido ni 1 unidad logarítmica. Para cumplir los LMP de descarga se requiere que el efluente reduzca dos (2) unidades logarítmicas más de lo que se ha reducido y tres (3) unidades logarítmicas más en caso se requiera reaprovechar el efluente para riego agrícola o bebida de animales (Morales 2019), en este sentido el tratamiento mediante fitorremediación no es óptima pues no cumple con los estándares microbiológicos.

Modelo lineal general: COLIFORMES TERMOTOLERANTES vs tratamiento, semana, efecto

Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	4	PM2, PM3, PM4, PM5
Semana	Fijo	4	1, 2, 3, 4
Efecto	Fijo	4	A, B, C, D

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	CM ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	27.9241	9.30804	15.78	0.003
Semana	3	0.3323	0.11705	0.19	0.901
Efecto	3	0.2858	0.09526	0.16	0.918
Error	6	3.5395	0.58991		
Total	15	32.0226			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.768	88.95%	0.00%	0.00%

Promedio de repeticiones

$$X = 21.12$$

Coefficiente de variabilidad

$$CV = 17.6 \%$$

Interpretación:**Tratamiento**

H₀: Todos los tratamientos tienen el mismo efecto para coliformes termotolerantes

H₁: Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para coliformes termotolerantes

P valor= 0.003 menor a 0.05 se rechaza H₀, en consecuencia:

Al menos un tratamiento tiene efecto distinto para coliformes termotolerantes

Semana

H₀: Todas las semanas tienen el mismo efecto para coliformes termotolerantes

H₁: Al menos una semana tiene efecto distinto para coliformes termotolerantes

P valor= 0.901 mayor a 0.05 no se rechaza H₀, en consecuencia:

Todas las semanas tienen el mismo efecto para coliformes termotolerantes

Efecto

H₀: Todas las hileras tienen el mismo efecto para coliformes termotolerantes

H_1 : Al menos una hilera tiene efecto distinto para coliformes termotolerantes

P valor= 0.918 mayor a 0.05 no se rechaza H_0 , en consecuencia:

Todas las hileras tienen el mismo efecto para coliformes termotolerantes.

El 88.95% del contenido de CT es explicado por el modelo cuadrado latino

El coeficiente de variabilidad es menor al 30% lo que significa que el diseño es controlado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- Para un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 5 días, la eficiencia de remoción de *Myriophyllum aquaticum* de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) es de 56.3 %, nitrógeno amoniacal (NH₃-N) es de 70.4 %, fosfatos (PO₄) es de 85%, sulfatos (SO₄) es de 65.5 %, cloruros (Cl⁻) 27.3% y coliformes termotolerantes es de 62.3%.
- El oxígeno disuelto en el PM1 registró un valor promedio de 0.79 mgO₂/L mientras que al aplicar el tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* se registró un incremento a 3.41 mgO₂/L representando una eficiencia de 76.9%.
- El pH promedio del sistema de tratamiento de *Myriophyllum aquaticum* es de 8.16 disminuyendo ligeramente la alcalinidad del agua.
- La temperatura (T°) promedio del sistema de tratamiento con *Myriophyllum aquaticum* es de 16.3 °C aumentando la temperatura del agua.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades) 2003. Resumen de salud pública: Fluoruros, Fluoruro de Hidrogeno y Flúor (en línea). Consultado 31 may. 2020. Disponible en https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs11.pdf.
- Barboza, J. 2016. Servicio de consultoría para la elaboración de análisis de riesgo detallado para especies invasoras de alto riesgo para México: Riesgo de introducción de plantas de acuario a México (en línea). Consultado 20 nov. 2020. Disponible en https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/comp1/1.1.4.1_Informe_y_analisis_de_riesgo_plantas_acuario.pdf.
- Bautista, J. 2016. Fitorremediación utilizando *Myriophyllum aquaticum* para la remoción de cromo total de efluentes líquidos de la industria de pinturas en Chacra Cerro. Perú. 2016 (en línea). Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú, Universidad Cesar Vallejo. p. X. Consultado 28 set. 2018. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/154573654.pdf>.
- Bravo, L; Arce, I; Carrasco, R. 2016. Post-tratamiento del efluente de un reactor UASB que trata agua residual urbana mediante *Myriophyllum aquaticum* (Verll.) a condiciones tropicales (en línea). Infinitum... 6(1). Consultado 08 dic. 2020. Disponible en <https://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/INFINITUM/article/view/4>.
- Calderón, F. (1997). DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO: DBO 5-días (en línea, sitio web). Consultado 16 mar. 2019. Disponible en http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DBO5.htm.
- Castillo. E. 2017. Eficiencia de *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín. Tesis Ing. Ambiental. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 55 p.
- 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 (en línea).

