

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



**TESIS**

**REMOCIÓN DE NUTRIENTES MEDIANTE FITORREMEDIACIÓN DEL EFLUENTE  
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE  
CELENDÍN**

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

**PRESENTADO POR EL BACHILLER  
CRISTHIAN ADELMO VÁSQUEZ RAMOS**

**ASESORA:**

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

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2025**

### **CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD**

1. Investigador:

**CRISTHIAN ADELMO VÁSQUEZ RAMOS**

DNI N° 46206117

Escuela Profesional/Unidad UNC:

**DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

2. Asesor:

**ING° M. Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**

Facultad/Unidad UNC:

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

3. Grado Académico o título profesional:

Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor

4. Tipo de investigación:

Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico

5. Título del trabajo de investigación:

**"CONSUMO REMOCIÓN DE NUTRIENTES MEDIANTE FITORREMEDIACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELENDÍN"**

6. Fecha de evaluación: 26/05/2025

7. Software antiplagio:  TURNITIN       URKUND (ORIGINAL) (\*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 2%

9. Código documento:

10. Resultado de la evaluación de Similitud:

APROBADO       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha de Emisión: 05/01/2026

*Firma y/o Sello  
Emisor Constancia*

ING° M. Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA  
DNI: 40432609



**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 Celendín, a los seis días del mes de noviembre del año dos mil veinticinco, se reunieron en el **aula 102** de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Sede Celendín, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 342-2025-FCA-UNC**, de fecha **16 de junio del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: “**REMOCIÓN DE NUTRIENTES MEDIANTE FITOREMEDIACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELENDÍN**”, realizada por el Bachiller **CRISTHIAN ADELMO VÁSQUEZ RAMOS** para optar por el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **QUINCE** horas con **DIEZ** 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 calificativo de **QUINCE (15)** por tanto, el Bachiller queda expedido para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **DIECISÉIS** horas y **QUINCE** minutos del mismo día, el presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing° M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori  
PRESIDENTE

Ph.D. Manuel Roberto Roncal Rabanal  
SECRETARIO

  
\_\_\_\_\_  
Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas  
VOCAL  
\_\_\_\_\_  
Ing° M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna  
ASESOR

COPYRIGHT © 2025 by

CRISTHIAN ADELMO VASQUEZ RAMOS

Todos los derechos reservados

## **DEDICATORIA**

A mi padre en el cielo Fredegundo Vásquez Cieza y a mi querida madre Fredesvinda Ramos Aguirre, quienes con su infinito amor y apoyo incondicional hicieron que logre este gran objetivo en mi vida.

A mis 4 hermanos, por estar presentes en mi vida y darme el aliento que necesito para salir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, cuya guía y fortaleza han sido fundamentales a lo largo de mi vida. Su presencia me ayudado a superar todos los desafíos y alcanzar mis metas propuestas, sin su bendición este logro no habría sido posible.

A mis padres y hermanos por su amor incondicional y apoyo constante, han sido el pilar fundamental de mi vida, gracias por creer en mí y por darme el ánimo y la fuerza necesaria para seguir adelante.

A mi pareja por su amor, paciencia y apoyo incondicional en esta etapa, por darme la fortaleza necesaria para lograr mis metas, te debo mucho de este logro y siempre te estaré agradecido.

A mi asesora Ing. M.Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna, por su orientación, paciencia y dedicación, además por el apoyo constante y su disposición para resolver cada duda.

A mis maestros de carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca, quienes con sus conocimientos y enseñanzas nos han ayudado en nuestra formación académica.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
RESUMEN .....	xvii
ABSTRAC .....	xviii
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II .....	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1.    Antecedentes de la Investigación .....	3
2.2.    Bases teóricas .....	6
2.2.1. <i>Fitorremediación</i> .....	6
A.    Fitoestabilización .....	7
B.    Fitoextracción .....	8
C.    Fitovolatilización .....	8
D.    Fitoinmovilización .....	8
E.    Fitodegradación .....	9
F.    Rizofiltración .....	9
2.2.1.1.    Isla flotante .....	11
A.    Oxidación del amonio .....	12
B.    Reducción de nitratos .....	13

C.	Disminución de niveles de fósforos .....	14
2.2.2.	<i>Aplicación de islas flotantes con especies vegetales</i> .....	15
2.2.2.1.	<i>E. crassipes</i> (Jacinto de agua) .....	16
2.2.2.2.	<i>M. aquaticum</i> (cola de zorro) .....	18
	Formación de Glutamina.....	20
2.2.3.	<i>Eutrofización desde la química y biología</i> .....	22
2.2.3.1.	Enfoque químico .....	22
2.2.3.2.	Enfoque biológico .....	25
2.2.4.	<i>Fisiología vegetal relevante para la fitorremediación</i> .....	26
2.2.5.	<i>Uso fotosintético para la fitorremediación</i> .....	26
2.2.6.	<i>Remoción de nutrientes de aguas residuales</i> .....	27
2.2.7.	<i>Parámetros de control</i> .....	27
2.2.7.1.	Oxígeno disuelto (OD) .....	27
2.2.7.2.	Potencial de hidrógeno (pH).....	28
2.2.7.3.	Temperatura (T°).....	28
2.2.7.4.	Caudal (Q) .....	28
2.2.7.5.	Tiempo de retención hidráulica (TRH) .....	28
2.2.7.6.	Porcentaje de incremento de especies vegetales.....	29
2.2.8.	<i>Constante de velocidad de reacción</i> .....	29
2.2.8.1.	Cinética de pseudo primer grado .....	30
2.2.8.2.	Cinética de pseudosegundo orden .....	31

2.2.8.3. Valores registrados de cinética de adsorción de pseudo primer y pseudosegundo orden de fosfato y nitrato .....	32
2.2.9. <i>Características de efluentes de lagunas facultativas</i> .....	32
2.3. Definición de términos básicos .....	33
2.3.1. <i>Fitorremediación</i> .....	33
2.3.2. <i>Islas flotantes</i> .....	34
2.3.3. <i>Nutrientes en aguas residuales</i> .....	34
2.3.4. <i>Afluente y efluente de una planta de tratamiento.</i> .....	34
CAPÍTULO III.....	35
MATERIALES Y MÉTODOS .....	35
3.1. Ubicación geográfica .....	35
3.2. Materiales experimentales.....	37
3.3. Procedimiento .....	37
3.3.1. <i>Construcción de caseta para proyecto</i> .....	37
3.3.2. <i>Instalación del sistema de tratamiento</i> .....	38
3.3.2.1. Tanque de distribución .....	38
3.3.2.2. Reactores con islas flotantes.....	38
3.3.3. <i>Puesta en operación del proyecto</i> .....	41
3.3.4. <i>Evaluaciones realizadas</i> .....	42
3.3.4.1. Métodos de recopilación de información .....	43
3.3.5. <i>Determinación de velocidad de reacción de remoción de nitratos y fosfatos</i> ....	43
3.3.6. <i>Determinación de porcentaje de incremento de las especies vegetales</i> .....	44

3.3.7. <i>Tratamiento y análisis de datos</i> .....	44
<i>Análisis estadístico de datos</i> .....	45
CAPITULO IV.....	47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	47
4.1. Concentración de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).....	47
4.2. Concentración de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).....	51
4.3. Parámetros de control.....	55
4.3.1. <i>Oxígeno disuelto (OD)</i> .....	55
4.3.2. <i>Temperatura (T)</i> .....	57
4.3.3. <i>Potencial de hidrógeno (pH)</i> .....	59
4.3.4. <i>Caudal (Q) y tiempo de retención hidráulica (TRH)</i> .....	61
4.4. Velocidad de reacción de remoción de nitratos y fosfatos.....	62
4.5. Porcentaje de incremento de especies vegetales .....	62
CAPITULO V.....	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	64
5.1. CONCLUSIONES .....	64
5.2. RECOMENDACIONES .....	64
CAPITULO VI.....	65
REFERENCIAS.....	65
CAPITULO VII .....	77
ANEXOS .....	77

ANEXO 1: Tablas y gráficas para la determinación de las constantes de reacción de la remoción de nitratos en el tratamiento T1 .....	77
ANEXO 2: Tablas y gráficas para la determinación de las constantes de reacción de la remoción de nitratos en el tratamiento T2 .....	79
ANEXO 3: Tablas y gráficas para la determinación de las constantes de reacción de la remoción de fosfatos en el tratamiento T0.....	80
ANEXO 4: Tablas y gráficas para la determinación de las constantes de reacción de la remoción de fosfatos en el tratamiento T1.....	82
ANEXO 5: Tablas y gráficas para la determinación de las constantes de reacción de la remoción de fosfatos en el tratamiento T2.....	84
ANEXO 6: Plano del sistema de tratamiento de aguas residuales a través de fitoremediación con islas flotantes.....	86
ANEXO 7: Plano de islas flotantes.....	86
ANEXO 8: Imágenes del antes y después del incremento de especies vegetales .....	89
ANEXO 9: Resultados emitidos por el Laboratorio Regional del Agua .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Mecanismos de fitorremediación .....	7
Tabla 2 Valores de parámetros de la cinética de adsorción de pseudoprimer y pseudosegundo orden de fosfato y nitrato. ....	32
Tabla 3 Características del efluente de la laguna facultativa de la PTAR Celendín.....	33
Tabla 4 Monitoreos realizados.....	43
Tabla 5 Método de análisis de los parámetros nitratos y fosfatos .....	43
Tabla 6 Esquema del diseño completamente al azar (DCA) para igual número de muestras por tratamiento .....	45
Tabla 7 Concentración de nitratos .....	47
Tabla 8 Porcentajes de remoción de nitratos .....	49
Tabla 9 Análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de nitratos .....	51
Tabla 10 Concentraciones de fosfatos .....	52
Tabla 11 Porcentajes de remoción de fosfatos.....	54
Tabla 12 Análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de fosfatos .....	55
Tabla 13 Concentraciones del oxígeno disuelto .....	56
Tabla 14 Valores de la temperatura .....	58
Tabla 15 Valores de pH .....	60
Tabla 16 Valores de la constante de reacción de remoción k <sub>2</sub> para pseudo segundo orden para nitratos y fosfatos .....	62
Tabla 17 Porcentaje de incremento de especies.....	63
Tabla 18 Valores de concentraciones iniciales, finales de nitratos y ecuaciones a graficar en T1 .....	77
Tabla 19 Resultados de la cinética de adsorción de pseudo primer y pseudo segundoo orden en el T1 de nitratos.....	78

Tabla 20 Valores de concentraciones iniciales, finales de nitratos y ecuaciones a graficar en T2 .....	79
Tabla 21 Resultados de la cinética de adsorción de pseudo primer y pseudo segundo orden en el T2 de nitratos.....	80
Tabla 22 Valores de concentraciones iniciales, finales de fosfatos y ecuaciones a graficar en T0 .....	81
Tabla 23 Resultados de la cinética de adsorción de pseudo primer y pseudo segundo orden en el T0 de fosfatos .....	82
Tabla 24 Valores de concentraciones iniciales, finales de fosfatos y ecuaciones a graficar en T1 .....	83
Tabla 25 Resultados de la cinética de adsorción de pseudo primer y pseudo segundo orden en el T1 de fosfatos .....	84
Tabla 26 Valores de concentraciones iniciales, finales de fosfatos y ecuaciones a graficar en T2 .....	85
Tabla 27 Resultados de la cinética de adsorción de pseudo primer y pseudo segundo orden en el T2 de fosfatos .....	86

## ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1 Gráfica lineal de modelo Cinética de pseudo primer grado .....	30
Figura 2 Gráfica lineal de modelo Cinética de pseudo segundo grado.....	31
Figura 3 Mapa de localización y/o ubicación del proyecto de investigación .....	36
Figura 4 Plano del sistema de tratamiento a escala.....	39
Figura 5 Corte transversal y longitudinal de las islas flotantes .....	40
Figura 6 Esquema de puntos de monitoreo .....	42
Figura 7 Promedios de las concentraciones de nitratos .....	47
Figura 8 Promedios de porcentaje de remoción de nitratos .....	50
Figura 9 Promedios de concentración de fosfatos .....	52
Figura 10 Promedios de porcentaje de remoción de fosfatos .....	54
Figura 11 Promedios de los valores de oxígeno disuelto.....	56
Figura 12 Valores promedio de temperatura .....	58
Figura 13 Valores promedio de pH.....	60
Figura 14 Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo primer grado de nitratos en T1 .....	78
Figura 15 Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo segundo grado de nitratos en T1 .....	78
Figura 16 Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo primer grado de nitratos en T2 .....	79
Figura 17 Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo segundo grado de nitratos en T2 .....	80
Figura 18 Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo primer grado de fosfatos en T0 .....	81
Figura 19 Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo segundo grado de fosfatos en T0.....	82
Figura 20 Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo primer grado de fosfatos en T1 .....	83
Figura 21 Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo segundo grado de fosfatos en T1.....	84
Figura 22 Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo primer grado de fosfatos en T2 .....	85
Figura 23 Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo segundo grado de fosfatos en T2.....	86

Figura 24 Plano del sistema de tratamiento de remoción de nutrientes mediante fitorremediación .....	87
Figura 25 Plano de islas flotantes .....	88
Figura 26 Antes y después del tratamiento de fitorremediación con <i>E. crassipes</i> .....	89
Figura 27 Antes y después del tratamiento de fitorremediación con <i>M. aquaticum</i> .....	89

## ABREVIATURAS

<b>k<sub>1</sub></b>	: Constante de Velocidad de Reacción
<b>OD</b>	: Oxígeno Disuelto
<b>pH</b>	: Potencial de Hidrógeno
<b>PTAR</b>	: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
<b>TRH</b>	: Tiempo de Retención Hidráulica
<b>T<sub>0</sub></b>	: Tratamiento muestra control (sin tratamiento)
<b>T<sub>1</sub></b>	: Tratamiento con fitorremediación con islas flotantes con la especie <i>E. crassipes</i> (Jacinto de agua)
<b>T<sub>2</sub></b>	: Tratamiento con fitorremediación con islas flotantes con la especie <i>M. aquaticum</i> (cola de zorro)
<b>RAFAs</b>	: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente

## RESUMEN

Se determinó la eficiencia de remoción de nutrientes (nitratos y fosfatos) mediante fitorremediación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín, Cajamarca, empleando dos especies de plantas *E. crassipes* (jacinto de agua) y *M. aquaticum* (cola de zorro) a escala, en 3 reactores de 80 L de capacidad cada uno, realizando los tratamientos: T0 muestra control ( reactor sin plantas), T1 ( reactor con islas flotantes de la especie *E. crassipes*) y T2 (reactor con islas flotantes de la especie *M. aquaticum*), para un caudal de 40 L/d y tiempo de retención hidráulica de 3 días, operando en forma constante por 60 días. La toma de muestras se realizó en el afluente y efluente de los tratamientos, realizando 8 evoluciones en cada punto. Los porcentajes de remoción para nitratos según los tratamientos fueron: 0% (T0), 72.23% (T1) y 50,94% (T2); mientras que para la remoción de fosfatos fue: 28.07% (T0), 75.236 (T1) y 67,55% (T2). Además, se determinó el coeficiente de la velocidad de reacción de remoción de nutrientes con la especie *E. crassipes* obteniendo coeficientes de  $10^{-5}$  y  $8*10^{-7} \text{ min}^{-1}$  para nitratos y fosfatos respectivamente y para especie *M. aquaticum* los valores de  $7*10^{-5} \text{ min}^{-1}$  para nitratos y  $10^{-6} \text{ min}^{-1}$  para fosfatos, valores muy bajos a comparación de la literatura citada. Finalmente se logró mayores porcentajes de remoción para nitratos y fosfatos en el T1 con la especie *E. crassipes*, obteniendo valores significativos.

**Palabras clave:** Remoción de nutrientes (nitratos y fosfatos), islas flotantes, *E. crassipes* y *M. aquaticum*.

## ABSTRAC

The removal efficiency of nutrients (nitrates and phosphates) by phytoremediation of the effluent of the wastewater treatment plant of Celendín, Cajamarca, was determined using two species of plants *E. crassipes* (water hyacinth) and *M. aquaticum* (foxtail) at scale, in 3 reactors of 80 L capacity each, for a factorial arrangement of 3 \* 8 (measurement of repetitions), carrying out the treatments: T0 control sample (lagoon without plants), T1 (floating islands with the species *E. crassipes*) and T2 (floating islands with the species *M. aquaticum*), for a flow rate of 40 L / d and hydraulic retention time of 3 days, operating constantly for 60 days. Sampling was carried out in the influent and effluent of the treatments. The removal percentages for nitrates with the species *E. crassipes* were: 0% (T0), 72.23% (T1) and 50.94% (T2); while for the removal of phosphates with the species *E. crassipes*: 28.07% (T0), 75.236 (T1) and 67.55% (T2). In addition, the coefficient of the nutrient removal reaction rate was determined with the species *E. crassipes*, obtaining coefficients of 10-5 and 8\*10-7 min-1 for nitrates and phosphates respectively, and for the species *M. aquaticum* the values of 7\*10-5 min-1 for nitrates and 10-6 min-1 for phosphates, very low values compared to the cited literature. Finally, higher removal rates for nitrates and phosphates were achieved in T1 with the *E. crassipes* species, obtaining significant values.

**Keywords:** Nutrient removal (nitrates and phosphates), floating islands, *E. crassipes*, and *M. aquaticum*.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

Las aguas contaminadas se vierten en cuerpos receptores, que luego se utilizan como fuentes de agua para consumo y riego, aumentando el riesgo de enfermedades infecciosas, especialmente en los grupos más vulnerables (MINAM, 2009, p. 56). Según Salazar (2022), las aguas residuales contribuyen a la contaminación por nitrógeno y fósforo, actuando como nutrientes (p. 1). El exceso de estos nutrientes en el agua puede hacer que las algas crezcan tan rápidamente que los ecosistemas no puedan manejar esa cantidad, deteriorando la calidad del agua, los alimentos y los hábitats, al reducir el oxígeno disponible para peces y otras especies acuáticas (EPA, 2022, p. 1). Por lo tanto, es crucial tratar correctamente las aguas residuales para evitar el impacto significativo en el medio ambiente, en sus cultivos y en la población, produciendo daños directos en la salud pública (Carmona y Orellana, 2019, p. 11).

La ciudad de Celendín dispone de una planta de tratamiento de aguas residuales que, mediante procesos de tratamiento secundario, elimina la materia orgánica biodegradable. Sin embargo, este tratamiento no es suficiente para remover todos los nutrientes, lo que lleva a que estos nutrientes sean vertidos directamente en el cuerpo receptor natural, el río Grande, que a su vez se une al río Las Llangas (Castillo, 2017, p. 12). El nivel promedio de nitrógeno amoniacal en el efluente de la laguna facultativa de la PTAR Celendín es de 25.11 mg/L, y el fosfato varía entre 0.19 mg/L y 7.24 mg/L (Delgado, 2022, pp. 49, 53), cifras muy altas para

ser vertidas directamente en cuerpos de agua naturales con bajos caudales como es del río Grande con un caudal promedio de 0,222 m<sup>3</sup>/s entre los meses octubre y marzo (Zavaleta, 2016, p.54) que no pueden absorber ni neutralizar esta carga contaminante. Esto provoca que estas masas de agua pierdan su apariencia física natural y su capacidad para sustentar vida acuática, como lo demostró Perales (2008) al evaluar la calidad del agua en la cuenca del río Grande de Celendín en ocho puntos de monitoreo, dos de los cuales fueron utilizados como referencia, aguas arriba y aguas abajo de la PTAR Celendín. Los valores de fósforo total fueron de 0.37 mg/L y 0.98 mg/L, respectivamente, y los valores de nitratos fueron de 0.40 mg/L aguas arriba y 0.56 mg/L aguas abajo de la PTAR Celendín (p. 105), indicando que el efluente de la PTAR aumenta la concentración de estos contaminantes en el cuerpo receptor.

Por ello, en esta investigación se calculó el porcentaje de remoción de nutrientes ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ ) del efluente de la PTAR de la Ciudad de Celendín utilizando fitorremediación con islas flotantes, estableciéndose el objetivo general: Determinar el porcentaje de remoción de nutrientes mediante fitorremediación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín y los objetivos específicos: Determinar la concentración de nutrientes ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ ) en el afluente y efluente del tratamiento, Evaluar la mejor respuesta de las dos especies de plantas *E. crassipes* (jacinto de agua) o *M. aquaticum* (cola de zorro) en la remoción de nutrientes, Determinar la velocidad de reacción de remoción de nutrientes ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### **2.1. Antecedentes de la Investigación**

Bermeo y Tigse (2019) estudiaron el efecto de *C. indica* en la eliminación de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  en aguas del río Cutuchi. Para ello, instalaron una isla flotante de  $0,60 \text{ m}^2$  en un cuerpo de agua de 115 litros, empleando un tratamiento con tres repeticiones y un control. Las evaluaciones de los parámetros eliminados se realizaron cada 21 días y el seguimiento del crecimiento de la planta cada siete días durante cuatro meses. Los porcentajes de remoción obtenidos fueron: Nitratos 54,11% y Fosfatos 56,22%. El sistema con la variedad *C. indica* se presenta como una alternativa efectiva para mejorar la calidad del agua (p. 12).

Bravo y Gutiérrez (2019) evaluaron el impacto de *Canna indica* y *Panicum maximum* en la eliminación de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{Cr}^{3+}$  en aguas del río Cutuchi, utilizando un cuerpo de agua de 67 litros. Para esto, instalaron una isla flotante de  $0,12 \text{ m}^2$  (Tratamiento 1), junto con tres repeticiones y un control. Se realizaron evaluaciones de los parámetros eliminados cada 21 días y del desarrollo de las plantas cada siete días durante un periodo de cuatro meses. Los porcentajes de remoción obtenidos fueron: Nitratos 71,96%, Fosfatos 53,13% y Cromo 87,08% (p. 11).