Tesis Ing. Ambiental. Amazonas, Perú, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. 46 p. Consultado 26 nov. 2020. Disponible en <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIA%20DEL%20JACINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- CIDTA (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua). s.f. Lagunas facultativas (en línea). Consultado 28 may. 2020. Disponible en <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/facultativas.PDF>.
- COBCM/COBCLM 2013. Temperatura. Consultado 20 jun. 2021. Disponible en <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-Temperatura%20f26.pdf>.
- CONABIO, 2015. Método de evaluación rápida de invasividad (MERI) para especies exóticas en México *Myriophyllum aquaticum* (en línea). Consultado 01 jul. 2020. Disponible en http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/MenuPrincipal/07Fichas%20tecnicas_OK/02Fichas%20tecnicas/Fichas%20t%C3%A9cnicas%20CONABIO_especies%20ex%C3%B3ticas/Fichas%20plantas%20invasoras/M_P/Myriophyllum%20aquaticum.pdf
- Delgadillo, A; González, C; Prieto, F; Villagómez, J; Acevedo, O. 2011. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación (en línea). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* (Serie ISSN 1870-0462) 14(2):597-612. Consultado 11 feb. 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>.
- DIGESA (Dirección General de Salud). 2002. Abastecimiento de Poblaciones y Uso Recreacional – Parámetro a Evaluar: Organoléptico (en línea, sitio web). Consultado 26 dic. 2018. Disponible en http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf.
- DIGESA (Dirección General de Salud). 2002. Estándares de calidad ambiental del agua: Riego de Vegetales y bebida de animales (en línea, sitio web). Consultado 17 mar. 2019. Disponible en http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%203.pdf.

- Echarri, L. 1998. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (en línea). s.l., editorial Teide. 231 p. Consultado 17 mar. 2019. Disponible en <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/150Eutro.htm#POBLACION>.
- Espigares, M. y Pérez, J. s.f. Aguas residuales composición (en línea, sitio web). Consultado 12 oct. 2018. Disponible en: http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf.
- Estrada, I. 2010. Monografía sobre Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS) Para Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales (en línea). Consultado 06 dic. 2020. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/71396135.pdf>.
- Física práctica. s.f. Caudal (en línea, sitio web). Consultado 08 feb. 2019. Disponible en <https://www.fisicapractica.com/caudal.php>.
- Floresyplantas.net. 2010. *Myriophyllum aquaticum* (en línea, sitio web). Consultado 08 ene. 2019. Disponible en <https://www.floresyplantas.net/myriophyllum-aquaticum/>.
- Frers, C. 2008. El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales (en línea, sitio web). Consultado 28 dic. 2018. Disponible en <https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/download/.../21323>.
- González, J; Beascochea, E; Muñoz, J; Fernández de la Mora, M. s.f. Manual de fitodepuración, filtros de macrofitas en flotación (en línea). Consultado 15 nov. 2020. Disponible en <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%205.pdf>.
- González, L. 2013. Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación (en línea). Consultado 20 jun. 2020. Disponible en <https://revistas.utp.ac.pa>.
- Hernandez, R; Fernandez, C; Baptista, P. 2008. Metodología de la investigación. 4 ed. México. Editorial McGraw-Hill. 850 p.
- Interapas. s.f. Sistema de tratamiento de aguas residuales (en línea). s.n.t. 4 p. Consultado 08 ene. 2019. Disponible en

http://www.interapas.gob.mx/Cultura/folletos/sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf.

- Larrea, Jeny; Rojas, M; Romeu, B; Rojas, N; Heydrich, M. 2013. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura (en línea). CENIC Ciencias Biológicas (Serie ISSN 2221-2450) 44(3):15-18. Consultado 16 mar. 2019. Disponible en <https://revista.cnic.edu.cu/revistaCB/articulos/bacterias-indicadoras-de-contaminaci%C3%B3n-fecal-en-la-evaluaci%C3%B3n-de-la-calidad-de-las-aguas>.
- LENNTECH. s.f. Nitratos (en línea, sitio web). Consultado 16 mar. 2019. Disponible en <https://www.lenntech.es/nitratos.htm#Definici%C3%B3n>.
- Martelo, J y Lara, J. 2012. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado de arte (en línea). SciELO (Sección Ingeniería y Ciencia) 8(15):221-243. Consultado 28 dic. 2018. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf>.
- Mendoza, D; Salazar, K; Bravo, L. 2016. Fitorremediación acuática con *Myriophyllum aquaticum* para el tratamiento de efluentes generados por pasivos ambientales mineros de Hualgayoc – Cajamarca (en línea). Tesis Ing. Ambiental y de Recursos Naturales. Callao, Perú, Universidad Nacional del Callao. 213 p. Consultado 28 set. 2018. Disponible en <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/1594>.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2009. Manual para municipios ecoeficientes. Parte 2: Tratamiento y reúso de aguas residuales (en línea). Lima, Perú, Editorial Enotria. p. 13-22. Consultado 27 dic. 2018. Disponible en: http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf.
- Morales, E. 2019. Evaluación de la eficiencia del sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales domesticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca (en línea). Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú, Universidad Peruana Unión. 107-108 p. Consultado 09 dic 2020. Disponible en <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1797>.