Herrera y Sumba (2019) analizaron el impacto de *V. zizanioides* en la eliminación de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{Pb}$  en aguas del río Cutuchi. Para este estudio, instalaron una isla

flotante de 0,09 m<sup>2</sup> en un cuerpo de agua de 115 litros (Tratamiento 1), con tres repeticiones y un control. Las evaluaciones de los parámetros eliminados se llevaron a cabo cada 21 días, mientras que el desarrollo de la planta se revisó cada siete días durante cuatro meses. Los porcentajes de remoción registrados fueron: Nitratos 82,11%, Fosfatos 50% y Plomo 99,72% (p. 12).

Ortega (2019) determinó que el uso de *Panicum maximum* es una alternativa eficaz para mejorar la calidad del agua. En su estudio, evaluó la capacidad de *Panicum maximum* para remover NO<sub>3</sub> y PO<sub>4</sub> en aguas del río Cutuchi. Se instaló una isla flotante de 0,12 m<sup>2</sup> en un cuerpo de agua de 67 litros (Tratamiento 1), con tres repeticiones y un control. Las evaluaciones de los parámetros eliminados se realizaron cada 21 días, mientras que el crecimiento de la planta se revisó cada siete días durante cuatro meses. Los porcentajes de remoción obtenidos fueron: Nitratos 82,20% y Fosfatos 43,44% (p. 11).

Callohuanca (2019) realizó una evaluación de los parámetros ambientales de las aguas residuales descargadas en la bahía interior de Puno en dos estaciones del año, y analizó la efectividad de las macrófitas flotantes en la eliminación de nitrógeno, fósforo y sulfatos, así como en la producción de biomasa. Se utilizaron las macrófitas *Azolla filiculoides* y *Lemna gibba*, cultivadas en recipientes de 50x40x20 cm con un área de 0,20 m<sup>2</sup> y un volumen de 30 litros, y con un tiempo de retención hidráulica de 8 días. Los resultados indicaron que durante la temporada de lluvias, *Lemna gibba* mostró una eficiencia del 73,08% en la remoción de nitrógeno total, mientras que *Azolla filiculoides* alcanzó una eficiencia del 81,83% en la eliminación de fósforo total. La eficiencia en la remoción de sulfatos no fue significativa y se observó un aumento en su concentración. La mayor producción de biomasa se registró durante la época de lluvias, con *Lemna* alcanzando un 72,52% y *Azolla* un 50,74% (p. 10).

Carvajal y Lazo (2017) evaluaron la eficacia de las islas flotantes utilizando dos tipos de plantas depuradoras, la totora y la moringa, aplicadas al tratamiento de agua en la laguna de oxidación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral y en una muestra de agua del estero salado de Guayaquil. Durante un período de 2 meses, se realizaron muestreos semanales para medir la concentración de nitratos, fosfatos, carbono orgánico total, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, dureza y alcalinidad. Las islas flotantes se construyeron en formas circular y rectangular con el mismo volumen de muestra. A lo largo de los meses, se observó que la planta totora mostró una mayor eficacia en la depuración comparada con la moringa, con tasas de efectividad que variaron entre el 80% y el 96% en los sistemas con totora, frente al 63% al 82% en los sistemas con moringa (p.3).

Castillo (2017) evaluó la eficacia de *Lemna sp* y *E. crassipes* en la remoción de nutrientes en el efluente de la PTAR Celendín durante un período de 6 meses. En un sistema de reactores en serie de flujo continuo, se aplicó *Lemna sp* (PM2) y se obtuvo una eficiencia de remoción del 52% para nitrógeno total (N), 37% para nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), 31% para fósforo total (P) y 34% para fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Al aplicar *E. crassipes* (PM3) en un sistema similar, se logró una eficiencia del 61% para nitrógeno total (N), 34% para nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), 73% para fósforo total (P) y 68% para fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Además, la concentración de oxígeno disuelto en el tanque de distribución (PM1) era de 1.48 mgO<sub>2</sub>/L. Con *Lemna sp* (PM2), se incrementó a 2.51 mgO<sub>2</sub>/L, y con *E. crassipes* (PM3), se incrementó a 3.06 mgO<sub>2</sub>/L. Los resultados concluyen que *E. crassipes* mostró las tasas más altas de remoción de nutrientes en comparación con *Lemna sp*, y se considera una tecnología limpia eficaz y sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas (p. 8).

Delgado (2022) aplicó el tratamiento con *M. aquaticum* al efluente de la PTAR Celendín y observó los siguientes resultados: el pH promedio del tanque de distribución (PM1) era 8.25, y con *M. aquaticum* se redujo a 8.16, mostrando una ligera disminución en la alcalinidad del agua. La temperatura promedio en el tanque de distribución (PM1) era 15.5 °C, pero con el tratamiento con *M. aquaticum*, se incrementó a 16.3 °C. El caudal utilizado para el tratamiento con *M. aquaticum* fue de 0.023 L/min, alcanzando un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 5 días. La eficiencia de remoción de los parámetros analizados fue la siguiente: demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) 56.3%, nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>-N) 70.4%, fosfatos (PO<sub>4</sub>) 85%, sulfatos (SO<sub>4</sub>) 65.5%, cloruros (Cl-) 27.3% y coliformes termotolerantes 62.3%. El oxígeno disuelto en el tanque de distribución (PM1) se incrementó de 0.79 mgO<sub>2</sub>/L a 3.41 mgO<sub>2</sub>/L, lo que representa una eficiencia de 76.9%. Según los resultados, *M. aquaticum* mostró una alta eficiencia en la remoción de fosfatos (85%), nitrógeno amoniacal (70.4%) y sulfatos (65.5%), además de aumentar el oxígeno disuelto en un 76.9% (p. 9).

Perales Valdivia (2008), durante el periodo enero 2007 a enero del 2008, evaluó la calidad del agua en la cuenca del río Grande de la provincia de Celendín aguas arriba como aguas debajo de la ciudad de Celendín, obteniendo los siguientes resultados: aguas arriba de la PTAR Celendín, fosfatos 0. 37 mg/L, nitratos 0. 40 mg/L; y aguas abajo: fosfatos 0. 98 mg/L y nitratos 0, 56 mg/L (p, 9).

## **2.2. Bases teóricas**

### ***2.2.1. Fitorremediación***

Según Marrero et al. (2012), la fitorremediación es una rama reciente de la biorremediación que se presenta como una solución alternativa a los problemas ambientales. Este método utiliza plantas capaces de acumular altas concentraciones de metales en sus tejidos para contener, eliminar o neutralizar contaminantes

presentes en el agua, como metales pesados, metales radioactivos, nutrientes, compuestos orgánicos y derivados del petróleo. Esto se logra a través de mecanismos de captura de metales propios de estas plantas y/o por los microorganismos que viven en la rizósfera. (p. 54).

Delgadillo et al. (2011) explican que la fitorremediación se fundamenta en los mecanismos fisiológicos esenciales que ocurren en las plantas y en los microorganismos que las acompañan, como la transpiración, la fotosíntesis, el metabolismo y la nutrición (p. 600).

### **Tabla 1**

#### *Mecanismos de fitorremediación*

Proceso	Mecanismo	Contaminantes
Fitoestabilización	Complejación	Orgánicos e inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de las hojas	Orgánicos e inorgánicos
Fitoinmovilización	Acumulación en la rizósfera	Orgánicos e inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua	Orgánicos e inorgánicos

*Nota.* Reproducido de “Mecanismos de fitorremediación”, por, AE. Delgadillo, CA. González, FP.

García, JR. Villagómez, O. Acevedo, 2011, *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación*, Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14: 597- 612.

### **A. Fitoestabilización**

La fitoestabilización involucra el uso de plantas para inmovilizar contaminantes en el suelo o el agua, reduciendo su movilidad y toxicidad. Este proceso es útil en aguas residuales con metales pesados, ya que las plantas pueden absorber parcialmente los contaminantes y estabilizarlos en sus estructuras radiculares o mediante la secreción de compuestos que precipitan los metales. Químicamente, éste mecanismo se centra en la interacción entre los contaminantes y los compuestos químicos exudados por las raíces de las plantas,

como ácidos orgánicos y compuestos fenólicos. Estos exudados promueven procesos como la precipitación química, la formación de quelatos y la adsorción en partículas del suelo. (Vargas et al., 2018, p. 109).

#### **B. Fitoextracción**

La fitoextracción consiste en la absorción de contaminantes por parte de las plantas desde el suelo o el agua y su acumulación en los tejidos vegetales. Este mecanismo es útil para la eliminación de metales pesados y nutrientes como nitratos y fosfatos en aguas residuales. Los procesos de bioacumulación química, permiten que los metales se unan a proteínas específicas o se incorporen a complejos de ácidos orgánicos, como el ácido cítrico, absorbiendo los metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y acumulándolos en tallos y hojas (Delgadillo, 2011, p. 601).

#### **C. Fitovolatilización**

La fitovolatilización implica la absorción de contaminantes por las plantas y su transformación en compuestos volátiles que se liberan a la atmósfera. Este mecanismo es efectivo para compuestos orgánicos volátiles y ciertos metales como el mercurio. El mercurio ( $Hg^{2+}$ ) puede ser reducido a su forma elemental  $Hg^0$  por enzimas como el mercurio reductasa, generando un gas volátil (López et al., 2005, p. 93).

#### **D. Fitoinmovilización**

La fitoinmovilización se refiere a la capacidad de las plantas para fijar contaminantes en su zona rizosférica a través de procesos como la secreción de exudados radiculares. Este mecanismo es crucial en aguas residuales con alta concentración de metales pesados, donde los exudados ácidos secretados por las

raíces modifican el pH y facilitan la precipitación de iones metálicos (Marrero et al., 2012, p. 57).

#### **E. Fitodegradación**

La fitodegradación implica la descomposición de contaminantes orgánicos en sustancias menos tóxicas mediante enzimas producidas por las plantas. Este mecanismo es relevante para la remediación de compuestos como hidrocarburos y pesticidas en aguas residuales. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) son degradados a compuestos menos tóxicos a través de procesos de oxidación, reducción o hidrólisis enzimática y los pesticidas organofosforados pueden ser hidrolizados por enzimas específicas, rompiendo enlaces PO (Delgadillo, 2011, p. 602).

#### **F. Rizofiltración**

La rizofiltración es una técnica de fitorremediaciόn que utiliza las raíces de las plantas para absorber, precipitar y concentrar contaminantes presentes en aguas superficiales, subterráneas o en efluentes líquidos contaminados con fosfatos, nitratos, fenoles, pesticidas, metales pesados, sustancias tóxicas orgánicas, entre otros. Las plantas empleadas para este propósito se cultivan en invernaderos con sus raíces sumergidas en agua en lugar de tierra. Una vez que el sistema radicular de la planta está bien desarrollado, las raíces se ponen en contacto con el agua o efluente a tratar. A medida que las raíces se saturan de agua, los contaminantes son eliminados (Guevara, 2009, p. 871).

A diferencia de los cationes, la absorción de aniones como nitratos y fosfatos por las raíces vegetales ocurre mediante un mecanismo de intercambio aniónico. Las paredes celulares de las raíces contienen grupos funcionales

protonados, como grupos amonio cuaternario ( $-\text{NR}_3^+$ ) o grupos imidazolio, que pueden estabilizar aniones mediante atracción electrostática o intercambio.

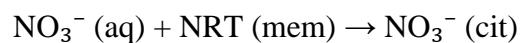
Una vez intercambiados o adsorbidos en la rizósfera, los aniones pueden ser transportados pasivamente por difusión o activamente mediante cotransportadores específicos en las membranas de las células radiculares, como los transportadores NRT (Nitrate Transporter) para  $\text{NO}_3^-$  y PHT (Phosphate Transporter) para  $\text{PO}_4^{3-}$ . Ser almacenados en vacuolas o incorporados a procesos metabólicos como la síntesis de aminoácidos (en el caso del nitrógeno) o ácidos nucleicos y fosfolípidos (en el caso del fósforo) (Guevara, 2009, p. 891).

Las reacciones relevantes simplificadas en la rizofiltración son:

- **Absorción de Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )**

El nitrato en solución acuosa es absorbido por las células de la raíz a través de transportadores específicos (NRT) ubicados en la membrana plasmática.

Reacción:



Donde:

**$\text{NO}_3^- \text{ (aq)}$ :** nitrato en solución acuosa

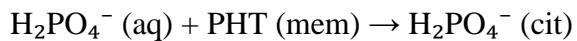
**NRT (mem):** transportador de nitrato en la membrana de la raíz

**$\text{NO}_3^- \text{ (cit)}$ :** nitrato en el citoplasma de la célula vegetal

- **Absorción de Fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ )**

El fosfato, en su forma más común a pH neutro ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), es captado por la raíz mediante transportadores PHT.

Reacción:



Donde:

**H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>** (aq): fosfato diácido en solución

**PHT** (mem): transportador de fosfato en la membrana

**H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>** (cit): fosfato absorbido en el citoplasma

#### 2.2.1.1. Islas flotantes

Las islas flotantes se basan en el principio de la hidroponía, utilizando plantas acuáticas (helófitos) instaladas en una estructura flotante para que sus raíces se desarrolle en el agua y absorban los nutrientes necesarios para su crecimiento, lo que ayuda en el proceso de purificación del agua. El desarrollo de microorganismos en la rizosfera también contribuye a este proceso. Además, las islas flotantes ayudan a reducir la temperatura del agua, actúan como barrera contra los rayos UV y, por lo tanto, disminuyen el crecimiento de algas. (AQUANEA, 2022, p. 3).

Martínez y López (2018) indican que las islas flotantes son un tipo de humedales construidos, consistentes en una estructura flotante en la que crecen plantas acuáticas emergentes ancladas en la superficie. Los tallos de las plantas se desarrollan por encima del nivel del agua, mientras que las raíces se extienden hacia el fondo del estanque a través de la columna de agua, facilitando los procesos de fitodepuración al proporcionar una

superficie para el crecimiento de comunidades microbianas. La flotabilidad de la isla permite que se mantenga en la superficie, adaptándose a las variaciones en la profundidad del agua (p. 111).

El uso de plantas acuáticas se ha desarrollado como una alternativa para el tratamiento secundario o terciario de aguas residuales y ha demostrado ser eficaz en la eliminación de una amplia variedad de contaminantes. Este método depura el agua eliminando material orgánico ( $\text{DBO}_5$ ), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y disminuyendo los niveles de fósforo. El proceso de remoción de contaminantes por parte de las plantas acuáticas, que son fundamentales en la tecnología de humedales, se basa en la capacidad de estas plantas para liberar grandes cantidades de oxígeno en sus raíces. El aire no utilizado por la planta, que es expulsado, es absorbido por microorganismos como bacterias y hongos asociados a las raíces, los cuales metabolizan los contaminantes presentes en el sistema (Celis et al., 2004, p. 18).

#### **A. Oxidación del amonio**

Cárdenas y Sánchez (2013) describen, que el proceso de oxidación del amonio en sistemas con plantas acuáticas está principalmente asociado con la actividad de bacterias nitrificantes presentes en el sistema radicular. Las plantas acuáticas, como los lirios de agua (*E. crassipes*) o el juncos (*Schoenoplectus californicus*), tienen un sistema radicular adaptado para liberar oxígeno molecular en zonas inundadas. Este oxígeno mantiene microambientes aerobios cerca de las raíces, lo que favorece la nitrificación, proceso de conversión del amonio en nitritos y en nitratos. Éste proceso se realiza en dos etapas:

##### **a) Liberación de oxígeno por las raíces**

- Las plantas acuáticas liberan oxígeno a través de estructuras especializadas como los aerénquimas. Este oxígeno se difunde hacia la rizosfera (zona inmediata a las raíces), creando condiciones ideales para las bacterias nitrificantes (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*).
- Según estudios de Vymazal (2011), el oxígeno liberado por las raíces puede compensar la baja disponibilidad en sistemas de aguas residuales, mejorando la conversión de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

### b) Transformación del amonio en nitrito y nitrato

La oxidación del amonio ocurre en dos pasos:

- *Nitrosomonas* convierte amonio en nitrito:



- *Nitrobacter* convierte nitrito en nitrato:



Este proceso es crítico en sistemas de tratamiento con plantas acuáticas, ya que el nitrato generado puede ser posteriormente eliminado por desnitrificación.

## B. Reducción de nitratos

La reducción de nitratos en sistemas con plantas acuáticas se realiza principalmente por bacterias desnitrificantes, que convierten el nitrato en gas nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ). Estas bacterias se benefician de las condiciones anóxicas que se forman en el sistema radicular de las plantas.

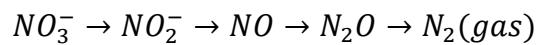
### a) Condiciones anóxicas en la rizosfera

Aunque las raíces de las plantas liberan oxígeno, las zonas más internas del sedimento o sustrato permanecen anóxicas debido al

consumo de oxígeno por microorganismos y la limitada difusión de oxígeno hacia estas áreas. Esto crea un ambiente favorable para la desnitrificación (Vymazal, 2007, p. 89).

### b) Uso de materia orgánica

Las bacterias heterótrofas desnitrificantes (e.g., *Pseudomonas*, *Paracoccus*) utilizan la materia orgánica exudada por las raíces de las plantas como fuente de carbono para reducir los nitratos:



Estas bacterias completan el ciclo del nitrógeno, eliminando el nitrógeno del agua al transformarlo en gas que se libera a la atmósfera.

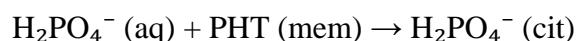
## C. Disminución de niveles de fósforos

La eliminación de fósforo en sistemas con plantas acuáticas ocurre mediante la interacción de procesos biológicos, químicos y físicos.

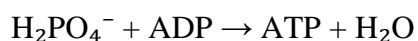
### a) Absorción directa por las plantas

Las plantas acuáticas absorben fósforo en forma de ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) para utilizarlo en sus procesos metabólicos y de crecimiento.

Según Kadlec y Wallace (2009), plantas como el jacinto de agua (*E. crassipes*) pueden acumular grandes cantidades de fósforo en sus tejidos.



Además, el fosfato absorbido puede participar en la síntesis de ATP dentro de la célula:

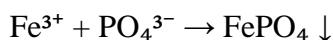
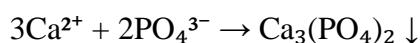


Esta reacción representa la fosforilación de ADP a ATP, esencial en los procesos metabólicos de la planta.

**b) Retención en sedimentos y sustratos**

El fósforo es adsorbido por partículas del sedimento o precipitado químicamente con cationes como calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), hierro ( $\text{Fe}^{3+}$ ) o aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ). Las raíces de las plantas acuáticas incrementan la capacidad de adsorción del sustrato al liberar compuestos que alteran su química (Hupfer & Lewandowski, 2008).

Reacciones de precipitación:



**c) Formación de compuestos insolubles:**

En presencia de hierro o calcio, el fósforo se combina para formar precipitados insolubles como fosfato de calcio ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) o fosfato férrico ( $\text{FePO}_4$ ). Estos compuestos permanecen en el sedimento y no están disponibles para su recirculación.

**d) Interacción con microorganismos:**

Las bacterias presentes en la rizosfera también contribuyen a la inmovilización del fósforo mediante su incorporación en la biomasa microbiana o mediante la actividad de enzimas fosfatásicas.

### **2.2.2. Aplicación de islas flotantes con especies vegetales**

Las islas flotantes ofrecen la ventaja de proporcionar una superficie adicional a través de la malla flotante y la red de raíces, lo que favorece el establecimiento de biofilms microbianos responsables de numerosos procesos de tratamiento. Además, la capacidad de las islas flotantes para funcionar en mayores profundidades de agua en comparación con los humedales convencionales puede permitirles alcanzar niveles de tratamiento más altos por unidad de superficie, lo

que resulta en una mayor eficiencia en la eliminación de ciertos contaminantes (Carvajal y Lazo. 2017, p. 22).

#### **2.2.2.1. *E. crassipes* (Jacinto de agua)**

*E. crassipes*, comúnmente llamada Jacinto de agua, camalote, lirio acuático. Es de la clase *monocotiledónea* de la familia *Pontederiaceae*, de género *Eichhornia* de agua dulce, originaria de la cuenca del Amazonas y naturalizada en los países tropicales y subtropicales de América del Sur (Rodríguez et al., 2022, p. 2).

Es una planta que flota sobre el agua con sus raíces sumergidas, sin estar anclada a un soporte, y desempeña un papel crucial en los humedales artificiales al airear, absorber nutrientes y eliminar contaminantes. Desde el punto de vista químico, el Jacinto de agua actúa como una biofábrica natural que transforma y retiene compuestos químicos presentes en el agua contaminada. Su sistema radicular libera oxígeno molecular ( $O_2$ ) a través de estructuras especializadas llamadas aerénquimas, lo que permite la oxidación de amonio ( $NH_4^+$ ) a nitratos ( $NO_3^-$ ) en la rizosfera, promoviendo la actividad de bacterias nitrificantes. (Araque et al., 2018, p. 38).

Además, Celis et al. (2005) afirman a nivel celular, la planta cuenta con mecanismos fisiológicos y bioquímicos para la absorción y acumulación de nutrientes y contaminantes:

##### **A. Absorción y acumulación de metales pesados**

Las células epidérmicas de las raíces tienen una alta capacidad de adsorción superficial de iones metálicos (como plomo, cadmio y mercurio) a través de interacciones electrostáticas y procesos de intercambio iónico. Estos iones metálicos son posteriormente transportados al interior de las

células por proteínas de transporte específicas en las membranas, como las ATPasas.

En el citoplasma, los metales son quelados por moléculas como fitocheletinas y metalotioneínas, que los inmovilizan y evitan su toxicidad para la planta (p. 18).