- NMX (Normas mexicanas). 2001. Análisis de agua: determinación de cloruros totales, residuales y residuales tratadas (en línea). Consultado 31 may. 2020. Disponible en <https://aniq.org.mx/pqta/pdf/Respaldo/NMX-AA-quimicosgpo2.pdf>.
- Núñez, R; Meas, Y; Ortega, R; Olgúin, J. 2004. Fitorremediación: Fundamentos y aplicaciones (en línea). Revista Ciencia (Sección biotecnología y biología molecular) 55(3):69-82. Consultado 28 dic. 2018. Disponible en https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf.
- OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). 2014. Fiscalización ambiental en aguas residuales (en línea). 1 ed. Lima, Perú. 42 p. Consultado 12 oct. 2018. Disponible en https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827.
- Orellana, J. 2005. Unidad temática N° 8: Características de los líquidos residuales (en línea, sitio web). Consultado 20 dic. 2018. Disponible en https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_08_Caracteristicas_de_Liquidos_Residuales.pdf.
- Palomares, A. 2013. Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento (en línea, sitio web). Consultado 16 mar. 2019. Disponible en <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento>.
- Pérez, MA. 2009. Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango (en línea). Tesis Ciencia y Tecnología Ambiental. Chihuahua, Mexico, Centro de Investigación de materiales avanzados. p. 7. Consultado 20 nov. 2020. Disponible en <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/598/1/Tesis%20Ma.%20Elena%20P%C3%A9rez%20L%C3%B3pez.pdf>.
- Pochuanca, N. 2017. Supervivencia, crecimiento y respuesta fisiológica de *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. en relación a diferentes concentraciones de arsénico con fines de su uso en rizofiltración (en línea). Tesis Biólogo. Arequipa, Perú, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 153 p. Consultado 28 set. 2018. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4378/Bipoabns.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Pulido, S; Miranda, V; Guavita, M; Molano, E. s.f. Origen y características de las aguas residuales (en línea, sitio web). Consultado 12 oct. 2018. Disponible en <https://sites.google.com/site/ptaruniminuto/origen-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales>.
- Putz, Petra (s.f.). Eliminación y determinación de fosfato (en línea). Consultado 20 jun. 2020. Disponible en https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87050/fosfatos.pdf.
- Rodríguez J. 2008. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades (en línea). Tesis Digital. 32-34. Consultado 08 dic. 2020. Disponible en <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19117/Capitulo3.pdf>.
- Romero, L; Ramírez, F; Álvarez, C; Miranda, M. 2011. Uso de hidrófitas y un sistema anaerobio para el tratamiento de agua residual de rastro (en línea). SciELO (Sección Polibotánica) (31):157-167. Consultado 28 set. 2018. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682011000100010.
- Ronzano, E y Dapena, J. s.f. Eliminación de fosforo en aguas residuales (en línea). Consultado 20 jun. 2020. Disponible en <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/fosforo.pdf>.
- Sytsma M. y Anderson L. 1993. Biomass, nitrogen, and phosphorus allocation in parrotfeather (*Myriophyllum aquaticum*) (en línea, sitio web). Consultado 28 dic. 2018. Disponible en <https://www.cabi.org/isc/abstract/19942301938>
- Toledo, L; Canchari, I; Miñam, R. 2016. Post-tratamiento del efluente de un reactor UASB que trata agua residual urbana mediante *Myriophyllum aquaticum* (Verll.) a condiciones tropicales (en línea). Consultado 28 oct. 2020. Disponible en <file:///C:/Users/NNN/Downloads/4-25-1-PB.pdf>.
- U.S. Fish & Wildlife Service 2015. Parrotfeather (*Myriophyllum aquaticum*): Ecological Risk Screening Summary. Consultado 20 jun. 2021. Disponible en https://www.fws.gov/fisheries/ans/erss/highrisk/ERSS-Myriophyllum-aquaticum_Final.pdf.

- Ujaen. s.f. Anàlisis de aguas (en línea). Consultado 31 may. 2020. Disponible en http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf.
- Valdivia, C. 2019. 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 en Celendín. Tesis Ing. Ambiental. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 26 p.
- Vega, M. s.f. Aguasresiduales.info: concepto de tiempo de retención hidráulico (en línea, sitio web). Consultado 21 dic. 2018. Disponible en <https://www.aguasresiduales.info/expertos/tus-consultas/definiciones-vDQkW>.
- Wersal, R; Baker, E; Larson, J; Dettloff, K; Fusaro, A; Thayer, D; Pflingsten, I. 2018. *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. (en línea, sitio web). Consultado 01 jul. 2020. Disponible en <https://nas.er.usgs.gov/queries/GreatLakes/FactSheet.aspx?SpeciesID=235>.
- Zimicz, C. 2016. Las plantas y su capacidad para remediar sitios contaminados (en línea). Temas BGnoa 6(1):8-15. Consultado 08 dic. 2020. Disponible en [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/48535/Las Plantas y su capacidad para remediar sitios contaminados.pdf?sequence=5&isAllowed=y;Untitled](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/48535/Las%20Plantas%20y%20su%20capacidad%20para%20remediar%20sitios%20contaminados.pdf?sequence=5&isAllowed=y;Untitled).

CAPÍTULO VII ANEXOS

Anexo 1. Monitoreo de pH

Tabla 3: Monitoreo de pH semana 1

SEMANA 1						
N°	FECHA	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
1	01/06/2020	7,43	7,52	7,76	7,47	7,70
2	03/06/2020	7,52	8,53	7,88	8,22	8,21
3	05/06/2020	8,19	7,46	7,55	7,47	8,66
4	07/06/2020	7,79	7,48	7,85	7,78	8,92

Tabla 4: Monitoreo de pH semana 2

SEMANA 2						
N°	FECHA	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
1	08/06/2020	8,13	8,23	8,25	8,09	8,54
2	10/06/2020	8,08	7,62	7,99	8,04	8,88
3	12/06/2020	8,62	8,00	8,47	8,83	8,53
4	14/06/2020	8,72	8,36	8,85	8,66	8,98

Tabla 5: Monitoreo de pH semana 3

SEMANA 3						
N°	FECHA	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
1	15/06/2020	8,44	8,06	8,77	8,61	9,09
2	17/06/2020	7,98	7,75	7,91	7,98	8,23
3	19/06/2020	8,18	7,43	7,83	7,97	8,77
4	21/06/2020	8,85	8,70	8,47	8,15	9,00

Tabla 6: Monitoreo de pH semana 4

SEMANA 4						
N°	FECHA	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
1	22/06/2020	8,42	8,67	8,73	8,37	8,78
2	24/06/2020	8,18	8,85	8,97	8,52	9,03
3	26/06/2020	8,70	8,33	8,19	7,64	8,97
4	28/06/2020	8,76	8,48	8,52	8,46	9,25

Anexo 2. Monitoreo de temperatura

Tabla 7: Monitoreo de temperatura semana 1

SEMANA 1						
Nº	FECHA	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
1	01/06/2020	16,3	15,1	14,9	15,1	14,9
2	03/06/2020	19,3	19,6	21,6	20,5	19,6
3	05/06/2020	15,5	16,4	17,2	16,7	17,1
4	07/06/2020	15,1	13,8	14,0	13,9	13,8

Tabla 8: Monitoreo de temperatura semana 2

SEMANA 2						
Nº	FECHA	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
1	08/06/2020	15,3	15,4	15,9	16,4	16,6
2	10/06/2020	14,2	15,9	16,7	17,6	17,8
3	12/06/2020	13,7	14,8	14,9	15,2	14,8
4	14/06/2020	19,5	16,2	16,9	16,2	16,3

Tabla 9: Monitoreo de temperatura semana 3

SEMANA 3						
Nº	FECHA	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
1	15/06/2020	13,9	14,6	14,8	15,6	14,5
2	17/06/2020	16,6	17,7	18,4	18,5	17,6
3	19/06/2020	14,1	16,8	16,7	17,3	17,1
4	21/06/2020	15,2	18,6	18,8	17,5	16,6

Tabla 10: Monitoreo de temperatura semana 4

SEMANA 4						
Nº	FECHA	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
1	22/06/2020	14,3	15,7	17,0	16,2	16,4
2	24/06/2020	17,8	17,2	18,3	17,8	17,2
3	26/06/2020	12,6	13,2	13,9	13,9	13,6
4	28/06/2020	13,7	14,7	14,8	14,6	15,1

Anexo 3. Resultados del laboratorio regional del agua

 <p>LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA</p>	<p>LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-684</p>	 <p>INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado</p>	
<p>INFORME DE ENSAYO N° IE 0620193</p>			
<p>DATOS DEL CLIENTE</p>			
Razon Social/Nombre	DELGADO PORTILLA EROS		
Dirección	JR BOLOGNESI N° 998 - CELENDÍN		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	erdelgado14@ur.edu.pe
<p>DATOS DE LA MUESTRA</p>			
Fecha del Muestreo	05.06.20	Hora de Muestreo	09:31 a 09:37
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	05		
Ensayos solicitados	Físicoquímicos y Microbiológicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	CELENDÍN		
<p>DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO</p>			
N° Contrato	BC - 339	Cadena de Custodia	CC - 193 - 20
Fecha y Hora de Recepción	05.06.20	13:44	Inicio de Ensayo 05.06.20 14:10
Reporte Resultado	16.06.20	09:00	
			