### **B. Transformación química en las raíces**

El jacinto de agua participa en procesos de transformación química, como la reducción de cationes metálicos a formas menos reactivas o menos tóxicas mediante la actividad enzimática de reductasas. Por ejemplo, compuestos como el mercurio ( $Hg^{2+}$ ) pueden ser reducidos a su forma elemental ( $Hg^0$ ), que es menos soluble y móvil.

### **C. Metabolismo de nutrientes**

- **Fósforo:** La planta absorbe ortofosfatos ( $PO_4^{3-}$ ) a través de transportadores específicos en la membrana plasmática de las células radiculares. Este fósforo se almacena como fosfato inorgánico o se utiliza en la síntesis de moléculas energéticas como el ATP.
- **Nitrógeno:** Los nitratos absorbidos son transportados a las hojas, donde se reducen a amonio en los cloroplastos mediante la enzima nitrato reductasa. Posteriormente, el amonio se incorpora a aminoácidos esenciales como la glutamina mediante el ciclo de la glutamina-glutamato (p.55).

### **D. Producción de oxígeno y compuestos exudados:**

A nivel de los aerénquimas, el jacinto de agua transporta oxígeno desde las hojas hasta las raíces, liberándolo al medio acuático. Este oxígeno es esencial para mantener procesos aerobios, como la oxidación de compuestos orgánicos y la nitrificación.

También libera exudados radiculares ricos en compuestos orgánicos (e.g., carbohidratos, aminoácidos), que alimentan a los microorganismos beneficiosos de la rizosfera, mejorando su capacidad para degradar contaminantes.

En conjunto, la capacidad del jacinto de agua para intervenir en procesos químicos, metabólicos y celulares lo convierte en una herramienta eficiente para la biorremediación de aguas contaminadas (p. 56).

#### **2.2.2.2. *M. aquaticum* (cola de zorro)**

*M. aquaticum*, llamada comúnmente cola de zorro, milenrama brasileña. Planta perenne acuática que crece de forma emergente y sumergida, de color azul verdoso, con los tallos robustos, glabros y con nudos inferiores con capacidad de enraizar, pertenece a la clase *Magnoliopsida*, orden *Haloragales* y familia *Haloragaceae*, es nativa de la cuenca del Amazonas (Sudamérica) (CONABIO, 2015, p. 1).

Campos et al. (2019) indican que *M. aquaticum* se enraiza en el sustrato de cuerpos de agua ricos en nutrientes, tanto estancados como de flujo lento, que pueden ser naturales o artificiales, como ríos, manglares, lagos, pantanos, embalses, canales de riego o suelos encharcados. En general, su establecimiento y crecimiento se ven favorecidos en aguas poco profundas, con menos de 1 metro de profundidad, ya que, bajo estas condiciones, los tallos pueden llegar fácilmente a la superficie del agua, formando una especie de alfombra vegetal (p. 6).

Pocohoanca (2017) señala que la especie *M. aquaticum* absorbe nitrógeno y fósforo de los sedimentos, una característica que la hace altamente competitiva en entornos ricos en nutrientes. A nivel químico, este

proceso involucra la captación activa de formas disponibles de nitrógeno y fósforo, como el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), que son esenciales para el metabolismo de la planta. Estas sustancias se transportan a través de proteínas específicas en las membranas celulares radiculares, impulsadas por gradientes electroquímicos generados por bombas de protones ( $\text{H}^+$ -ATPasa) (p. 48).

Campana (2023), describe los procesos químicos involucrados en la absorción del nitrógeno y fósforo por la especie *M. aquaticum*:

#### **A. Absorción de nitrógeno:**

Las raíces de *M. aquaticum* captan nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) desde los sedimentos mediante transportadores específicos como NRT (transportadores de nitrato) y AMT (transportadores de amonio).

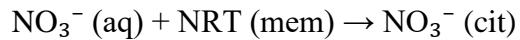
En el caso del nitrato, este es transportado al sistema vascular de la planta y reducido a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) por la enzima nitrato reductasa en el citoplasma. Posteriormente, en los cloroplastos, el nitrito se convierte en amonio mediante la nitrito reductasa. Este amonio es incorporado a aminoácidos, como glutamina y glutamato, a través de la acción de las enzimas glutamina sintetasa y glutamato sintasa (GS-GOGAT).

En condiciones anaerobias (como las que ocurren en los sedimentos), *M. aquaticum* puede aprovechar formas reducidas de nitrógeno como el amonio directamente, lo que le confiere una ventaja en ambientes pobres en oxígeno (p. 21)

#### ***Procesos de absorción y asimilación de nitrógeno en *M. aquaticum****

#### **(Ecuaciones químicas)**

- **Absorción de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )**



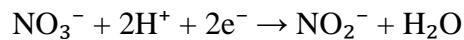
Donde:

**$\text{NO}_3^- \text{ (aq)}$ :** Nitrato disuelto en el agua o sedimento.

**NRT (mem):** Transportador de nitrato en la membrana radicular.

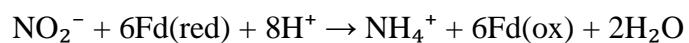
**$\text{NO}_3^- \text{ (cit)}$ :** Nitrato transportado al citoplasma celular.

- **Reducción de nitrato a nitrito (por Nitrato Reductasa)**



Esta reacción ocurre en el citoplasma, catalizada por la enzima nitrato reductasa, el nitrato es reducido a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) usando protones y electrones provenientes del metabolismo celular.

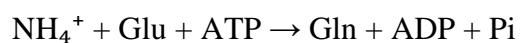
- **Reducción de nitrito a amonio (por Nitrito Reductasa)**



Catalizada por la enzima nitrito reductasa en los cloroplastos. La ferredoxina reducida ( $\text{Fd}^-$ ) **actúa** como donador de electrones.

- **Asimilación del amonio (Ruta GS-GOGAT)**

### Formación de Glutamina



Enzima: Glutamina sintetasa.

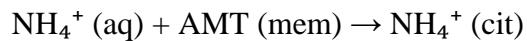
- **Formación de Glutamato**



Enzima: Glutamato sintasa

Estas reacciones permiten incorporar el nitrógeno a **aminoácidos** esenciales para el crecimiento de la planta.

- **Absorción directa de amonio ( $\text{NH}_4^+$ )**



**$\text{NH}_4^+ \text{ (aq)}$ :** Amonio en solución.

**AMT (mem):** Transportador específico de amonio en la membrana celular.

**$\text{NH}_4^+ \text{ (cit)}$ :** Amonio absorbido al citoplasma.

## B. Absorción de fósforo:

El fósforo se capta principalmente en forma de ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) mediante transportadores específicos de fosfato presentes en las membranas celulares de las raíces. Este fósforo es esencial para la síntesis de nucleótidos, fosfolípidos y moléculas energéticas como el ATP.

En ambientes con baja disponibilidad de fósforo, *M. aquaticum* puede liberar exudados radiculares, como ácidos orgánicos (e.g., ácido cítrico o malato), que movilizan fósforo de los sedimentos mediante la solubilización de fosfatos ligados a minerales (p.22).

La planta también muestra cierta tolerancia al estrés, como la capacidad de soportar niveles moderados de salinidad. Aunque es bastante sensible a las bajas temperaturas invernales, puede sobrevivir a heladas

breves e infrecuentes, lo que le permite continuar creciendo en esas condiciones (Pocohoanca, 2017, p. 49).

### **2.2.3. Eutrofización desde la química y biología**

La eutrofización es el incremento de la tasa de producción de materia orgánica en un cuerpo de agua, asociado al sobre enriquecimiento de nutrientes, particularmente compuestos de nitrógeno (N) y fósforo (P). Este fenómeno tiene importantes implicaciones tanto químicas como biológicas, especialmente en sistemas acuáticos afectados por descargas de aguas residuales (Montalvo et al., 2014, p. 190).

#### **2.2.3.1. Enfoque químico**

Desde el punto de vista químico, la eutrofización se refiere al incremento en las concentraciones de nutrientes disueltos, particularmente de fósforo y nitrógeno, que actúan como limitantes del crecimiento en ecosistemas acuáticos. Su exceso en cuerpos de agua está relacionado con actividades humanas como la agricultura intensiva, el uso de detergentes y la liberación de aguas residuales sin tratamiento adecuado (Mateos-Aparicios, 2023, p.1128)

##### **a) Fósforo**

El fósforo es considerado el principal responsable de la eutrofización en sistemas de agua dulce debido a que generalmente es el nutriente limitante. Se encuentra principalmente en las siguientes formas:

- **Ortofósfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ):** Constituyen la forma biodisponible del fósforo para organismos fotosintéticos. Proceden de fertilizantes, detergentes y excreciones animales.

- **Fósforo particulado:** Asociado a partículas sólidas en suspensión o sedimentos.
- **Fósforo orgánico:** Forma compleja que requiere descomposición para ser asimilada por los organismos.

El exceso de fósforo acelera el crecimiento de fitoplancton y algas, lo que provoca un desequilibrio en las condiciones naturales del ecosistema acuático (Herrera, 2022, p. 47).

#### b) Nitrógeno

El nitrógeno presente en el agua puede representar riesgos para la salud humana tanto por ingestión como por contacto directo con compuestos tóxicos liberados por floraciones de cianobacterias en ambientes eutrofizados. Los compuestos nitrogenados se producen de manera natural a través de procesos biológicos como la asimilación de algas, la amonificación y la nitrificación. El amonio es absorbido e inmovilizado por algas, principalmente cianobacterias; cuando estas mueren, sus restos se descomponen en el fondo de cuerpos de agua, transfiriendo el amonio a los sedimentos. Además, la amonificación del material celular nitrogenado también contribuye a la acumulación de amonio en los sedimentos, que bajo condiciones anóxicas puede oxidarse a nitratos en ambientes oxigenados (Cárdenas y Sanchez, 2013, pp, 72 -74).

El nitrógeno, aunque más abundante en el medio ambiente, también contribuye significativamente a la eutrofización, especialmente en sistemas costeros y estuarios (Espinosa et al., 2012, p. 78). Se presenta en varias formas:

- **Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ):** Forma reducida del nitrógeno que puede ser tóxica a concentraciones altas. Es también un precursor para procesos de nitrificación.
- **Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ):** Intermediario inestable en la transformación del amonio a nitrato. En exceso, puede causar toxicidad en organismos acuáticos.
- **Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ):** Forma oxidada del nitrógeno y altamente soluble en agua. Se acumula debido a lixiviación en suelos y descargas agrícolas.  
La acumulación de nitrógeno en sistemas acuáticos puede desencadenar proliferaciones de algas nocivas y contribuir a la hipoxia cuando el material orgánico generado se descompone (Correal, 2022, p. 132).

### c) Consecuencias químicas de la eutrofización

La presencia excesiva de nutrientes altera las propiedades físico químicas del agua, incluyendo:

- **Reducción del oxígeno disuelto (OD):** La descomposición aerobia de la biomasa algal aumenta la demanda biológica de oxígeno (DBO), lo que puede llevar a hipoxia o anoxia.
- **Liberación de nutrientes desde sedimentos:** En condiciones anóxicas, el fósforo adsorbido en sedimentos puede ser liberado al agua, intensificando el proceso de eutrofización.
- **Formación de compuestos tóxicos:** En ambientes anóxicos, pueden generarse sulfuros y metano, así como la acumulación de amonio (Jimenez et al., 2016, p. 45).

### **2.2.3.2. Enfoque biológico**

Desde el punto de vista biológico, la eutrofización afecta significativamente la dinámica y estructura de los ecosistemas acuáticos. Este fenómeno se caracteriza por el crecimiento excesivo de organismos fotosintéticos, principalmente algas y cianobacterias, conocido como floración algal, que tiene repercusiones ecológicas de gran alcance (Raffo y Ruiz, 2014, p.75).

#### **a) Productividad primaria**

La disponibilidad elevada de nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, actúa como catalizador para un aumento desmedido en la productividad primaria. Esto conduce a la acumulación de biomasa fitoplanctónica que altera las cadenas tróficas y genera competencia entre las especies acuáticas (Montalvo et al., 2014, p. 198).

#### **b) Hipoxia y anoxia**

El crecimiento excesivo de algas y su posterior descomposición causan un consumo elevado de oxígeno disuelto (OD) por parte de microorganismos descomponedores. Esto puede resultar en hipoxia (bajos niveles de oxígeno) o anoxia (ausencia de oxígeno), lo que afecta a organismos aeróbicos como peces e invertebrados (Jimenez et al., 2016, p. 48).

#### **c) Producción de toxinas**

Algunas especies de cianobacterias, como *Microcystis* y *Anabaena*, producen toxinas conocidas como cianotoxinas, que tienen efectos nocivos en la salud de organismos acuáticos, animales y seres humanos. Estas toxinas pueden acumularse en el agua potable y representar un riesgo importante para la seguridad alimentaria (Mateos-Aparicios, 2023, p.1130).

#### d) Cambios en la biodiversidad

La dominancia de especies oportunistas como las cianobacterias desplaza a otras especies autóctonas, reduciendo la diversidad biológica. Además, la modificación del hábitat y las condiciones ambientales crean barreras ecológicas que limitan la recuperación de los ecosistemas (García y Miranda, 2018, p. 355).

#### **2.2.4. Fisiología vegetal relevante para la fitorremediación**

Tanto la *E. crassipes* como *M. aquaticum* son plantas acuáticas con alta tasa de crecimiento, lo cual se sustenta en su eficiente capacidad fotosintética.

- Poseen tejidos aerénquima, que facilitan el intercambio gaseoso y permiten la flotación, optimizando la absorción de luz necesaria para la fotosíntesis.
- Presentan alta área foliar activa, lo que incrementa su capacidad de captar radiación solar y favorecer su metabolismo.

#### **2.2.5. Uso fotosintético para la fitorremediación**

- Las dos especies *E. crassipes* como *M. aquaticum* acinto realizan fotosíntesis de tipo C3, que es el proceso más común en plantas acuáticas, mediante el cual convierten la energía solar en energía química para el crecimiento y producción de biomasa.
- Este proceso fotosintético sostiene la toma de nutrientes y contaminantes (como nitrógeno, fósforo y metales pesados), permitiendo su incorporación en los tejidos de la planta y facilitando la depuración del agua.
- La alta eficiencia fotosintética de ambas especies contribuye directamente al proceso de fitorremediación, ya que el crecimiento acelerado demanda mayor captación de nutrientes presentes en el cuerpo de agua intervenido.

### **2.2.6. Remoción de nutrientes de aguas residuales**

La remoción de nutrientes en aguas residuales es un proceso destinado a reducir las concentraciones de compuestos de nitrógeno y fósforo en los efluentes, con el fin de prevenir la eutrofización en cuerpos de agua receptores. Este procedimiento es crucial para proteger los ecosistemas acuáticos y mantener la calidad del agua. Entre las diversas estrategias utilizadas, las islas flotantes se han surgido como una solución innovadora y sostenible para la remoción de nutrientes (Mendoza et al. 2016, p. 23).

Las islas flotantes son sistemas bioingenieriles que utilizan plantas acuáticas, bacterias asociadas y un medio flotante como soporte para la absorción y eliminación de nutrientes. Estas estructuras imitan ecosistemas naturales, proporcionando un entorno ideal para la retención de nutrientes mediante mecanismos biológicos y físico químicos (Knobelsdorf, 2005, p.11).

### **2.2.7. Parámetros de control**

#### **2.2.7.1. Oxígeno disuelto (OD)**

Hallasi (2018) explica que el oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua y es crucial para la salud de riachuelos y lagos. Generalmente, un nivel alto de oxígeno disuelto sugiere una mejor calidad del agua, mientras que niveles bajos pueden hacer que algunos peces y otros organismos no puedan sobrevivir, o que sean más propensos a enfermedades y parásitos. Además, el OD puede servir como un indicador del grado de contaminación del agua. Hallasi también destaca que el OD debe medirse "in situ" porque las concentraciones pueden variar rápidamente. Para obtener mediciones precisas, se recomienda el uso del

método de electrodo de membrana. Un nivel adecuado de oxígeno disuelto es esencial para mantener una buena calidad del agua (p.29).

#### **2.2.7.2. Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH es una medida de la concentración de iones hidronio ( $H^+$ ) en una muestra de agua y se usa para indicar el grado de acidez o basicidad de una solución. La escala de pH va de 0 a 14, con un pH de 7 que se considera neutro. Las aguas con un pH inferior a 7 se consideran ácidas, mientras que aquellas con un pH superior a 7 son alcalinas (Haro, 2018, p. 29).

#### **2.2.7.3. Temperatura ( $T^\circ$ )**

La temperatura es una variable física que influye en diversos parámetros, como la solubilidad de gases y sales, la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas, los desplazamientos de los equilibrios químicos, la tensión superficial y el desarrollo de los organismos acuáticos. A medida que la temperatura aumenta, también lo hace la necesidad de oxígeno por parte de estos organismos (Cruz, 2019, p. 29).

#### **2.2.7.4. Caudal (Q)**

El caudal se refiere al volumen de agua que fluye a través de una sección específica en un período de tiempo determinado. Este se calcula multiplicando el área de la sección transversal por la velocidad del flujo de agua a través de dicha sección. El caudal se mide en litros por segundo (l/s) o metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) (Bullón, 2016, p. 52).

#### **2.2.7.5. Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

El tiempo de retención hidráulico (TRH) es el tiempo promedio que un volumen específico de agua residual permanece en un tanque, desde su entrada hasta su salida. Este parámetro es crucial, ya que determina el tiempo

promedio durante el cual el sustrato orgánico recibe tratamiento (Chupayo, 2017, p.52).

En la presente investigación para calcular el tiempo de retención hidráulica se empleará la siguiente fórmula:

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

Dónde:

V= volumen del reactor biológico.

Q = caudal afluente, volumen / tiempo

$\theta$  = tiempo de retención hidráulica en el tanque de aeración.

#### **2.2.7.6. Porcentaje de incremento de especies vegetales**

El crecimiento de las plantas se define generalmente como un aumento irreversible en sus dimensiones. Aunque se podría medir el cambio en volumen para determinar el crecimiento, en la práctica esto puede ser complicado. Por lo tanto, a menudo se utilizan variables relacionadas, como la acumulación de peso, las variaciones en altura o diámetro, o los cambios en el área foliar (Di Benedetto y Tognetti, 2016, p. 260).

En esta investigación, para calcular el porcentaje de incremento de las especies vegetales, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Incremento de sp} = \frac{\text{Cantidad final} - \text{Cantidad inicial}}{\text{Cantidad final}} * 100$$

#### **2.2.8. Constante de velocidad de reacción**

Para evaluar la velocidad de reacción de remoción de nutrientes ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ ) se aplicó los modelos de pseudo primer grado y pseudo segundo grado Lagergren en 1898 descrito por Yifru et al. (2019) (p. 3).

### 2.2.8.1. Cinética de pseudo primer grado

Lagergren en 1898 presentó una ecuación de velocidad de primer orden para describir el proceso cinético de adsorción en fase sólido y líquido (Lagergren 1898), que se expresa como se indica en la siguiente ecuación:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$$

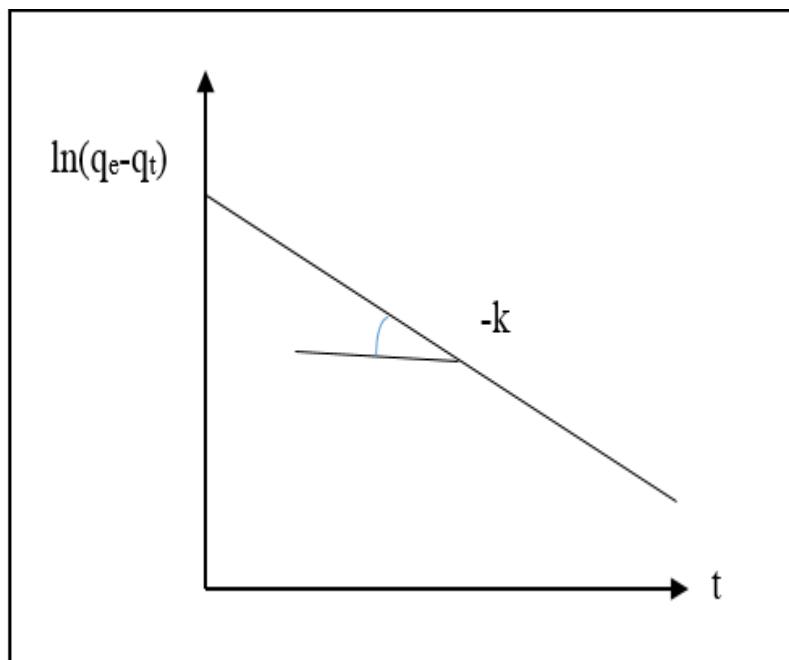
Dónde  $q_e$  (mg/L) y  $q_t$  (mg/L) son las cantidades de nitrato y fosfato adsorbidas en el adsorbente en equilibrio en un determinado tiempo, y  $k_1(\text{min}^{-1})$  es la constante de velocidad de la adsorción de primer orden.

Después de la integración y la aplicación de condiciones de contorno  $q_t = 0$  en  $t=0$  y  $q_t = q_e$  en el tiempo  $= t$ , la forma integrada de la ecuación se convierte en:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

**Figura 1**

*Gráfica lineal de modelo Cinética de pseudo primer grado*



*Nota:* Reproducido de *ajustes lineales correspondientes a cinéticas de orden I*, de Atarés, 2019.

El valor de  $k_1$  y  $q_e$  se puede obtener a partir de la pendiente y la intersección de la gráfica lineal de  $\ln(q_e - q_t)$  versus  $t$ , respectivamente.

### 2.2.8.2. Cinética de pseudosegundo orden

El modelo cinético de pseudosegundo orden presentado por Ho y McKay (1999) viene dada en la siguiente ecuación:

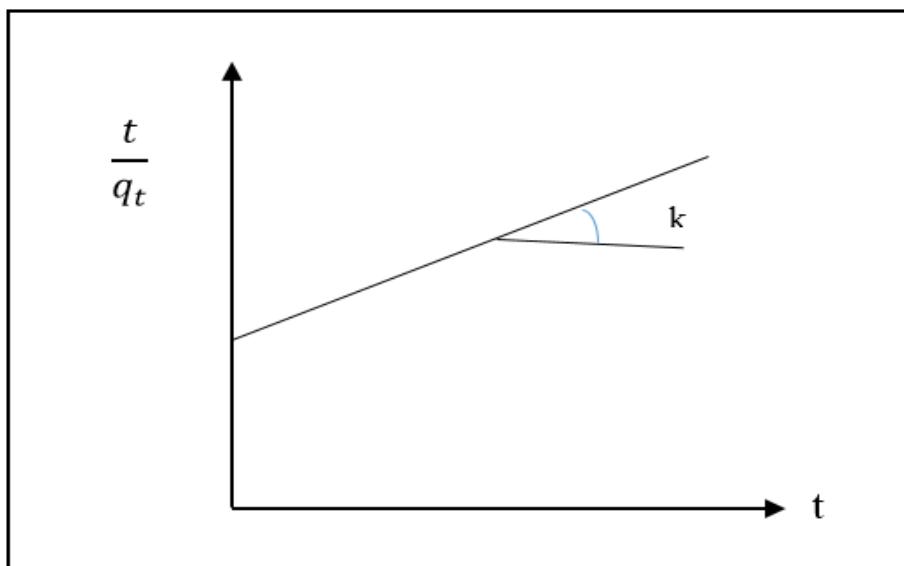
$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$$

Dónde  $k_2$  ( $\text{min}^{-1}$ ) es la constante de velocidad de la ecuación de segundo orden;  $q_e$  ( $\text{mg/L}$ ) es la capacidad máxima de adsorción; y  $q_t$  ( $\text{mg/L}$ ) es la cantidad de adsorbato absorbido en el tiempo (min). Después de integrar la ecuación aplicando las condiciones  $q_e = 0$  en  $t=0$  y  $q_e = q_t$  en  $t=t$ , la ecuación se convierte en:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

**Figura 2**

*Gráfica lineal de modelo Cinética de pseudo segundo grado*



*Nota:* Reproducido de *Ajustes lineales correspondientes a cinéticas de orden 2*, de Atarés, 2019.

El valor de  $q_e$  y  $k_2$  se puede obtener a partir de la pendiente y la intersección de la gráfica lineal de  $t/q_t$  versus  $t$ , respectivamente.

### **2.2.8.3. Valores registrados de cinética de adsorción de pseudo primer y pseudosegundo orden de fosfato y nitrato**

Yifru et al. (2019), registraron valores de cinética de adsorción de pseudo primer y pseudosegundo orden de fosfato y nitrato, en su investigación de eliminación simultánea de nitratos y fosfatos de aguas residuales, los cuales se detalla a continuación:

**Tabla 2**

*Valores de parámetros de la cinética de adsorción de pseudoprimer y pseudosegundo orden de fosfato y nitrato en aguas residuales.*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>Pseudoprimer orden</b>		<b>Pseudosegundo orden</b>	
	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Nitratos</b>	$K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	0,082	$K_2$ ( $\text{min}^{-1}$ )	0,078
<b>Fosfatos</b>	$K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	0,048	$K_2$ ( $\text{min}^{-1}$ )	0,412

### **2.2.9. Características de efluentes de lagunas facultativas**

Las lagunas facultativas llevan a cabo procesos biológicos tanto aerobios como anaerobios de manera simultánea. Un indicador de su buen funcionamiento es la aparición de un color verde brillante, provocado por la presencia de algas. En estas lagunas, las bacterias y las algas interactúan de manera simbiótica, resultando en la descomposición de la materia orgánica. Las bacterias aprovechan el oxígeno producido por las algas para metabolizar los compuestos orgánicos de forma aeróbica. Durante este proceso, se liberan grandes cantidades de nutrientes solubles, como nitratos y fosfatos, además de dióxido de carbono. (Silva, 2004, p.27).

La provincia de Celendín cuenta con la planta de tratamiento de aguas residuales con un tratamiento primario que consta de la implementación de reactores

anaerobios de flujo ascendente (RAFAs) y con un tratamiento secundario a través de una laguna facultativa, durante el tiempo de funcionamiento de la PTAR se ha realizado diferentes investigaciones de las cuales se puede resumir la caracterización del efluente de la laguna facultativa.

**Tabla 3**

*Características del efluente de la laguna facultativa de la PTAR Celendín*

Parámetro	Unidad de medida	Concentración
Nitrógeno total	mg/L	33.17*
Nitrógeno amoniacal	mgN-NH3/L	25.11**
Nitratos	mg/L	18.02*
Fósforo total	mg/L	7.66*
Fosfatos	mg/L	3.04**

*Nota.* Las concentraciones de los parámetros del efluente de la laguna facultativa de la PTAR Celendín descritas en la tabla son muy elevadas para ser vertidas directamente al cuerpo de agua con bajos caudales.

\*Elaborado a partir de “Resultados”, por E. Castillo, 2017, Eficiencia de *Lemna sp* y *E. crassipes*, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín, pp. 52-58.

\*\* Elaborado a partir de “Resultados”, por E. Delgado, 2022, *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 (M. aquaticum)*, pp. 49 – 56.

## 2.3. Definición de términos básicos

### 2.3.1. Fitorremediación

Este proceso tiene como objetivo descontaminar diversos entornos mediante el uso de plantas que extraen contaminantes del medio. Según la especie, estas plantas pueden eliminar distintos tipos de contaminantes, evitando así su propagación en el suelo y en las aguas superficiales y subterráneas (González, 2010, p. 4).

### ***2.3.2. Islas flotantes***

Las islas flotantes son un tipo de humedal artificial en el que se colocan macrófitos emergentes sobre estructuras flotantes. Se emplean en la fitodepuración, en el paisajismo y en proyectos de conservación (Martínez y Lopéz, 2018, p. 110).

### ***2.3.3. Nutrientes en aguas residuales***

La presencia de nutrientes en las aguas suele ser causada principalmente por los detergentes y fertilizantes. Además, las excretas humanas aportan nitrógeno orgánico. El nitrógeno, fósforo y carbono son nutrientes esenciales para el crecimiento de los organismos. Cuando estos nutrientes se liberan en el medio acuático, pueden promover el crecimiento de organismos acuáticos no deseados. Si se aplican en exceso al suelo, pueden provocar la contaminación de las aguas subterráneas (Carvajal y Lazo, 2017, p. 29).

### ***2.3.4. Afluente y efluente de una planta de tratamiento.***

La norma OS. 090 (2015) define al afluente como el agua u otro líquido que entra en una planta de tratamiento o proceso de tratamiento, mientras que el efluente es el líquido que sale de dicho proceso (p.8).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

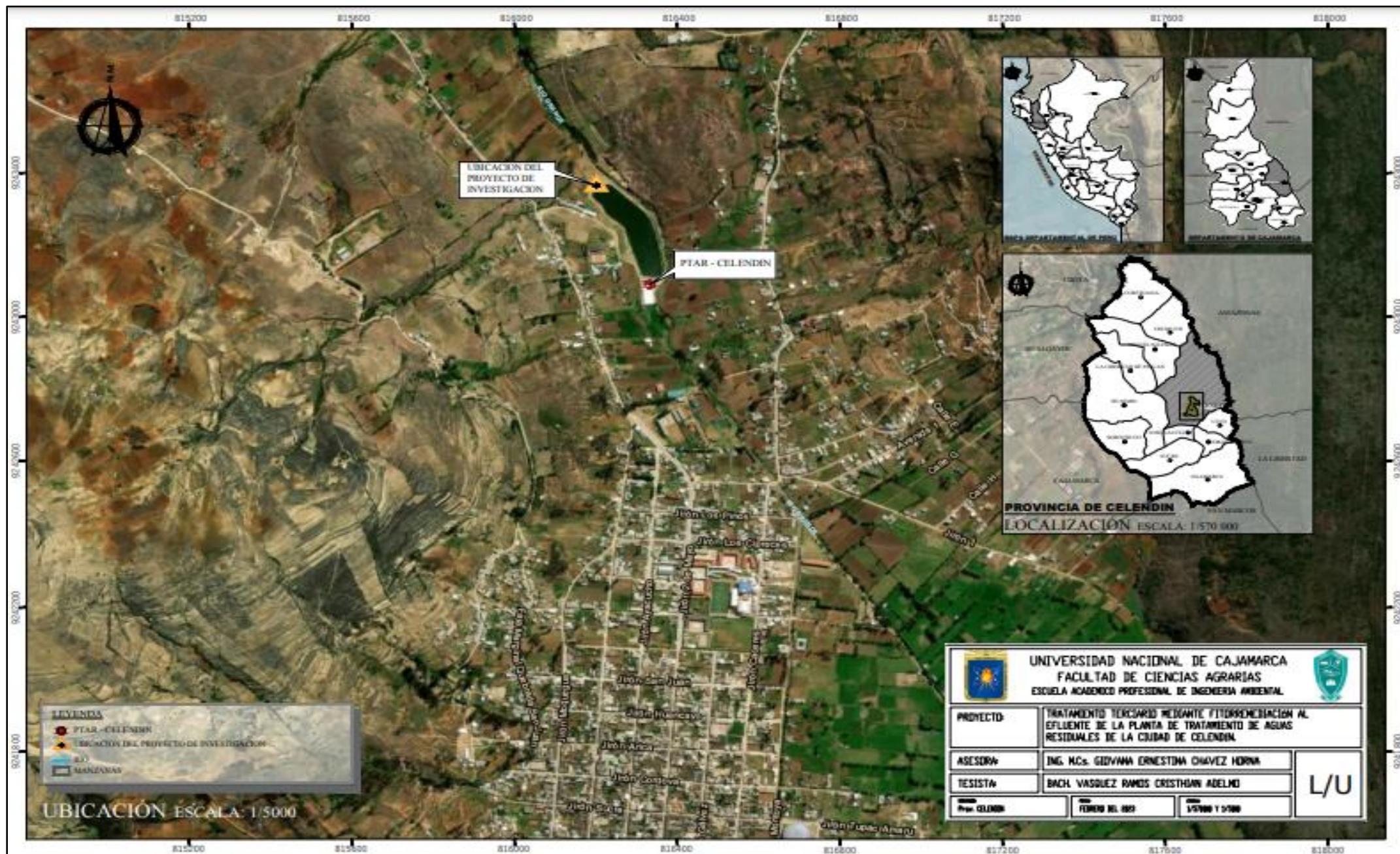
#### 3.1. Ubicación geográfica

Se ejecutó en un ambiente de las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín, provincia de Celendín, región Cajamarca. La PTAR se encuentra ubicada a una distancia de 2 Km del centro de la ciudad a una elevación de 2605 m.s.n.m. con coordenadas UTM 815457.02 E y 9241976.75 S. (Ver figura 1).

El distrito de Celendín, presenta un clima lluvioso con otoño e invierno secos, templado, con temperaturas moderadas durante el día y frías por la noche, oscilando entre máximas de 17 °C a 23° C y mínimas de 3°C a 7 °C según la estación. Durante el verano (diciembre a marzo), se registran lluvias intensas con cielos nublados y algunas tormentas eléctricas, mientras que el invierno (julio a septiembre) es seco, con días soleados y noches frías. Las estaciones de otoño y primavera marcan transiciones con lluvias ligeras y temperaturas agradables. En promedio, el distrito de Celendín recibe entre 700 y 1,500 mm de precipitación anual, con vientos ligeros y humedad moderada. Su altitud, superior a 2.600 metros, acentúa las variaciones térmicas (SENAMHI, 2025).

**Figura 3**

*Mapa de localización y/o ubicación del proyecto de investigación*



### **3.2. Materiales experimentales**

- Efluente de la laguna facultativa de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín.
- Especies vegetales: *E. crassipes* (Jacinto de agua) y *M. aquaticum* (cola de zorro).
- Otros materiales
  - 3 reactores de vidrio de 180 L
  - Tubos PVC 2.5 pulgadas
  - Codos PVC
  - Silicona
  - Malla de policloruro de vinilo de 1.5 c.m
  - Correas de PVC
- Equipos
  - Multiparámetro Hanna Instruments HI9829-13042 calibrado por INACAL
  - Electrobomba Centrifuga 1hp Monofásico, 1"x1" -cpm158
  - Probeta graduada de 100 mL
  - Cámara de celular Samsung A12
  - Laptop HP Intel Core i3
  - Material de muestreo (Botellas de 1° uso, frascos estériles, preservantes, cooler), material entregado por el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca.

### **3.3. Procedimiento**

#### **3.3.1. Construcción de caseta para proyecto**

El procedimiento seguido se describe de la siguiente manera:

- Solicitud de autorización al Gobierno Regional de Cajamarca para la instalación del proyecto en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín.

- Construcción de caseta, para instalación del proyecto, identificando el área a construir de 9 m<sup>2</sup> (3 m de ancho por 3 m de largo) y una altura de 2 m, cercada con malla metálica instalada verticalmente y techo de calamina transparente a una sola caída.

### ***3.3.2. Instalación del sistema de tratamiento***

El sistema de tratamiento está constituido por: tanque de distribución, 3 reactores con islas flotantes acondicionadas con material vegetal, así como se observa en la figura 4.

#### **3.3.2.1. Tanque de distribución**

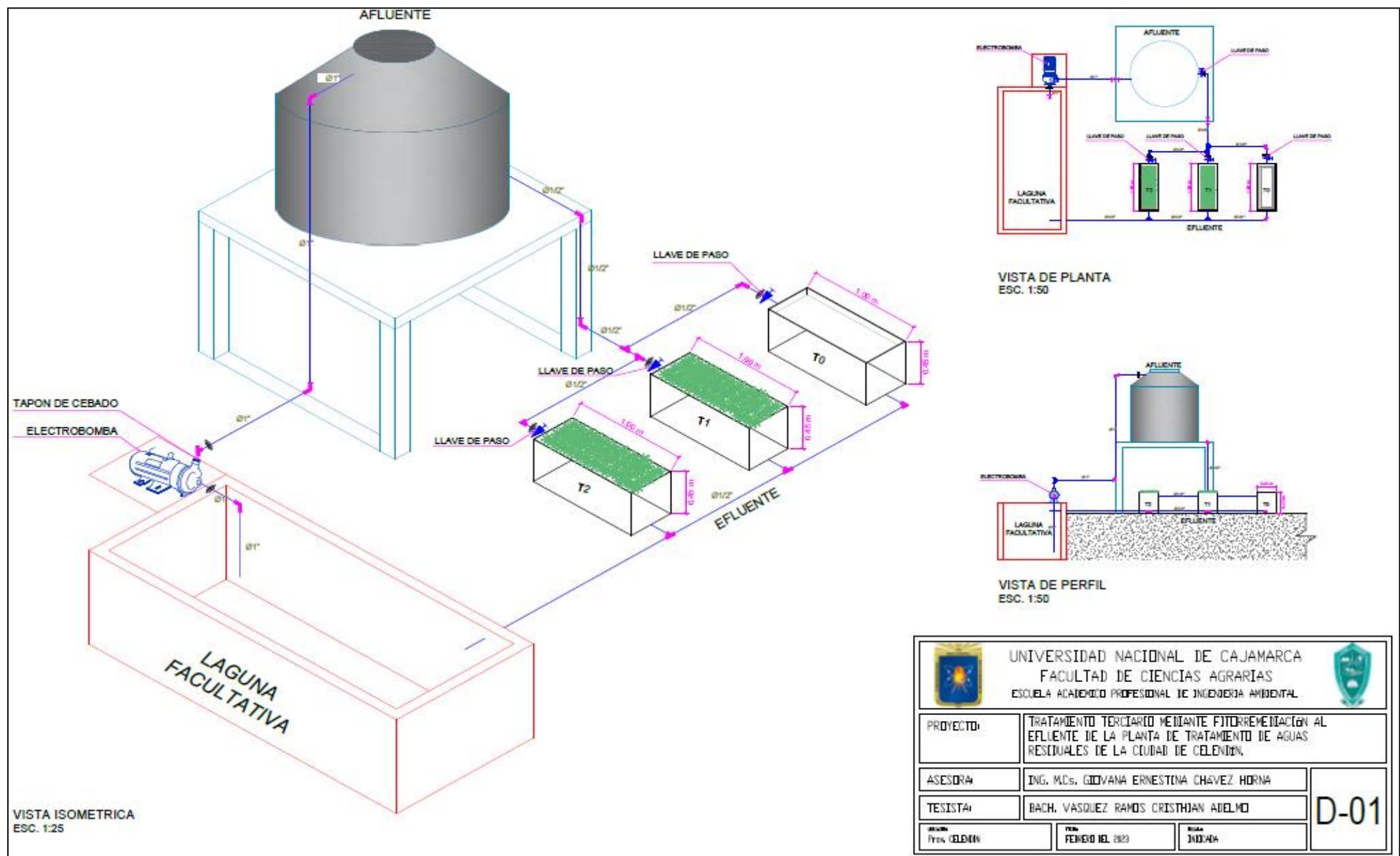
Constituido por un tanque de 200 L a una altura de 1 m sobre el suelo, que sirvió como abastecedor y repartidor de caudal de agua a tratar para los 3 reactores (agua residual de la laguna facultativa de la PTAR Celendín): Su abastecimiento se logró mediante la utilización de una electrobomba centrifuga 1hp monofásico, 1"x1" - cpm158. El caudal de entrada al tanque de distribución fue de 533,3 L/s hasta llenar el tanque.

#### **3.3.2.2. Reactores con islas flotantes**

Se instaló 3 reactores de vidrio de 8 mm de espesor, de forma rectangular considerando un distanciamiento de 0.40 m entre cada tanque, con dimensiones específicas de: largo 1 m, ancho 0.40 m y 0.45 m de altura. Éstos tanques tuvieron una capacidad diseñada de 180 L, donde, la capacidad total fue de 120 L y los 60 L, colocados sobre una base de madera. Cada uno de los dos reactores estuvo equipado con una isla flotante.

**Figura 4**

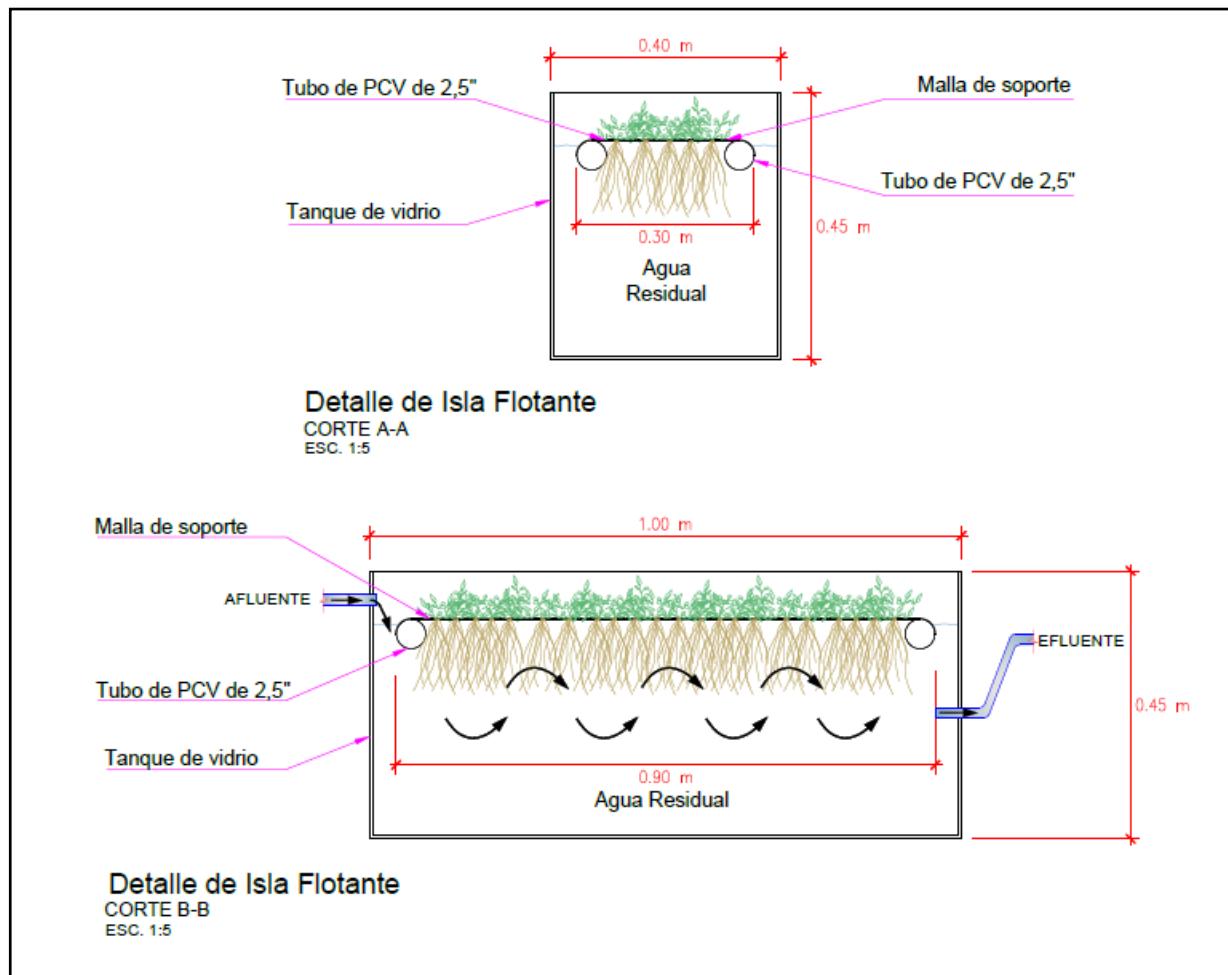
### *Plano del sistema de tratamiento a escala*



- **Islas flotantes.** Se construyó 2 islas flotantes, para las cuales se unieron 4 tubos de 90 cm con 4 codos de 2.5 pulgadas (uno en cada esquina). Una vez ensamblado la base, se procedió con la fijación de la malla de soporte de 30 cm x 90 cm, utilizando 12 correas de PVC para asegurar la malla al marco, tal como se muestra en la figura 5.