 Edder Nayra Jaico Responsable de Laboratorio CIP: 147028	 Freddy López León Especialista de Química CIP: 109264	 Erver Zulueta Santa Cruz Especialista de Biología CBP-9778	
<p>Cajamarca, 16 de Junio de 2020.</p>			
<p><small>AV. LAS AMÉRICAS SANCHEZ LUNA 1000 EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ e-mail: laboratorio@regioncajamarca.gob.pe / laboratorio@regioncajamarca@gmail.com FONOS 05322 4000 1140</small></p>			
<p><small>Página: 1 de 2</small></p>			

INFORME DE ENSAYO N° IE 0620193

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS				
Código de la Muestra	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	-	
Código Laboratorio	0620193-01	0620193-02	0620193-03	0620193-04	0620193-05	-	
Matriz	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-	
Localización de la Muestra	PTAR - Celendín	PTAR - Celendín	PTAR - Celendín	PTAR - Celendín	PTAR - Celendín	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	31.64	30.43	30.41	28.60	32.45
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.064	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	14.07	10.92	8.254	4.368	13.78
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	7.235	2.456	1.317	0.264	1.049
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH ₃ /L	0.028	27.46	12.57	9.93	10.37	10.78
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.0	77.8	32.7	29.1	27.8	24.2
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	2.7	3.2	2.8	3.0	5.7

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

ENSAYOS			BIOLÓGICOS				
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Coliformas Termotolerantes	MMP/100mL	1.0	35 x 10 ⁴	92 x 10 ⁴	35 x 10 ⁴	54 x 10 ⁴	16 x 10 ⁴

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrito, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 800.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017, Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography
Nitrógeno Amoniacal, Amoniacal	mgN-NH ₃ /L	SM 914-APHA-AWWA-WEF Part 9100-943 D, 23rd Ed. 2017, Nitrogen (Ammonia), Ammonia-Selective Electrode Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SM 914-APHA-AWWA-WEF Part 9100-0 C, 23rd Ed. 2017, Oxygen (Dissolved), Azide Modification
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SM 914-APHA-AWWA-WEF Part 9210 B, 23rd Ed. 2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Coliformas Termotolerantes	MMP/100mL	SM 9221-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E, 23rd Ed. 2017, Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Fecal Coliform Procedure

NOTAS FINALES

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

"Fis del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°01 Fecha: 02/03/2020

Cajamarca, 16 de Junio de 2020.



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 0620198

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **DELGADO PORTILLA EROS**
 Dirección **JR BOLOGNESI N° 998 - CELENÓN**
 Persona de contacto **-** Correo electrónico eroladadon14@urc.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **12.06.20** Hora de Muestreo **10:00 a 10:11**
 Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° **-**
 Procedimiento de Muestreo **-**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de puntos de muestreo **05**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos y Microbiológicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
 Referencia de la Muestra **CELENÓN**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 339** Cadena de Custodia **CC - 198 - 20**
 Fecha y Hora de Recepción **12.06.20 13:11** Inicio de Ensayo **12.06.20 14:45**
 Reporte Resultado **23.06.20 15:00**

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Freddy López León
Especialista de Química
CIP: 198254

Enver Zúñiga Santa Cruz
Especialista de Biología
CBP-9778

Cajamarca, 23 de Junio de 2020.

INFORME DE ENSAYO N° IE 0620198

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS					
Código de la Muestra			PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	-
Código Laboratorio			0620198-01	0620198-02	0620198-03	0620198-04	0620198-05	-
Matriz			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-
Localización de la Muestra			PTAR - Caerán	PTAR - Caerán	PTAR - Caerán	PTAR - Caerán	PTAR - Caerán	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	34.16	28.81	28.43	28.81	37.31	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.025	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Nitrato (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.064	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	3.992	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	15.41	7.340	7.520	2.140	13.05	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	0.189	0.774	0.065	<LCM	0.172	-
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH ₃ L	0.020	31.0	10.5	12.9	6.2	10.6	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ L	2.6	60.2	10.3	17.1	19.7	16.4	-
[*] Oxígeno Disuelto	mg O ₂ L	0.5	0.9	4.1	6.5	6.2	4.0	-