**Figura 5**

*Corte transversal y longitudinal de las islas flotantes*

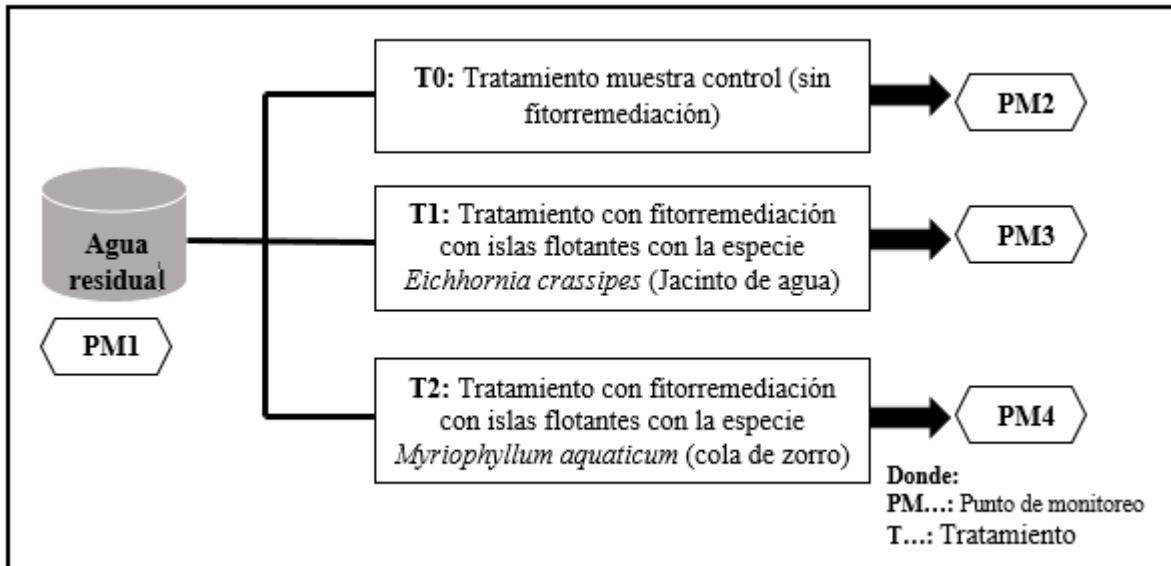


- **Acondicionamiento de material vegetal de islas flotantes.** Para lograr el proceso de fitorremediación, en las dos islas flotantes se utilizó dos especies de plantas como es Jacinto de agua (*E. crassipes*) y la cola de zorro (*M. aquaticum*), una especie en cada isla. Además, la identificación en campo fue realizada a base de las investigaciones realizadas anteriormente a esta

investigación. En cada isla flotante se distribuyó 2 kg de sustrato (compuesto de fibra de coco, aserrín y rizoma) lo que permitió que las plantas se desarrollen sin inconvenientes. Las especies a emplear se recolectaron del campo y se mantuvieron en contenedores plásticos, con su mismo sustrato, manteniendo la humedad hasta tener una altura de 5 a 10 cm. Para ser trasladadas a las islas flotantes, el sustrato se removió utilizando agua y se sembraron en la matriz a raíz desnuda.

### **3.3.3. Puesta en operación del proyecto**

- Se abasteció el tanque de distribución con agua residual de la laguna facultativa distribuyéndose el agua residual a los 3 reactores con caudales constantes e iguales (40L/d).
- El tiempo de retención hidráulica fue de 3 días.
- Se incorporó la biomasa a los tratamientos: en el T0 no tuvo ninguna especie, en T1 se seleccionó las mejores 16 plantas de la especie *E. crassipes*, y para el T2 se seleccionaron 38 plantas de la especie *M. aquaticum*, teniendo en cuenta la similitud de la biomasa.
- Después de un mes de puesta en marcha el proyecto las especies seleccionadas se adecuaron a las nuevas condiciones de su medio, evidenciando el crecimiento de las raíces y tallos de las especies.
- Se realizaron los análisis de agua residual de los parámetros determinados, según los puntos de monitoreo como se muestra en la figura 6 (afluente y efluente del T0, T1, T2), los cuales se enviaron a analizar al Laboratorio Regional del Agua.
- Los resultados de los monitoreos emitidos por el laboratorio fueron procesados y analizados según corresponden.

**Figura 6***Esquema de puntos de monitoreo*

### 3.3.4. Evaluaciones realizadas

- El monitoreo de los parámetros de campo como el oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), temperatura ( $T^\circ$ ), caudal (Q), tiempo de retención hidráulica (TRH), se realizaron 2 veces por semana. Los parámetros de laboratorio nitratos y fosfatos se analizaron en el Laboratorio Regional del Agua, una vez por semana durante 2 meses, realizando un total de 8 monitoreos.

**Tabla 4***Monitoreos realizados*

Parámetro	Unidad de medida	Frecuencia	Total de Repeticiones
Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )	mg/L	1/semana	8
Fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	mg/L	1/semana	8
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	2/semana	16
Potencial de hidrógeno (pH)	Und. pH	2/semana	16
Temperatura (T°)	°C	2/semana	16
Caudal (Q)	L	2/semana	16
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	d	2/semana	16

**3.3.4.1. Métodos de recopilación de información**

Se llevó a cabo el registro de todos los datos emitidos por el Laboratorio Regional del Agua de los parámetros solicitados, de acuerdo al método de ensayo que determinó dicha entidad tal como se muestra a continuación en la tabla 5.

**Tabla 5***Método de análisis de los parámetros nitratos y fosfatos*

Nº	Parámetro	Método de análisis
1	Nitratos	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
2	Fosfatos	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
3	Oxígeno Disuelto	Multiparámetro EXTECH para OD, pH, T°
4	Temperatura	Multiparámetro EXTECH para OD, pH, T°
5	Potencial de hidrógeno	Multiparámetro EXTECH para OD, pH, T°
6	Caudal	Probeta graduada
7	Tiempo de retención hidráulica	Fórmula matemática

**3.3.5. Determinación de velocidad de reacción de remoción de nitratos y fosfatos**

- Se tabuló los datos del tiempo, las concentraciones iniciales ( $q_e$ ), finales ( $q_t$ ) de los nitratos y fosfatos de las 8 repeticiones de cada tratamiento. Además, se calculó  $\ln(q_e - q_t)$  para determinar la constante de velocidad de reacción de remoción  $k_1$

mediante la cinética de pseudo primer grado y  $1/q_t$  para determinar la constante  $k_2$ , mediante la cinética de pseudo segundo grado, donde el nuevo  $q_t$ , es igual a  $(q_e - q_t)$ .

- El tiempo en el cual se tomaron las muestras se convirtió en minutos (min).
- Se realizó la gráfica lineal  $\ln(q_e - q_t)$  vs  $t$  para la cinética de pseudo primer grado, donde el valor de  $k_1$  se obtiene a partir de la pendiente de la gráfica.
- Se realizó la gráfica lineal  $1/q_t$  vs  $t$  para la cinética de pseudo segundo grado, donde el valor de  $k_2$  se obtiene a partir de la pendiente de la gráfica.
- Se determina la correlación de los datos  $R^2$  de ambas gráficas, comparando cual se acerca más a 1, sugiriendo que el modelo describe adecuadamente el comportamiento observado.
- Tabulamos los nuevos resultados obtenidos y comparamos, seleccionando los valores aceptables según  $R^2$ .

### **3.3.6. Determinación de porcentaje de incremento de las especies vegetales**

- Se contabilizó el volumen de número de plantas al inicio y al término del proyecto.
- Para determinar el porcentaje de incrementos de las especies en función a la fórmula descrita en el ítem 2.2.5.6.

### **3.3.7. Tratamiento y análisis de datos**

Para determinar el porcentaje de remoción de nutrientes mediante fitorremediación con islas flotantes con las especies Jacinto de agua (*E. crassipes*) y la cola de zorro (*M. aquaticum*), se analizó el porcentaje de remoción de nitratos y fosfatos, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Remoción (\%)} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Dónde:

$R (\%)$ : Porcentaje de remoción

$C_i$ : Medida inicial de la concentración de nitratos y fosfatos (afluente).

*Cf:* Medida final de la concentración de nitratos y fosfatos (efluente).

### **Análisis estadístico de datos**

Todos los datos se analizaron estadísticamente con el análisis de varianza, con el modelo estadístico del diseño completamente al azar (DCA), permitiendo una estimación imparcial de los efectos del tratamiento y la evaluación de las diferencias del tratamiento a través de pruebas de significación basadas en mediciones del error experimental

El modelo aditivo lineal de este diseño es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

i = 1, 2, ..., t;

t = número de tratamientos

j = 1, 2, ..., r;

r = número de repeticiones por tratamiento

**Donde:**

$\mu$  = es el efecto medio

$\tau_i$  = es el efecto de i – ésmo tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental

### **Tabla 6**

*Esquema del diseño completamente al azar (DCA) para igual número de muestras por tratamiento*

<b>Repeticiones</b>		<b>Tratamiento</b>			<b>Gran total</b>
		1	2	...	T
1		$Y_{11}$	$Y_{21}$		$\dots Y_{t1}$
2		$Y_{21}$	$Y_{22}$		$\dots Y_{t2}$
.			.		$\dots Y_{tr}$
R		$Y_{1r}$	$Y_{2r}$		
<b>Total tratamiento</b>		$Y_1$	$Y_2$		$\dots Y_t$
<b>Media</b>		$Y_1$	$Y_2$		$\dots Y_t$
<b>Tamaño de muestra</b>		nn	...	n	N

## Análisis de Varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F tabulado	P - valor
Tratamiento	t - 1	$\frac{\sum Y_1^2}{r} - TC$	$\frac{SCt}{t - 1}$	$\frac{CMt}{CME}$	Este valor se obtiene a través de tablas, utilizando grados de libertad, el error, así como el nivel de confianza a utilizar	*
Error	t(r - 1)	$SCT - SCt$	$\frac{SCE}{t(r - 1)}$			**
Total	rt - 1	$\sum Y_{ij}^2 - TC$				

\*Diferencia estadística significativa

\*\*Diferencia estadística altamente significativa

### Dónde:

t = número de tratamientos

r = número de repeticiones

SCt = suma de cuadrado de tratamientos

SCT = suma de cuadrados totales

SCE = suma de cuadrado del error

CMt = cuadrado medio del tratamiento

CME = cuadrado medio del error

### Coeficiente de variabilidad

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

Donde:

X = promedio de repeticiones

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Concentración de Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

En la tabla 7 se muestra los valores de las concentraciones de nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) de las evaluaciones que se realizó en cada punto de monitoreo (PM1, PM2, PM3 y PM4) con 8 repeticiones. El punto PM1 viene a ser el afluente para los 3 reactores instaladas en el sistema de tratamiento, con una concentración promedio de 0,765 mg/L.

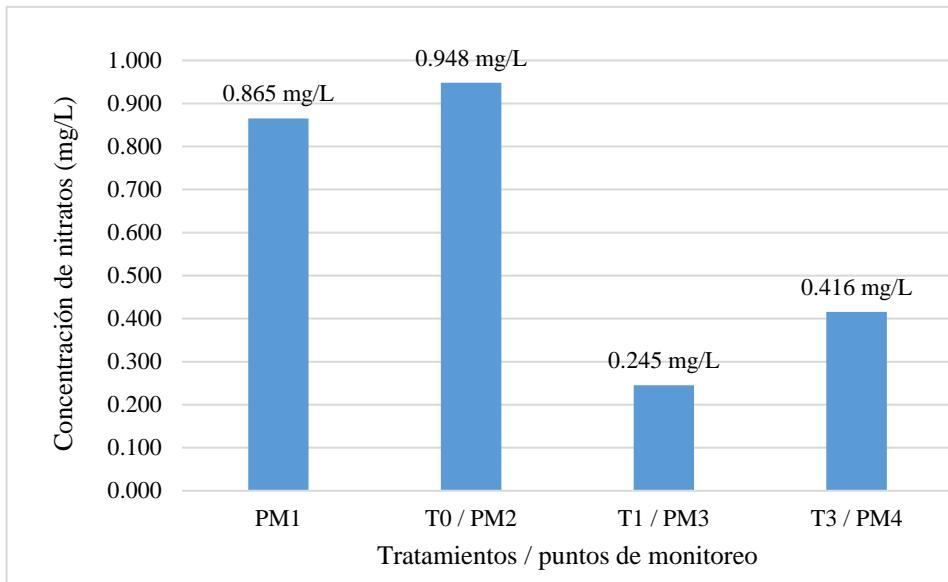
**Tabla 7**

*Concentración de nitratos*

REPETICIONES \ TRATAMIENTO				
	PM1	T0	T1	T2
R1	0.848	0.991	0.349	0.453
R2	0.953	0.965	0.324	0.333
R3	1.064	1.261	0.351	0.353
R4	0.944	0.899	0.309	0.423
R5	0.734	0.849	0.218	0.358
R6	0.816	0.885	0.109	0.305
R7	0.721	0.817	0.105	0.464
R8	0.842	0.918	0.198	0.637
PROMEDIO	<b>0.865</b>	<b>0.948</b>	<b>0.245</b>	<b>0.416</b>

**Figura 7**

*Promedios de las concentraciones de nitratos*



En la figura 7, se observa los valores promedio de las concentraciones de nitratos, donde el valor de la concentración más elevada se encuentra en el efluente del tanque de tratamiento muestra control (T0) con valor promedio de 0,948 mg/L, evidenciando que no existe remoción. Según Cárdenas et al. (2005), la concentración de nitratos en una laguna aerobia (con poca profundidad, lo que permite que la luz solar penetre hasta el fondo y se produzca la fotosíntesis) aumenta a medida que aumenta el pH en el agua, el afluente del reactor que trabajó como laguna aerobia el pH promedio fue de 7,69 aumentando a 8,84, mejorando y haciendo favorable las condiciones para el desarrollo de bacterias nitrificantes, aumentando así la concentración del nitrato. (p. 104).

Luego de aplicar el tratamiento de islas flotantes con la especie *Eichhornia crassipes* (PM3) existe una reducción significativa de nitratos a 0, 245 mg/L debido a su sistema radicular de la planta libera oxígeno molecular ( $O_2$ ) a través de estructuras especializadas llamadas aerénquimas, lo que permite la oxidación de amonio ( $NH_4^+$ ) a nitratos ( $NO_3^-$ ) en la rizosfera, promoviendo la actividad de bacterias nitrificantes convirtiendo el nitrato en gas nitrógeno molecular ( $N_2$ ). (Araque et al., 2018, p. 38). Además, Celis et al. (2005) afirman a nivel celular, la planta cuenta con mecanismos

fisiológicos y bioquímicos para la absorción y acumulación de nutrientes y contaminantes.

En el tratamiento con la especie *Myriophyllum aquaticum* (PM4) se obtiene un valor promedio de 0,416 mg/L. Campana, (2023) describe como las raíces de *M. aquaticum* captan nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) desde los sedimentos mediante transportadores específicos como NRT (transportadores de nitrato) transportándolo al sistema vascular de la planta y reducido a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) por la enzima nitrato reductasa en el citoplasma. Posteriormente, en los cloroplastos, el nitrito se convierte en amonio mediante el nitrito reductasa. Este amonio es incorporado a aminoácidos, como glutamina y glutamato, a través de la acción de las enzimas glutamina sintetasa y glutamato sintasa (GS-GOGAT) (p.21), reduciendo así la concentración de nitratos en el agua residual, sin embargo, es menor a la obtenida en el punto PM3 con el tratamiento con la especie *Eichhornia crassipes*.

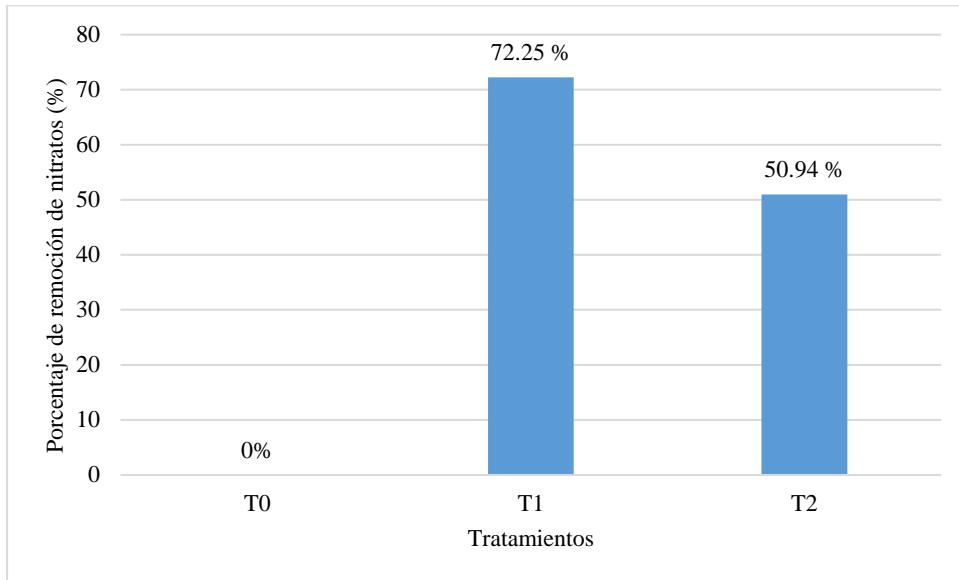
#### **Tabla 8**

##### *Porcentajes de remoción de nitratos*

<b>REPETICIONES</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>T0 %</b>	<b>T1 %</b>	<b>T2 %</b>
R1		0	58.84	46.58
R2		0	66.00	65.06
R3		0	67.01	66.82
R4		0	67.27	55.19
R5		0	70.30	51.23
R6		0	86.64	62.62
R7		0	85.43	35.64
R8		0	76.48	24.35
<b>PROMEDIO</b>		<b>0</b>	<b>72.25</b>	<b>50.94</b>

## Figura 8

*Promedios de porcentaje de remoción de nitratos*



En la figura 8 se muestra los porcentajes de remoción de nitratos, donde existe mayor remoción en T1: tratamiento con fitorremediación con islas flotantes con la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) con un porcentaje de remoción de 72.25 %, seguido del T2: tratamiento con fitorremediación con islas flotantes con la especie *Myriophyllum aquaticum* (cola de zorro) con 50.94 %. En el T0: Muestra control se puede observar que no hay remoción teniendo un 0%, las concentraciones aumentaron y no disminuyeron debido a que no tenía ningún tratamiento y funcionaba como una laguna aerobia. Según Lagoons (2021) a medida que el agua avanza dentro de la laguna aerobia, el proceso de nitrificación se lleva a cabo, aumentando las concentraciones de nitratos en el efluente.

Al comparar los dos tratamientos podemos determinar que el tratamiento de aguas residuales con islas flotantes con la especie *Eichhornia crassipes* tiene mayor eficiencia en la remoción de nitratos que el tratamiento con la especie *Myriophyllum aquaticum*.

**Tabla 9**

*Análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de nitratos*

Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	F calculado	p-valor	F tabulado	Significancia
Tratamientos	2.79894	3	0.932981	68.46	.0000	2.95	*
Error	0.38157	28	0.013627				
Total	3.18051	31					

(\*) Hay significancia

**CV= 18,87 %**

En la Tabla 9 se observa los resultados del análisis de varianza para la concentración de nitratos, donde se observa que el F calculado es mayor que el F tabulado, así como también el p-valor es menor al grado de confiabilidad con la que se trabajó que es 0.05, concluyendo así que existe significancia, es decir que si existe suficiente evidencia estadística al nivel del 95% de confiabilidad de que por lo menos uno de los tratamientos presenta una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos aplicados al tratamiento de aguas residuales.

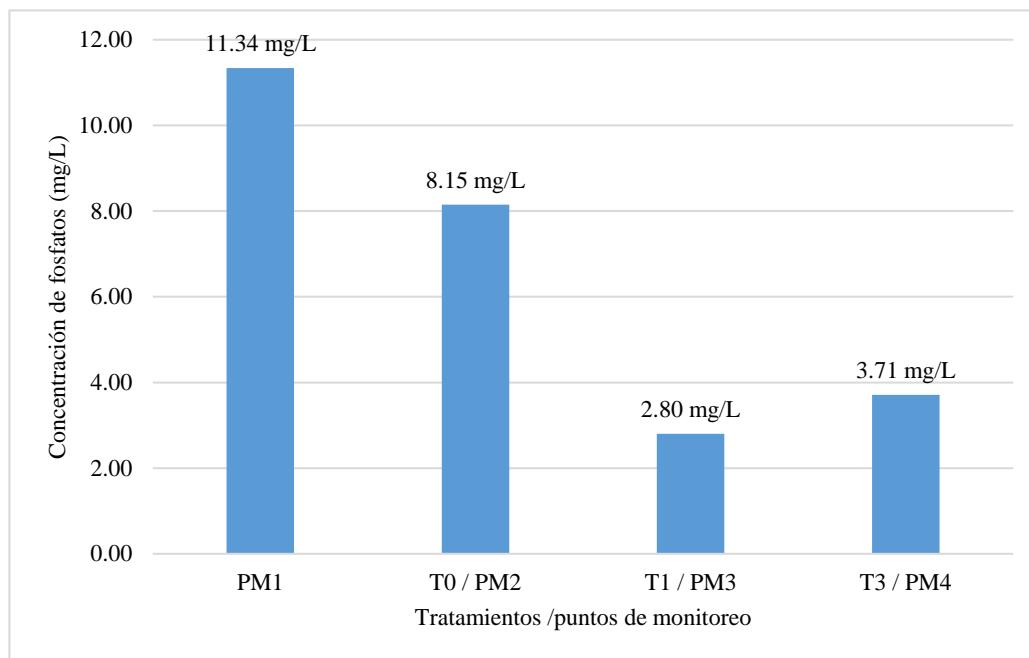
El coeficiente de variabilidad es 18, 87%, menor a 30%, indicando que existe menor variabilidad de los resultados en cada punto de muestreo, y es aceptable para este tipo de experimentos a campo abierto.

#### **4.2. Concentración de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ )**

La medición de la concentración de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) se realizó en cada punto de monitoreo (PM1, PM2, PM3 y PM4) una vez por semana llegando a realizar 8 repeticiones, los cuales se detallan a continuación en la tabla 9:

**Tabla 10***Concentraciones de fosfatos*

REPETICIONES \ TRATAMIENTO				
	T0	T1	T2	
PM1	PM2	PM3	PM4	
R1	10.568	7.824	3.382	3.127
R2	11.289	8.941	4.102	4.460
R3	11.451	7.648	1.592	1.593
R4	10.388	6.799	1.881	2.219
R5	12.750	9.246	3.646	5.810
R6	12.294	8.119	2.325	4.921
R7	11.480	8.776	2.813	3.109
R8	10.483	7.854	2.682	4.461
<b>PROMEDIO</b>	<b>11.338</b>	<b>8.151</b>	<b>2.803</b>	<b>3.713</b>

**Figura 9***Promedios de concentración de fosfatos*

En la figura 9 se muestra que el valor de la concentración más elevada se encuentra en el PM2 en el tanque de distribución con valor promedio de 11,34 mg/L. En la cámara de reacción con el T0, la cual funcionó como laguna aerobia hubo una disminución de concentración de fosfatos, sin aplicar ningún tratamiento a 8,15 mg/L.

Teixeira et al., (2013), explican que la disminución de fosfatos en una laguna aerobia ocurre debido a una combinación de procesos biológicos, químicos y físicos.

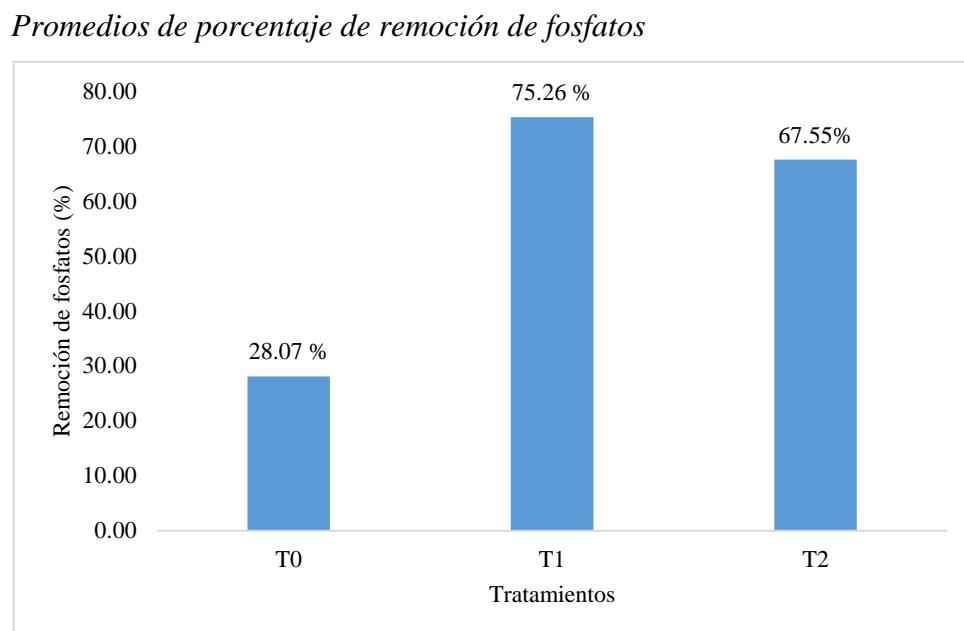
Principalmente, los microorganismos y algas asimilan los fosfatos como nutrientes esenciales para su crecimiento, almacenándolos como polifosfatos dentro de sus células. Además, los fosfatos pueden precipitar químicamente al reaccionar con cationes como calcio, hierro o aluminio, formando compuestos insolubles que se sedimentan (p. 178).

El valor promedio más bajo de concentración de fosfatos se obtiene en el PM3 de con la aplicación del tratamiento de islas flotantes con la especie *Eichhornia crassipes* (T1) con un valor de 2,80 mg/L, la cual absorbe ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) del agua a través de transportadores específicos en la membrana plasmática de las células radiculares. Este fósforo se almacena como fosfato inorgánico y se utiliza en la síntesis de moléculas energéticas como el ATP; además, las raíces tienen una superficie fibrosa con una alta capacidad para atrapar partículas suspendidas en el agua. Estas partículas pueden contener fosfatos adsorbidos o asociados a sólidos (p.18).

El tratamiento T2 con islas flotantes con la especie *Myriophyllum aquaticum* tiene un valor promedio de concentración de fosfatos de 3,71 mg/L, evidenciando la disminución de concentración en referencia al PM1. Campana (2023), también describe que el fósforo absorbido se capta principalmente en forma de ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) mediante transportadores específicos de fosfato presentes en las membranas celulares de las raíces. Este fosfato es esencial para la síntesis de nucleótidos, fosfolípidos y moléculas energéticas como el ATP. Además, en ambientes con baja disponibilidad de fósforo, *M. aquaticum* puede liberar exudados radiculares, como ácidos orgánicos (e.g., ácido cítrico o malato), que movilizan fósforo de los sedimentos mediante la solubilización de fosfatos ligados a minerales (p.22).

**Tabla 11***Porcentajes de remoción de fosfatos*

REPETICIONES	TRATAMIENTO		
	T0 %	T1 %	T2 %
R1	25.97	68.00	70.41
R2	20.80	63.66	60.49
R3	33.21	86.10	86.09
R4	34.55	81.89	78.64
R5	27.48	71.40	54.43
R6	33.96	81.09	59.97
R7	23.55	75.50	72.91
R8	25.08	74.42	57.44
<b>PROMEDIO</b>	<b>28.07</b>	<b>75.26</b>	<b>67.55</b>

**Figura 10**

En la figura 10 observamos los promedios de porcentaje de remoción de fosfatos calculados en la tabla 11. En los 3 tratamientos (T0, T1 y T2) encontramos remoción de fosfatos siendo el tratamiento T1 con islas flotantes con especies *Eichhornia crassipes* muestra el mayor porcentaje de remoción de 75,26 %, seguido del tratamiento T2 con islas flotantes con la especie *Myriophyllum aquaticum* con una remoción de 67.55 % y el

T0 muestra control, donde la cámara de reacción actuó como laguna aerobia obtuvo una remoción fosfatos de 28,07%.

**Tabla 12**

*Análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de fosfatos*

Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	F calculado	p-valor	F tabulado	Significancia
Tratamientos	380.55446	3	126,851488	120.97	.0000	2.95	*
Error	29.36222	28	1.048651				
Total	409.91668	31					

(\*) Hay significancia

CV= 15,75 %

En la Tabla 12 se observa los resultados del análisis de varianza para la concentración de fosfatos, donde se observa que el F calculado es mayor que el F tabulado, así como también el p-valor es menor al grado de confiabilidad con la que se trabajó que es 0.05, concluyendo así que existe significancia, es decir que si existe suficiente evidencia estadística al nivel del 95% de confiabilidad de que por lo menos uno de los tratamientos presenta una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos aplicados al tratamiento de aguas residuales.

El coeficiente de variabilidad es 15,75%, indicando la menor variabilidad de los resultados de la concentración de fosfatos en cada punto de muestreo, y es aceptable para este tipo de experimentos a campo abierto, ya que es menor al 30%.

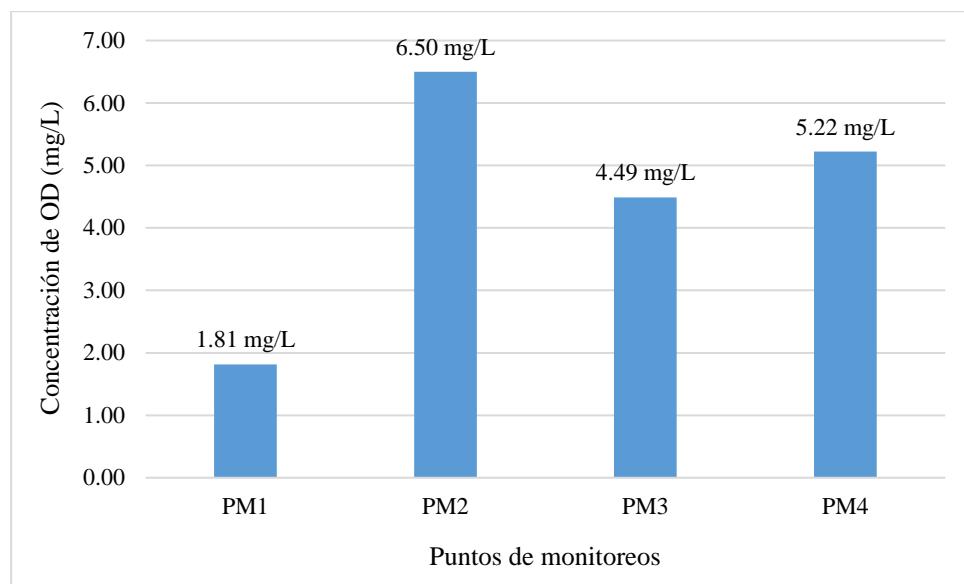
#### **4.3. Parámetros de control**

##### **4.3.1. Oxígeno disuelto (OD)**

La medición del oxígeno disuelto se realizó *insitu* en los 4 puntos de monitoreo (PM1, PM2, PM3), 2 veces por semana cumpliendo un total de 16 monitoreos, obteniendo los siguientes resultados tal como se muestra en la tabla 13:

**Tabla 13***Concentraciones del oxígeno disuelto*

<b>REPETICIONES</b>	<b>PM1</b>	<b>PM2</b>	<b>PM3</b>	<b>PM4</b>
<b>R1</b>	2,87	8,56	6,38	7,12
<b>R2</b>	1,42	5,81	4,39	5,19
<b>R3</b>	2,93	7,99	6,88	9,55
<b>R4</b>	4,59	7,66	6,89	5,69
<b>R5</b>	0,52	6,67	5,03	5,8
<b>R6</b>	0,49	7,05	3,87	5,1
<b>R7</b>	0,71	6,07	2,53	2,61
<b>R8</b>	1,01	5,56	3,79	4,8
<b>R9</b>	2,01	7,11	5,12	3,66
<b>R10</b>	1,82	6,69	3,62	4,38
<b>R11</b>	1,02	4,96	3,22	2,54
<b>R12</b>	2,74	3,66	1,22	1,83
<b>R13</b>	1,18	6,59	5,12	9,39
<b>R14</b>	1,03	9,14	5,24	6,46
<b>R15</b>	2,21	6,83	5,56	6,21
<b>R16</b>	2,45	3,64	2,98	3,23
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,81</b>	<b>6,50</b>	<b>4,49</b>	<b>5,22</b>

**Figura 11***Promedios de los valores de oxígeno disuelto*

En la figura 11, podemos observar los valores promedio del oxígeno disuelto, las muestras tomadas en el punto PM1 presenta un valor de 1,81 mg/L, el valor más bajo. El valor más alto se puede observar en el punto PM2 donde no se aplicó ningún tratamiento, éste aumento del oxígeno disuelto (OD) se debe principalmente a la actividad fotosintética de las algas presentes en la capa superficial de la laguna aerobia. Durante el día, las algas realizan la fotosíntesis, utilizando la luz solar y liberando oxígeno como subproducto, lo que incrementa los niveles de oxígeno disuelto en el agua. Este proceso es más pronunciado en la zona superior, donde hay suficiente luz y nutrientes para apoyar el crecimiento algal (Kefan, 2020, p. 6).

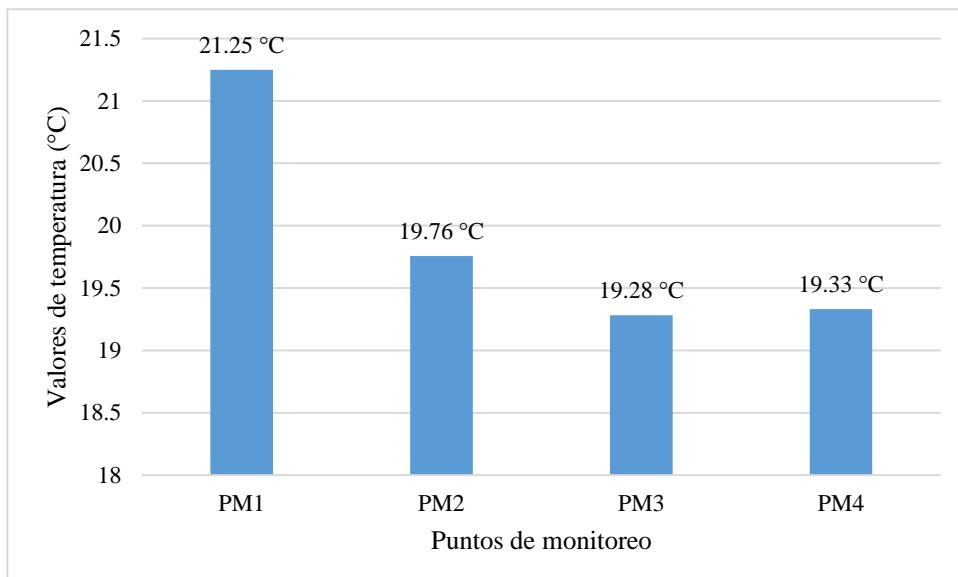
En el PM3 podemos observar que el promedio del oxígeno disuelto es 4,49 mg/L y en la PM4 es 5,22 mg/L, en estos puntos se aplicó los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum* respectivamente. Estas especies acuáticas mejoran la oxigenación del agua a través de la fotosíntesis. Durante el día, las hojas captan la luz solar y utilizan dióxido de carbono, liberando oxígeno como subproducto de la fotosíntesis, lo que incrementa el oxígeno disuelto en el agua circundante. Además, el movimiento del agua alrededor de las raíces flotantes mejora la transferencia de oxígeno desde la atmósfera hacia el agua, ayudando a mantener niveles más altos de oxígeno disuelto (Rezania, 2016, p. 680).

#### **4.3.2. Temperatura (T)**

La medición de la temperatura se realizó *insitu* en los 4 puntos de monitoreo (PM1, PM2, PM3), 2 veces por semana cumpliendo un total de 16 monitoreos, obteniendo los siguientes resultados tal como se muestra en la tabla 14:

**Tabla 14***Valores de la temperatura*

REPETICIONES	PM1	PM2	PM3	PM4
<b>R1</b>	21,50	20,50	19,90	19,70
<b>R2</b>	21,10	20,10	19,80	19,90
<b>R3</b>	22,10	20,90	20,60	20,80
<b>R4</b>	23,30	21,50	21,00	20,80
<b>R5</b>	21,10	19,90	18,90	19,10
<b>R6</b>	21,40	20,00	19,90	20,60
<b>R7</b>	20,80	18,80	18,50	18,50
<b>R8</b>	19,30	17,20	16,90	16,70
<b>R9</b>	20,80	19,60	19,50	19,80
<b>R10</b>	22,40	21,70	20,40	20,70
<b>R11</b>	20,90	18,20	17,90	17,70
<b>R12</b>	20,70	19,40	19,10	18,90
<b>R13</b>	20,90	19,40	18,90	19,00
<b>R14</b>	21,30	19,60	19,10	19,10
<b>R15</b>	21,60	19,50	19,20	18,90
<b>R16</b>	20,80	19,80	18,90	19,10
PROMEDIO	<b>21,25</b>	<b>19,76</b>	<b>19,28</b>	<b>19,33</b>

**Figura 12***Valores promedio de temperatura*

Como se puede observar en la figura 12, en el PM1 la temperatura tiene el mayor promedio de 21, 25 °C, el punto PM2 el valor promedio es 19,76°C, los

valores en los puntos PM3 y PM4 se observa una ligeramente diferencia con valores 19,28 °C y 19,33 °C respectivamente.

Acdas (2023), refiere que la temperatura óptima del agua residual para el crecimiento y la supervivencia de la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) en el tratamiento de aguas residuales varía entre 6 °C y 30 °C. Estas temperaturas permiten que la planta mantenga un crecimiento rápido y eficiente para la remoción de nutrientes, como nitratos y fosfatos, en condiciones favorables (p. 2261).

Por otro lado, Nuoxi (2024) ha observado que la especie *Myriophyllum aquaticum* crece mejor en temperaturas de entre 15 °C y 30 °C. Sin embargo, su crecimiento se ve limitado si las temperaturas caen por debajo de 10 °C, lo que podría afectar su eficacia en el proceso de fitorremediación (p. 162)

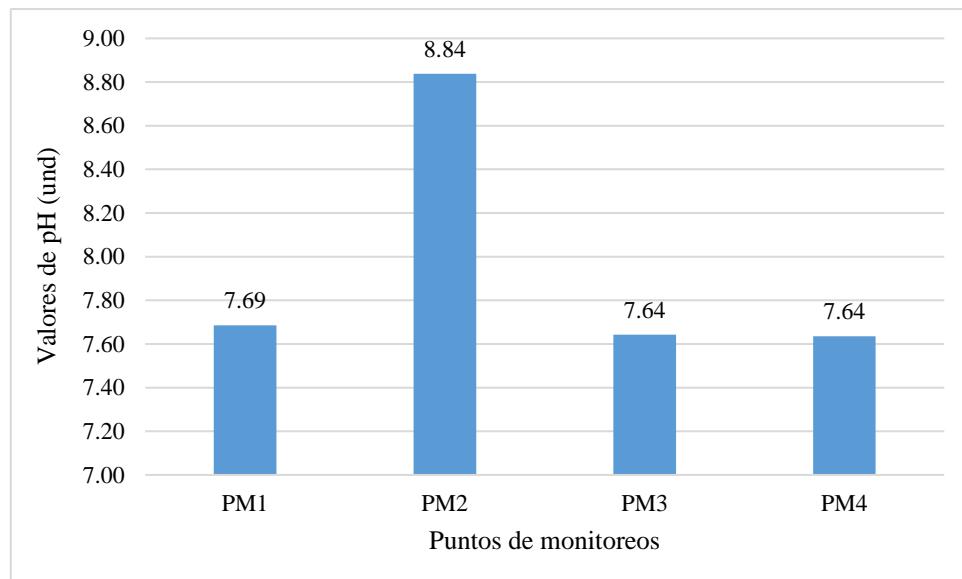
En ambos tratamientos se cumple una temperatura adecuada para su crecimiento y puedan cumplir la función de fitorremediación.

#### **4.3.3. Potencial de hidrógeno (pH)**

Los valores obtenidos del monitoreo de pH se detallan en la tabla 15, dichos muestreos se realizaron *insitu* en los 4 puntos de monitoreo (PM1, PM2, PM3), 2 veces por semana cumpliendo un total de 16 monitoreos.

**Tabla 15***Valores de pH*

<b>REPETICIONES</b>	<b>PM1</b>	<b>PM2</b>	<b>PM3</b>	<b>PM4</b>
R1	7,65	9,01	7,64	7,71
R2	7,43	9,12	7,72	7,69
R3	7,48	9,08	7,57	7,7
R4	8,25	9,11	8,57	7,78
R5	7,66	8,78	7,84	7,83
R6	7,61	9,26	7,64	7,48
R7	7,68	8,72	7,48	7,38
R8	7,66	8,44	7,69	7,76
R9	7,49	8,79	7,64	7,58
R10	7,67	8,6	7,54	7,55
R11	7,57	8,92	7,48	7,86
R12	7,84	8,19	7,27	7,38
R13	7,77	8,93	7,48	7,64
R14	7,69	8,95	7,95	7,64
R15	7,87	8,82	7,45	7,57
R16	7,64	8,68	7,32	7,62
<b>PROMEDIO</b>	<b>7,69</b>	<b>8,84</b>	<b>7,64</b>	<b>7,64</b>

**Figura 13***Valores promedio de pH*

En la figura 9 se puede observar que el valor máximo de pH está en el punto PM2, donde la cámara de reacción trabajó como una laguna aerobia y no se aplicó ningún tratamiento con un valor de 8.84. Haro (2018), hace referencia a que las algas consumen anhídrido carbónico en la fotosíntesis, lo que desplaza el equilibrio de los carbonatos y da lugar a un aumento, además, el pH de las lagunas aerobias presenta variaciones durante el día, cuanto mayor es la intensidad luminosa, los valores del pH son más altos. Sin embargo, en el punto PM3 y PM4 se obtuvieron promedios iguales, siendo los valores menores que es 7,64, debido a que en los 2 reactores se aplicaron los T1 y T2 respectivamente y el agua residual no estaba expuesta directamente a la intensidad luminosa.

Monroy (2024), describe que el rango de pH óptimo para que la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) sobreviva y funcione eficientemente en el tratamiento de aguas residuales es entre 6.0 y 9.0. Esta planta es capaz de tolerar variaciones leves fuera de este rango, pero su crecimiento y capacidad de remediación se ven comprometidos fuera de estos valores (p. 43568). Mientras que, en el caso de *Myriophyllum aquaticum* (cola de zorro), también se desarrolla mejor en un rango de pH entre 6.5 y 8.5, lo que le permite remover nutrientes como nitratos y fosfatos (Nuoxi, 2024, p. 158). Los valores del pH en los puntos de monitoreo PM3 y PM4 están dentro del rango sugerido para su adecuado crecimiento y funcionamiento en la fitorremediación.

#### **4.3.4. Caudal (*Q*) y tiempo de retención hidráulica (*TRH*)**

El caudal diario con el que se trabajó es de 40L/d que se medió 2 veces por semana, realizando un total de 16 monitoreos, trabajando así con un tiempo de retención hidráulica de 3 días para un volumen de 120 L por cada tratamiento.