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

ENSAYOS			BIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.0	32 x 10 ⁴	24 x 10 ⁴	54 x 10 ⁴	33 x 10 ³	35 x 10 ⁴	-

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Mirato, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	APHA 1800.0 200.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017, Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography
Nitrógeno Amoniacal, Amónico	mgN-NH ₃ L	ISB/WW-APHA-APHA-WFP Part 800-NO-D, 200 Ed. 2017, Nitrogen (Ammonia), Ammonia-Detective Electrode Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ L	ISB/WW-APHA-APHA-WFP Part 800-D C, 200 Ed. 2017, Oxygen (Dissolved), Azide Reduction
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ L	ISB/WW-APHA-APHA-WFP Part 5210-B, 200 Ed. 2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	ISB/WW-APHA-APHA-WFP Part 8211-A,B,C,E, 200 Ed. 2017, Multiple Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Fecal Coliforms

NOTAS FINALES

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

"Firma del documento"

Código del Formato: P-25-F01 Rev: M01 Fecha: 01/01/2020

Cajamarca, 23 de Junio de 2020.



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 0620208

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **DELGADO PORTILLA EROS**
 Dirección **JR BOLOGNESI N° 996 - CELENDIN**
 Persona de contacto **-** Correo electrónico **edeigadop14@un.edu.pe**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **18.08.20** Hora de Muestreo **08:10 a 08:26**
 Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° **-**
 Procedimiento de Muestreo **-**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de puntos de muestreo **05**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos y Microbiológicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
 Referencia de la Muestra: **CELENDIN**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **8C - 338** Cadena de Custodia **CC - 208 - 20**
 Fecha y Hora de Recepción **18.08.20 13:40** Inicio de Ensayo **18.08.20 14:10**
 Reporte Resultado **30.08.20 10:00**

Eider Neyra Jalco
 Responsable de Laboratorio
 CIP: 147028

Freddy López León
 Especialista de Química
 CIP: 198254

Enver Zulueta Santa Cruz
 Especialista de Biología
 CBF: 9778

Cajamarca, 30 de Junio de 2020.

INFORME DE ENSAYO N° IE 0620208

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS					
Código de la Muestra			PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	-
Código Laboratorio			0620208-01	0620208-02	0620208-03	0620208-04	0620208-05	-
Matriz			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-
Localización de la Muestra			PTAR - Celendin	PTAR - Celendin	PTAR - Celendin	PTAR - Celendin	PTAR - Celendin	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	42.77	16.71	58.08	22.28	44.52	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	<LCM	<LCM	<LCM	3.127	<LCM	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	20.21	3.512	8.218	8.085	2.83	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	1.076	<LCM	<LCM	0.428	<LCM	-
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH ₃ /L	0.028	19.4	0.2	8.1	1.3	12.8	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	48.4	11.8	18.4	18.8	30.4	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	2.7	1.7	2.2	2.4	2.5	-

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

ENSAYOS			BIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	48 x 10 ³	82 x 10 ²	13 x 10 ⁴	84 x 10 ²	78 x 10 ³	-

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrito, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Nitrógeno Amoniacal, Amoniacal	mgN-NH ₃ /L	SMDWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ D, 23rd Ed. 2017: Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMDWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O ₂ C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMDWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMDWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

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

"Fin del documento"

Código del Formato: P-33-F01 Rev N°01 Fecha : 02/01/2020

Cajamarca, 30 de Junio de 2020.

INFORME DE ENSAYO N° IE 0620216

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **DELGADO PORTILLA EROS**
 Dirección **JR BOLOGNESI N° 996 - CELENDIN**
 Persona de contacto - Correo electrónico edelgadop14@un.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **28.08.20** Hora de Muestreo **07:18 a 07:47**
 Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
 Procedimiento de Muestreo -
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de puntos de muestreo **06**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos y Microbiológicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
 Referencia de la Muestra: **CELENDIN**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 338** Cadena de Custodia **CC - 218 - 20**
 Fecha y Hora de Recepción **28.08.20 13:27** Inicio de Ensayo **19.08.20 14:00**
 Reporte Resultado **07.07.20 18:30**



Edder Neyra Jalco
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028



Freddy Lopez León
Especialista de Química
CIP: 198264



Enver Zulueta Santa Cruz
Especialista de Biología
CBP: 9778

Cajamarca, 07 de Julio de 2020.