#### 4.4. Velocidad de reacción de remoción de nitratos y fosfatos.

La velocidad de reacción en la remoción de nitratos y fosfatos se evaluó aplicando la ecuación cinética de pseudo primer y pseudo segundo orden. Los parámetros de estas ecuaciones se detallan en los anexos 1 al 6.

Los datos cinéticos se ajustan bien a la cinética de pseudo segundo orden, donde en todos los tratamientos  $R^2$  es mayor a 0,9 para nitratos y fosfatos, por lo tanto, para las constantes de velocidad de reacción se consideró a la constante  $k_2$ , detallando los valores a continuación en la tabla 16:

**Tabla 16**

*Valores de la constante de reacción de remoción k2 para pseudo segundo orden para nitratos y fosfatos*

Nutrientes	Parámetro	Pseudo segundo orden		
		T0	T1	T2
Nitratos	$K_2 (\text{min}^{-1})$	-	$10^{-5}$	$7*10^{-5}$
Fosfatos	$K_2 (\text{min}^{-1})$	$6*10^{-6}$	$8*10^{-7}$	$10^{-6}$

Las constantes de velocidad obtenidas son muy bajas a comparación de las constantes obtenidas por Yifru et al. (2019), donde la constante  $K_2$  para nitratos es 0,412 y para fosfatos 0,078  $\text{min}^{-1}$ . Por tanto, con la ejecución del proyecto no se llegó a los valores citados anteriormente.

#### 4.5. Porcentaje de incremento de especies vegetales

Para determinar el porcentaje de incremento de especies *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum* se utilizó la fórmula descrita en el inciso 2.2.5.6., a continuación, en la tabla 17 obtendrá los valores de dicho procedimiento.

**Tabla 17:**

*Porcentaje de incremento de especies*

Especies	Cantidad inicial	Cantidad final	% de incremento de especies
<i>Eichhornia crassipes</i>	16	27	40,74
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	38	208	81,73

En la tabla 17 podemos observar que en el tratamiento T1 con la especie *Eichhornia crassipes* incrementó un 40,74% en la cantidad de especies, además, como se puede observar en el anexo 8 las especies han aumentado también en diámetro. Esto es posible debido a su alta tolerancia a los nutrientes, las aguas residuales suelen ser ricas en nutrientes como nitrógeno y fósforo (derivados de fertilizantes, detergentes o materia orgánica) y crece rápidamente porque utiliza estos nutrientes como fuentes esenciales para su metabolismo y crecimiento (Rodríguez et al., 2022, p. 4). Por otro lado, en el tratamiento T2 con la especie *Myriophyllum aquaticum* se ha obtenido un incremento de 81,73%, un porcentaje mayor al obtenido en el tratamiento T1. Pocochoanca (2017), resalta que *Myriophyllum aquaticum* crece más en aguas residuales que *Eichhornia crassipes* porque se adapta mejor a ambientes con alta contaminación y bajas concentraciones de oxígeno. Además, al ser una planta sumergida, aprovecha mejor los nutrientes disueltos en toda la columna de agua, tiene una reproducción más eficiente por fragmentación y tolera mejores contaminantes y condiciones adversas (p.51).

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- La eficiencia de remoción en nitratos varía entre 50.94 % y 72.25% para *M. aquaticum* y *E. crassipes* respectivamente y para fosfatos los valores varían entre 67.55% y 75.26% en los mismos tratamientos.
- La especie de mayor capacidad de absorción de nutrientes es la especie *E. crassipes* (Jacinto de agua), siendo la más eficiente que la especie *M. aquaticum* (cola de zorro).
- Los coeficientes de velocidad de reacción de remoción de nutrientes mediante la cinética de pseudo segundo orden ( $K_2$ ) son los siguientes: para el T1 se obtuvo el valor  $10^{-5}$  y  $8 \times 10^{-7} \text{ min}^{-1}$  para nitratos y fosfatos respectivamente y para el T2 se obtuvo los valores de  $7 \times 10^{-5} \text{ min}^{-1}$  para nitratos y  $10^{-6} \text{ min}^{-1}$  para fosfatos.

#### 5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda a futuros investigadores realizar fitorremediación con islas flotantes con la combinación de las especies estudiadas: *E. crassipes* (Jacinto de agua) y la especie *M. aquaticum* (cola de zorro), para comparar en que tratamiento se obtendría mayor remoción, ya sea por si solas o combinadas. Verificar antes las especies por un especialista biólogo, quien confirme la correspondencia de las especies con sus características morfológicas descritas en la literatura botánica.

## CAPITULO VI

### REFERENCIAS

- Aqdas, A; Hashmi, I. (2023). Función del jacinto de agua (*E. crassipes*) en humedales integrados construidos: una revisión sobre su potencial fitorremediador. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 20: 2259–2266.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-022-04181-0>
- AQUANEA. (2022). *Islas flotantes vegetadas. Hábitat, paisaje y mejora de la calidad del agua*. <https://aquanea.com/wp-content/uploads/2022/03/dossier-islas-flotantes-vegetadas-aquanea-es.pdf>.
- Araque Niño, I.D; Britto Aponte, M.C; Cuellar Rodríguez, L.A; Perico Granados, R.N. (2018). Fitorremediación en aguas residuales sin tratamiento previo. Caso: Tierra Negra, Boyacá. *Revista de Tecnología*, 17(1): 37-48.  
<https://revistas.unbosque.edu.co/index.php/RevTec/article/view/2950>.
- Atarés Huerta, L.M. (2019). *La constante cinética k y sus unidades*.  
<https://riunet.upv.es/handle/10251/120619>
- Bermeo Zapata, R.E; Tigse Masapanta, W.T. (2019). *Islas Flotantes Artificiales con achira (Canna indica), como alternativa para la remoción de Nitratos y Fosfatos de agua procedente del río Cutuchi*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional Universidad Técnica de Cotopaxi.  
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6593>.

Belzona Inc. (2010). *Tratamiento de aguas residuales* (1<sup>ra</sup> ed.).

[https://www.belzona.com/es/solution\\_maps/wastewater/money\\_map.pdf](https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf).

Bravo De la Cruz, A.A; Gutiérrez Macato, E.A. (2019). *Islas flotantes artificiales con achira (canna indica) y pasto guinea (panicum maximum), como alternativa para la remoción de nitratos, fosfatos y cromo de agua procedente del río Cutuchi*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional Universidad Técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6181/6/PC-000630.pdf>.

Bullón Rosas, J.J. (2016). *Calidad y caudal de aguas residuales en la planta de tratamiento de la ciudad de Jauja*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional Universidad Nacional del Centro del Perú.

<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4560/Bullon%20R%2c.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Callohuanca Pariapaza, M.A. *Uso de macrófitas flotantes en la remoción de nitrógeno, fósforo y sulfatos de las aguas residuales de puno*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional Universidad Nacional del Altiplano. [http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/13816/Callohuanca\\_Pariapaza\\_Manuel\\_Alfredo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/13816/Callohuanca_Pariapaza_Manuel_Alfredo.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Campana Chavez, J.A. (2023). *Análisis de la eficiencia de fitorremediación con la especie M. aquaticum en la concentración de cobre en aguas para riego del centro poblado de Huaranguillo - Sachaca, Arequipa – 2022*. [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio Universidad Continental.

[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13212/2/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Campana\\_Chavez\\_2023.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13212/2/IV_FIN_107_TE_Campana_Chavez_2023.pdf)

Campos Prieto, J.A; Liendo Pérez, D; García Magro, D; Biurrun Galarraga, I. (2019).

*Búsqueda y cartografía de M. aquaticum (Vell.) Verdc. en el río Zadorra y masas de*

*agua aledañas en el entorno de Vitoria-Gasteiz.*

[https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/2021\\_myriophyllum/es\\_def/adjuntos/Informe-Myriophyllum-aquaticum-Zadorra-2019\\_UPV-Vfinal.pdf.](https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/2021_myriophyllum/es_def/adjuntos/Informe-Myriophyllum-aquaticum-Zadorra-2019_UPV-Vfinal.pdf)

Cárdenas Calvachi, G.L; Sánchez Ortiz, I.A. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública.

*Revista Universidad y Salud, 15(1): 72 – 88.*

[http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v15n1/v15n1a07.pdf.](http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v15n1/v15n1a07.pdf)

Cárdenas, C; Jaeger; C; Villasmil, H; Perruolo, T; Yabroudi,S; López, F; Herrera, L; Castejón, O. (2005). Evaluation of the units that conform the wastewater treatment plant south Maracaibo. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*,28(2,): 97-109.

[https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0254-07702005000200001&lng=es&nrm=i&tlang=es](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0254-07702005000200001&lng=es&nrm=i&tlang=es)

Carmona Lu, M.A; Orellana Chacaltana, N.N. (2022). *Metadatos Influencia del sistema vetiver en la descontaminación de aguas residuales en la Laguna de Oxidación de Yaurilla, Los Aquijes, 2022.* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional Universidad Cesar Vallejo.

[https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88921.](https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88921)

Carvajal Pacheco, A.G; Lazo Bermúdez, E.M. (2017). *Uso de islas flotantes para la depuración de aguas residuales.* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Perú]. [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/41277/1/D-CD102666.pdf.](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/41277/1/D-CD102666.pdf)

Cascante Calderón, M; Villacís Altamirano, I. (2022). Prueba T de student para una investigación odontológica. *Artículo Contribución Didáctica Docente. Revista OACTIVA UC Cuenca, 7 (1): 49 – 54.*

[https://oactiva.ucacue.edu.ec/index.php/oactiva/article/view/562/712.](https://oactiva.ucacue.edu.ec/index.php/oactiva/article/view/562/712)

Castillo Rojas, E.W. (2017). *Eficiencia de Lemna sp y E. crassipes, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín.* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Cajamarca.

<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1735>.

Celis Hidalgo, J; Junod Montano, J; Sandoval Estrada, M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria, 14* (1): 17-25.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29900103>

CONABIO. (2015). *Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México. M. aquaticum (Vell.) Verdc., 1973.*

[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](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)

Correal Salgado, S.D. (2022). Impacto ambiental de la eutrofización. *Revista Neuronum, 8*(4):45 – 48. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9690590>

Chupayo Rivera, EJ. (2017). *Influencia del tiempo de retención hidráulica en la planta de tratamiento de la provincia de Jauja.* [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio institucional Universidad Peruana Los Andes.

[https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/767/T037\\_41779723\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/767/T037_41779723_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Cruz Ascencio, J.A. (2019). *Evaluación de la polución del ecosistema en el Golfo de Puno 2018.* [Tesis de maestría, Universidad José Carlos Mariátegui]. Repositorio institucional Universidad José Carlos Mariátegui.

[https://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/782/Jaime\\_tesis\\_grado-academico\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/782/Jaime_tesis_grado-academico_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

- Del Pezo Loaiza, N.R. (2019). *Propuesta de fitorremediación de coliformes totales y Escherichia ioli mediante la implementación de islas flotantes en aguas negras.* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional de la Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39596>.
- Delgado Portilla, E.R. (2022). *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 (M. aquaticum).* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4952>.
- Delgadillo López, A.E; González Ramírez, CA; Prieto García, F; Villagómez Ibarra, JR; Acevedo Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14: 597- 612. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>.
- Di Benedetto, A; TOGNETTI, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA*, 42(3): 258 – 281. <http://www.scielo.org.ar/pdf/ria/v42n3/v42n3a07.pdf>.
- EPA. (2022). *Contaminación por nutrientes.* <https://espanol.epa.gov/espanol/contaminacion-por-nutrientes>
- Espinosa, C; Márquez, K; Rodríguez J. (2012). Evaluación del riesgo de eutrofización del embalse monaicito-piedra azul, estado Trujillo, Venezuela. *Rev. Fac. Ing. UCV*, 27(4): 75 – 86. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652012000400005](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652012000400005)
- Garbisu, C; Epelde, L; Becerril, J.M. (2008). El ecologista N°57. *Ecologistas en acción.* <https://www.ecologistasenaccion.org/17857/fitorremediacion/>

García Miranda, FG; Miranda Rosales, V. (2018). *Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico.* [http://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2\\_Parte1\\_Eje3\\_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf](http://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2_Parte1_Eje3_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf)

González Gómez, J.D. (2010). *Fitorremediación: una herramienta viable para la descontaminación de aguas y suelos.* [Tesis de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio Universidad de los Andes.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/19276/u445054.pdf?sequen ce=>

Guevara, A; De la Torre, E; Villegas, A; Criollo, E. (2009). Uso de la rizofiltración para el tratamiento de efluentes líquidos de cianuración que contienen cromo, cobre y cadmio. *Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, I* (2): 871-878. <https://www.rlmm.org/archivos/S01/N2/RLMMArt-09S01N2-p871.pdf>.

Hallasi Puntaca, G.L. (2018). *Determinación de los parámetros microbiológicos y físico-químicos de las aguas de consumo humano en las islas flotantes uros del Lago Titicaca.* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional Universidad Nacional del Altiplano.

[http://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/7403.](http://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/7403)

Haro Condor, F.G. (2018). *Caracterización fisicoquímica de la columna de agua en la laguna Cube.* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio institucional Universidad Central del Ecuador.

[https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/225fe651-8edd-4c36-8ff8-680cd09818c5/content.](https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/225fe651-8edd-4c36-8ff8-680cd09818c5/content)

Hernández Sampieri, R; Fernández Collado, C; Baptista Lucio, M.P. (2017). *Metodología de la investigación* (6 ed.). <https://www.esup.edu.pe/wp->

<content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADA%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>.

Herrera Toapanpa, V.N; Sumba Guamán, D.G. (2019). *Islas Flotantes Artificiales con Vetiver (vetiveria zizanioides) como alternativa para la remoción de Nitratos, Fosfatos y Plomo en Agua procedente del Río Cutuchi*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional Universidad Técnica de Cotopaxi.  
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5266>.

Jimenez Monroy, L.L; Jahuira Huarcaya, F.A; Ibañez Quispe V. (2016). Tratamiento de aguas eutrofizadas de la bahía interior de Puno, Perú, con el uso de dos Macrófitas. *Rev. investig. Altoandin*, 18(4): 43-56.

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2313-29572016000400003](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572016000400003)

Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment Wetlands*. CRC Press.

Kefan, C; Ran, Z; Guangming, Z. (2020). Tratamiento de aguas residuales mediante bacterias fotosintéticas con producción de productos de valor añadido: una revisión. *Tecnología de biorrecursos*, 299.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852419318772>

Knobelsdorf Miranda, M.J. (2005). Eliminación biológica de nutrientes en un ARU de baja carga orgánica mediante el proceso VIP. Capítulo 3: depuración biológica de las aguas residuales urbanas. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña]. Repositorio Universidad Politécnica de Cataluña.

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5909/08Mjkm08de18.pdf;sequence=8>.

Lagoons.com. (2021). Summer lagoon nitrification: Optimizing warm-weather ammonia removal. *EPA*. <https://lagoons.com/summer-lagoon-nitrification/>

López Martínez, S; Gallegos Martínez, ME; Pérez Flores, LJ; Gutiérrez Rojas, M. (2005).

Mecanismos de fitoremedición de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 21 (2): 91-100.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v21n2/0188-4999-rica-21-02-91.pdf>

Malik, A. (2007). Environmental challenge Vis a Vis opportunity: The case of water hyacinth. *Environment International*, 33(1), 122-138.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412006001309>

Marrero Coto, J; Amores Sánchez, I; Coto Pérez, O. (2012). Fitoremedición, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 46 (3): 52-61.

<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223124988007.pdf>.

Martínez Peña, L; López Candela, C. (2018). Islas flotantes como estrategia para el establecimiento de plantas acuáticas en el Jardín Botánico de Bogotá. *Gestión y Ambiente* 21(1), 110-120.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/69209/67013>.

Mateos-Aparicio Baixauli, R. (2023). Tratamiento ecológico para la eutrofización y la anoxia en las masas de agua. *Universitat d'Alacant*:1125-1135.

<http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/137524>

Mendoza Guerra, Y.I; Castro Echavez, F.L; Marín Leal, J.C; Behling Quintero, E.H. (2016) Fitoremedición como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 39(2).

[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702016000200004#:~:text=Por%20lo%20anterior%2C%20la%20fitoremediaci%C3%B3n,para%20eliminar%20los%20pat%C3%A9genos%20remanentes.](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200004#:~:text=Por%20lo%20anterior%2C%20la%20fitoremediaci%C3%B3n,para%20eliminar%20los%20pat%C3%A9genos%20remanentes.)

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2009). *Manual para Municipios Ecoeficientes.*

*Tratamiento y reuso de aguas residuales.* Lima, Perú.

<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/manual-municipios-ecoeficientes>.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2015). *Norma técnica de edificación OS.090. Plantas de tratamiento de aguas residuales.* Lima, Perú.

[https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/OS.090.pdf](https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf).

Monroy-Licht, A; Carranza-Lopez, L; De la Parra-Guerra, AC *et al.* (2024). Liberando el potencial de *E. crassipes* para el tratamiento de aguas residuales: fitorremediación de contaminantes acuáticos, una estrategia para avanzar en el Objetivo de Desarrollo Sostenible-06 de agua limpia. *Environ Sci Pollut Res*, 31:43561–43582.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-024-33698-9>

Montalvo Estévez, J.F; García Ramil, I.A; Almeida Rodríguez, M; Betanzos Vega, A; García García, N. (2014). Modelación de la eutrofización e índice de calidad del agua en algunas bahías del archipiélago Sabana Camagüey. *Tecnología Química*, 34(3):184-196. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543783002.pdf>

Municipalidad Provincial de Celendín. (2023). Plan de contingencia ante bajas temperaturas de la provincia de Celendín para los años 2023 – 2024.

[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5343175/4786970-p\\_contingencia3.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5343175/4786970-p_contingencia3.pdf).

Nuoxi Wang ; Chuyu Luo; Xiaodong Wu; Liang Chen; Xuguang Ge; Cheng Huang; Xiaowen Lin; Shunmei Zhu. (2024). Efectos de la temperatura del agua sobre el crecimiento de especies invasoras de *M. aquaticum*. *Aquatic Invasions*, 19(2):153-167. <https://aquaticinvasions.aphahub.com/article/124920/>.

Ortega Gallegos, J.R. (2019). Islas flotantes artificiales con: pasto guinea (panicum maximum) como alternativa para la remoción de nitratos y fosfatos en el agua procedente del río Cutuchi. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional Universidad Técnica de Cotopaxi.

<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5522>.

Perales Valdivia, N.I. (2008). *Evaluación de la calidad de agua en la cuenca del río Grande de la provincia de Celendín*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Biblioteca Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Cajamarca.

Pocohuanca Abarca, N.S. (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*. [Tesis de grado, Universidad de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Universidad de San Agustín de Arequipa.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4378/Bipoabns.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Raffo Lecca, E; Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Industrial Data, 17(1): 71-80.

<https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>

Rezania, S., Taib, S. M., Din, M. F. M., et al. (2016). The efficient role of aquatic plant (*E. crassipes*) in treating domestic wastewater in continuous system. *International Journal of Phytoremediation*, 18(7), 679-685.

[https://www.researchgate.net/publication/287286161\\_The\\_Efficient\\_Role\\_of\\_Aquatic\\_Plant\\_Water\\_Hyacinth\\_in\\_Treating\\_Domestic\\_Wastewater\\_in\\_Continuous\\_System](https://www.researchgate.net/publication/287286161_The_Efficient_Role_of_Aquatic_Plant_Water_Hyacinth_in_Treating_Domestic_Wastewater_in_Continuous_System)

- Rodríguez Lara, J.W; Cervantes Ortiz, F; Arámbula Villa, G; Mariscal Amaro, L.A; Aguirre Mancilla, C.L; Andrio Enríquez, E. (2022). Lirio acuático (*E. crassipes*): una revisión. *Agron. Mesoam.*, 33(1):1-12. <https://www.redalyc.org/journal/437/43768481006/html/>
- Salazar, M. (2022). Nuevo informe revela la cadena de daños que provocan las aguas residuales al planeta. *Periodismo ambiental independiente en Latinoamérica. MONGABAY*. <https://es.mongabay.com/2022/02/nuevo-informe-revela-cadena-de-danos-que-provocan-las-aguas-residuales-al-planeta/#:~:text=En%20todo%20el%20mundo%2C%20las,ox%C3%ADgeno%20en%20los%20ecosistemas%20acu%C3%A1ticos.>
- Salazar Urbina, J. (2021). *Influencia del tiempo de retención sobre la remoción de materia orgánica en un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito Pedro Gálvez – Cajamarca 2020*. [Tesis de grado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. Repositorio institucional Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/2051>.
- SENAMHI. (2025). *Mapa Climático del Perú*.  
<https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Silva Burga, J.A. (2004). *Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la universidad de Piura*. [Tesis de grado, Universidad de Piura]. Repositorio institucional Universidad de Piura.  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1189/ICI\\_119.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1189/ICI_119.pdf)
- Teixeira Correia, G; Sánchez Ortiz, I.A; Gebara, D; Dall'Aglio Sobrinho, M; Matsumoto, T. (2013). Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 67: 172-182.  
<https://www.redalyc.org/pdf/430/43029146015.pdf>

Vargas Perdomo, C.M; Oviedo Salazar, A; Montañez Velásquez, MN; Polania Patiño, A.

(2018). Estado del arte, del uso de la en la fitorremediación de aguas residuales industriales. *Ingenio Magno*, 9(2):105 – 130.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7021685>

Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: *Review. Wetlands*, 27(3), 473–490.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896970800867X>

Vymazal, J. (2011). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water*, 3(2), 530–549.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es101403q>

Yifru Waktole, B; Seid Tiku, M; Fekadu Fufa, F. (2019). Simultaneous removal of nitrate and phosphate from wastewater using solid waste from factory. *Applied Water Science* 9(28): 1-10. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-019-0906-z>.