INFORME DE ENSAYO N° IE 0620216

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS					
Código de la Muestra	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	-		
Código Laboratorio	0620216-01	0620216-02	0620216-03	0620216-04	0620216-05	-		
Matriz	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-		
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-		
Localización de la Muestra	PTAR - Celendin	PTAR - Celendin	PTAR - Celendin	PTAR - Celendin	PTAR - Celendin	-		
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	48.88	20.84	28.62	71.21	48.82	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Nitrato (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.064	<LCM	<LCM	0.260	<LCM	11.80	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	18.28	4.108	1.788	10.30	14.42	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	3.861	0.161	<LCM	<LCM	1.632	-
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH ₃ L	0.028	24.8	2.8	3.8	10.8	18.4	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.8	68.6	18.8	12.1	82.8	48.1	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	<LCM	2.8	2.2	1.8	3.8	-

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

ENSAYOS			BIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	82 x 10 ⁴	33 x 10 ²	78 x 10 ²	48 x 10 ⁴	70 x 10 ²	-

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrito, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ -N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Nitrógeno Amoniacal, Amoniacal	mgN-NH ₃ /L	SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method.
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O ₂ C, 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E, 23rd Ed. 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

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

Fin del documento

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°01 Fecha: 02/01/2020

Cajamarca, 07 de Julio de 2020.

JL LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
email: laboratorio@regajamarca.gub.pe / laboratorio@regajamarca.gub.pe FON: 083200 línea 1140

Página: 2 de 2

Anexo 4. Panel fotográfico



Figura 25: Capa de arena



Figura 26: Capa de piedra de río



Figura 27: Suelo agrícola



Figura 28: Instalación del proyecto



Figura 29: Lugar de recolección de *Myriophyllum aquaticum*

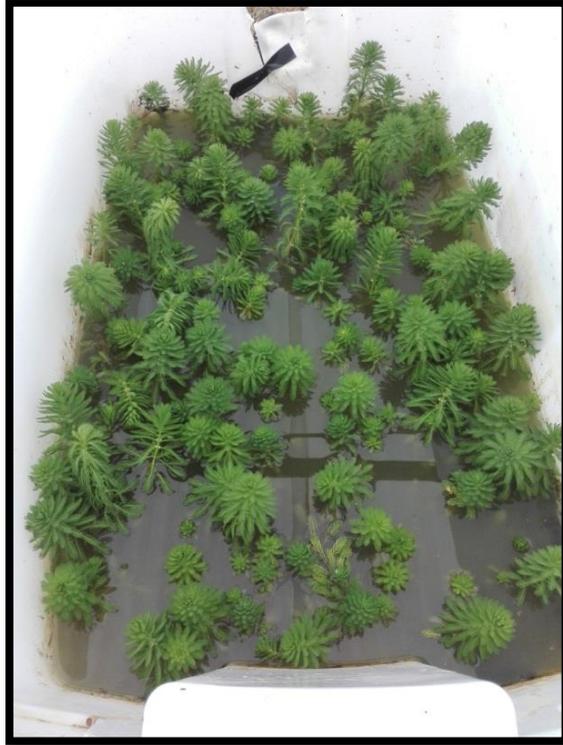


Figura 30: Implementación de *Myriophyllum aquaticum*



Figura 31: Crecimiento de *Myriophyllum aquaticum*



Figura 32: Medición del caudal



Figura 33: Toma de muestras para el análisis de pH y T°



Figura 34: Análisis de pH y Temperatura



Figura 35: Poda de *Myriophyllum aquaticum*



Figura 36: Toma de muestras para el análisis de los parámetros de laboratorio



Figura 37: Recepción de muestras en el laboratorio