Zavaleta Villanueva, E. (2016). Evaluación del porcentaje de remoción de materia orgánica en función a las características físicoquímicas del río grande – distrito Celendín. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional Universidad Nacional de Cajamarca.

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1762/TESIS%20 %20E VER%20ZABAleta%20VILLANUEVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## CAPITULO VII

### ANEXOS

**ANEXO 1:** Tablas y gráficas para la determinación de las constantes de reacción de la remoción de nitratos en el tratamiento T1

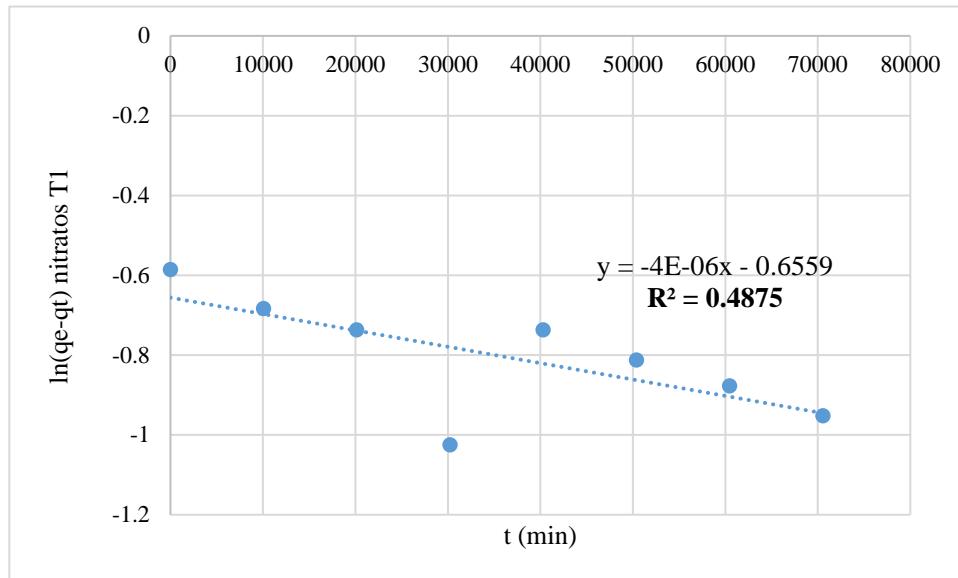
**Tabla 18:**

*Valores de concentraciones iniciales, finales de nitratos y ecuaciones a graficar en T1*

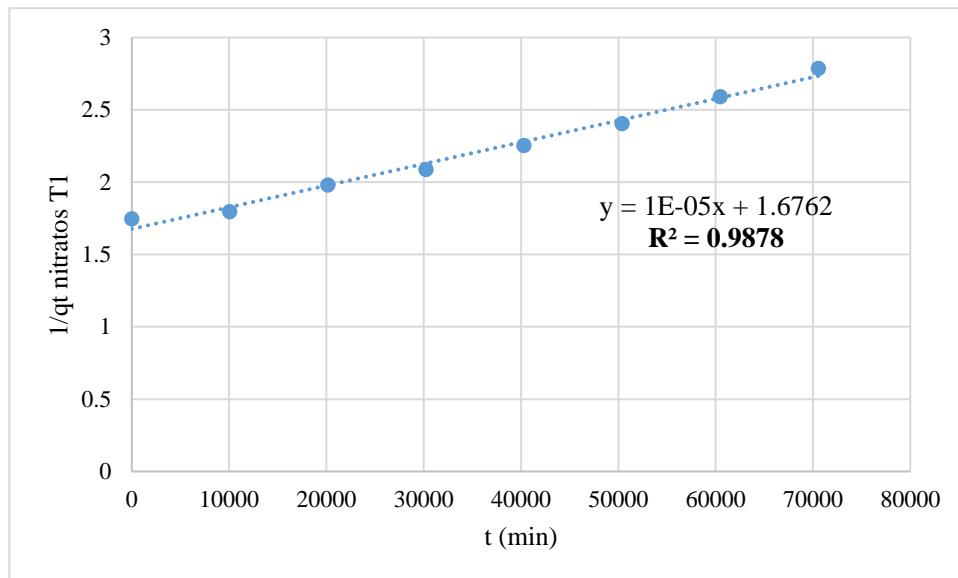
Tiempo (días)	Tiempo (min)	Concentración inicial de $\text{NO}_3^-$ ( $q_e$ )	Concentración final de $\text{NO}_3^-$ ( $q_t$ )	$\ln(q_e - qt)$	$1/q_t$
0	0	0.748	0.389	-0.58519004	1.7452007
7	10080	0.853	0.374	-0.68319685	1.7953321
14	20160	0.964	0.391	-0.73605468	1.980198
21	30240	0.844	0.339	-1.02443289	2.0876827
28	40320	0.634	0.248	-0.73605468	2.2522523
35	50400	0.716	0.159	-0.81193072	2.4038462
42	60480	0.621	0.205	-0.87707002	2.5906736
49	70560	0.742	0.298	-0.95191791	2.7855153

**Figura 14:**

Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo primer grado de nitratos en T1

**Figura 15:**

Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo segundo grado de nitratos en T1

**Tabla 19:**

Resultados de la cinética de adsorción de pseudo primer y pseudo segundo orden en el T1 de nitratos

Nutriente	Pseudo primer orden		Pseudo segundo orden	
	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Nitratos	K <sub>1</sub> (min <sup>-1</sup> )	4*10 <sup>-6</sup>	K <sub>2</sub> (min <sup>-1</sup> )	10 <sup>-5</sup>
	R <sup>2</sup>	0,4875	R <sup>2</sup>	<b>0,9878</b>

**ANEXO 2:** Tablas y gráficas para la determinación de las constantes de reacción de la remoción de nitratos en el tratamiento T2

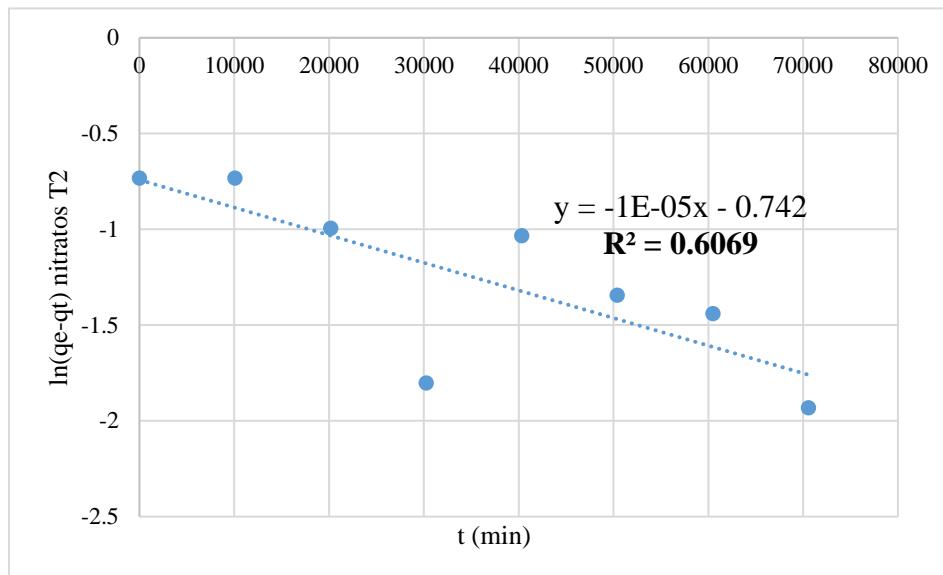
**Tabla 20:**

Valores de concentraciones iniciales, finales de nitratos y ecuaciones a graficar en T2

Tiempo (días)	Tiempo (min)	Concentración inicial de $\text{NO}_3^-$ ( $q_e$ )	Concentración final de $\text{NO}_3^-$ ( $q_t$ )	$\ln(q_e - q_t)$	$1/q_t$
0	0	0.748	0.583	-0.73188801	2.07900208
7	10080	0.853	0.483	-0.73188801	2.07900208
14	20160	0.964	0.483	-0.99425227	2.7027027
21	30240	0.844	0.583	-1.80180981	3.29898876
28	40320	0.634	0.278	-1.03282455	3.83141762
35	50400	0.716	0.235	-1.34323487	4.54940928
42	60480	0.621	0.384	-1.43969514	6.06060606
49	70560	0.742	0.597	-1.93102154	6.89655172

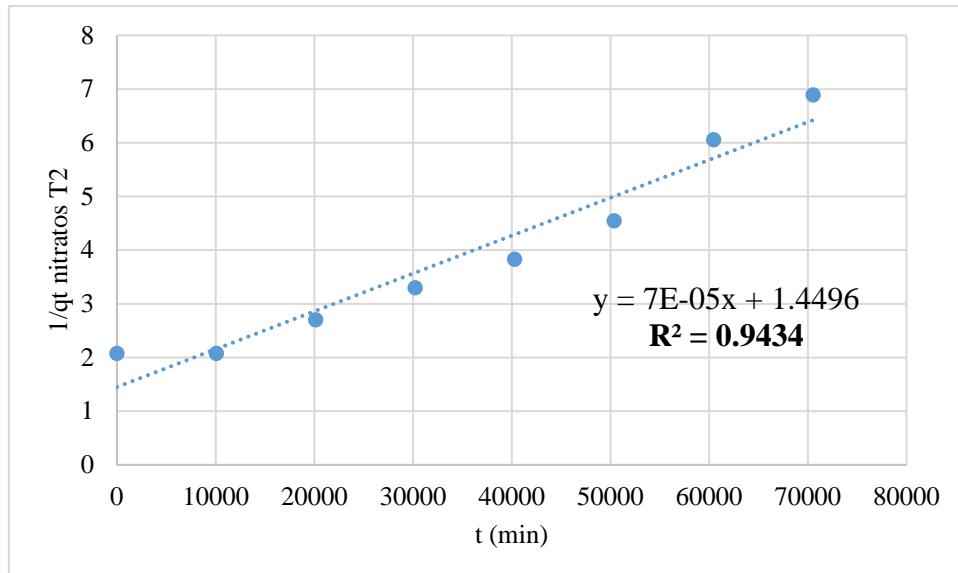
**Figura 16:**

Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo primer grado de nitratos en T2



**Figura 17:**

*Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo segundo grado de nitratos en T2*

**Tabla 21:**

*Resultados de la cinética de adsorción de pseudo primer y pseudo segundoo orden en el T2 de nitratos*

Nutriente	Pseudo primer orden		Pseudo segundo orden	
	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Nitratos	K <sub>1</sub> (min <sup>-1</sup> )	10 <sup>-5</sup>	K <sub>2</sub> (min <sup>-1</sup> )	7*10 <sup>-5</sup>
	R <sup>2</sup>	0,6069	R <sup>2</sup>	<b>0,9434</b>

**ANEXO 3:** Tablas y gráficas para la determinación de las constantes de reacción de la remoción de fosfatos en el tratamiento T0

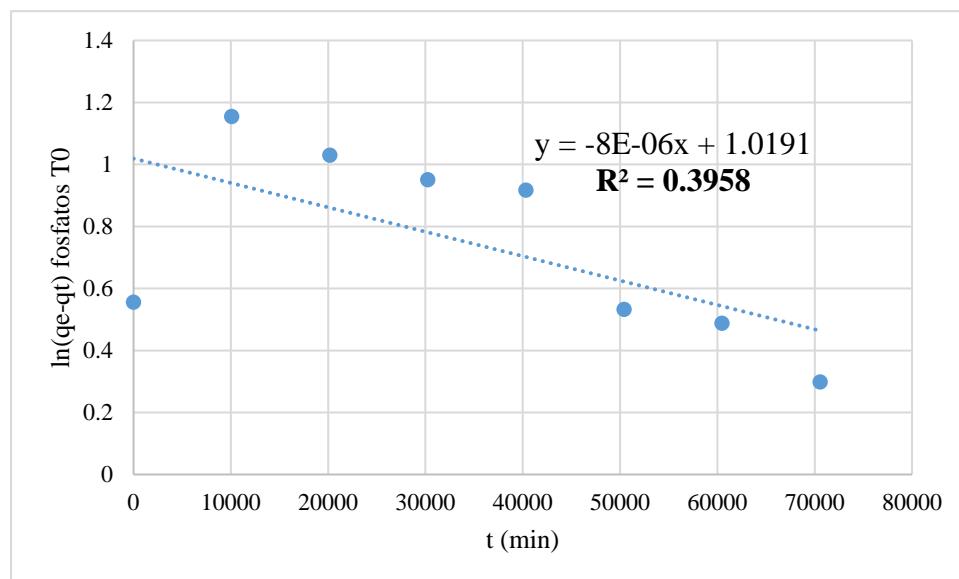
**Tabla 22:**

Valores de concentraciones iniciales, finales de fosfatos y ecuaciones a graficar en T0

Tiempo (días)	Tiempo (min)	Concentración inicial de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (q <sub>e</sub> )	Concentración final de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (q <sub>t</sub> )	Ln(q <sub>e</sub> -q <sub>t</sub> )	1/q <sub>t</sub>
0	0	9.568	7.824	0.55618133	0.31496063
7	10080	10.289	8.941	1.15530763	0.35676061
14	20160	10.451	7.648	1.03069027	0.38624952
21	30240	9.388	6.799	0.9512717	0.39936102
28	40320	11.75	9.246	0.91788945	0.5733945
35	50400	11.294	8.119	0.53297843	0.58685446
42	60480	10.48	8.776	0.48796633	0.61387354
49	70560	9.483	7.854	0.29862201	0.74183976

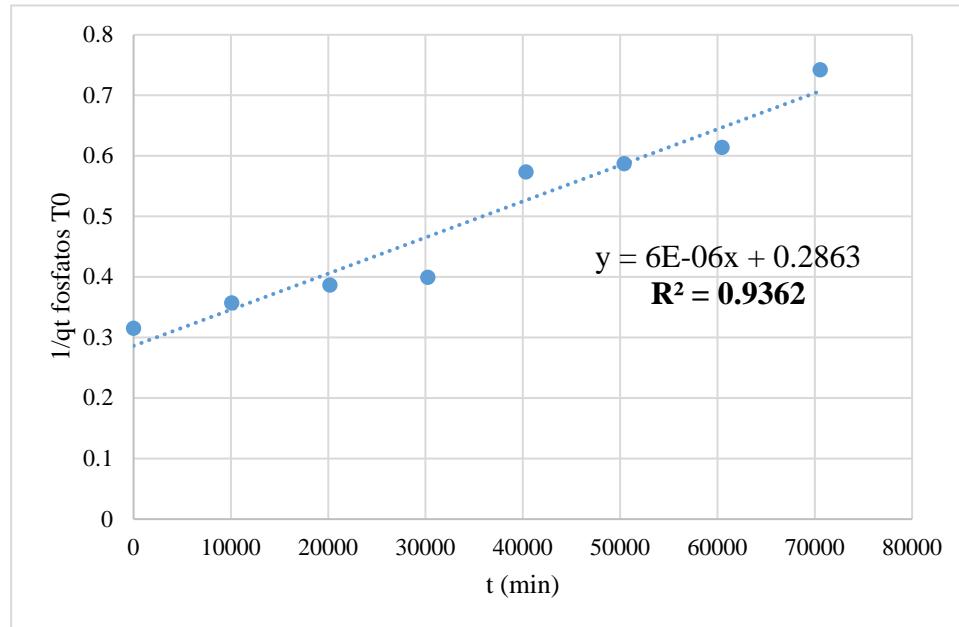
**Figura 18:**

Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo primer grado de fosfatos en T0



**Figura 19:**

Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo segundo grado de fosfatos en T0

**Tabla 23:**

Resultados de la cinética de adsorción de pseudo primer y pseudo segundo orden en el T0 de fosfatos

Nutriente	Pseudoprimer orden		Pseudosegundo orden	
	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Fosfato	K <sub>1</sub> (min <sup>-1</sup> )	8*10 <sup>-6</sup>	K <sub>2</sub> (min <sup>-1</sup> )	6*10 <sup>-6</sup>
	R <sup>2</sup>	0,3958	R <sup>2</sup>	<b>0,9362</b>

**ANEXO 4:** Tablas y gráficas para la determinación de las constantes de reacción de la remoción de fosfatos en el tratamiento T1

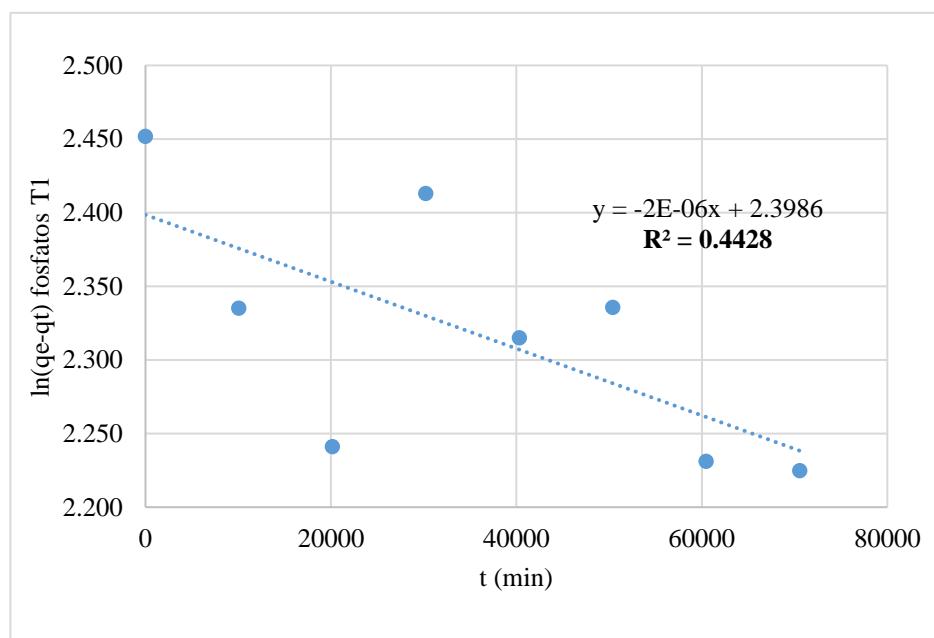
**Tabla 24:**

Valores de concentraciones iniciales, finales de fosfatos y ecuaciones a graficar en T1

Tiempo (días)	Tiempo (min)	Concentración inicial de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (q <sub>e</sub> )	Concentración final de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (q <sub>t</sub> )	Ln(q <sub>e</sub> -q <sub>t</sub> )	1/q <sub>t</sub>
0	0	9.568	3.482	2.452	0.114
7	10080	10.289	4.202	2.335	0.125
14	20160	10.451	1.692	2.241	0.137
21	30240	9.388	2.081	2.413	0.141
28	40320	11.75	4.676	2.315	0.150
35	50400	11.294	3.325	2.336	0.164
42	60480	10.48	3.813	2.231	0.164
49	70560	9.483	3.682	2.225	0.172

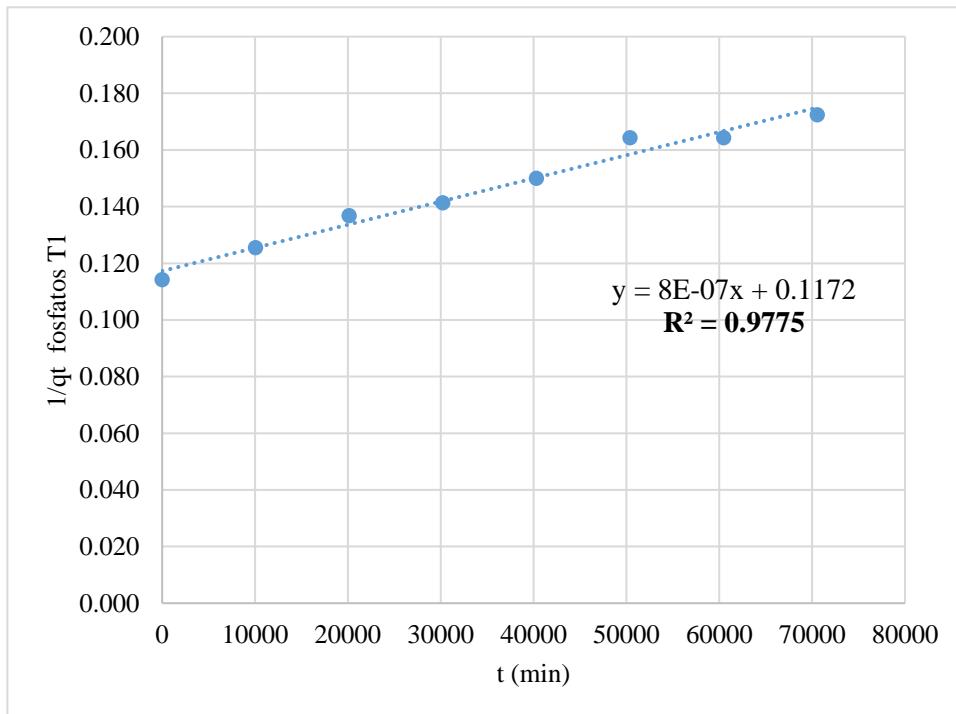
**Figura 20:**

Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo primer grado de fosfatos en T1



**Figura 21:**

Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo segundo grado de fosfatos en T1

**Tabla 25:**

Resultados de la cinética de adsorción de pseudo primer y pseudo segundo orden en el T1 de fosfatos

Nutriente	Pseudoprimer orden		Pseudosegundo orden	
	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Fosfato	K <sub>1</sub> (min <sup>-1</sup> )	2*10 <sup>-6</sup>	K <sub>2</sub> (min <sup>-1</sup> )	8*10 <sup>-7</sup>
	R <sup>2</sup>	0,4428	R <sup>2</sup>	<b>0,9775</b>

**ANEXO 5:** Tablas y gráficas para la determinación de las constantes de reacción de la remoción de fosfatos en el tratamiento T2

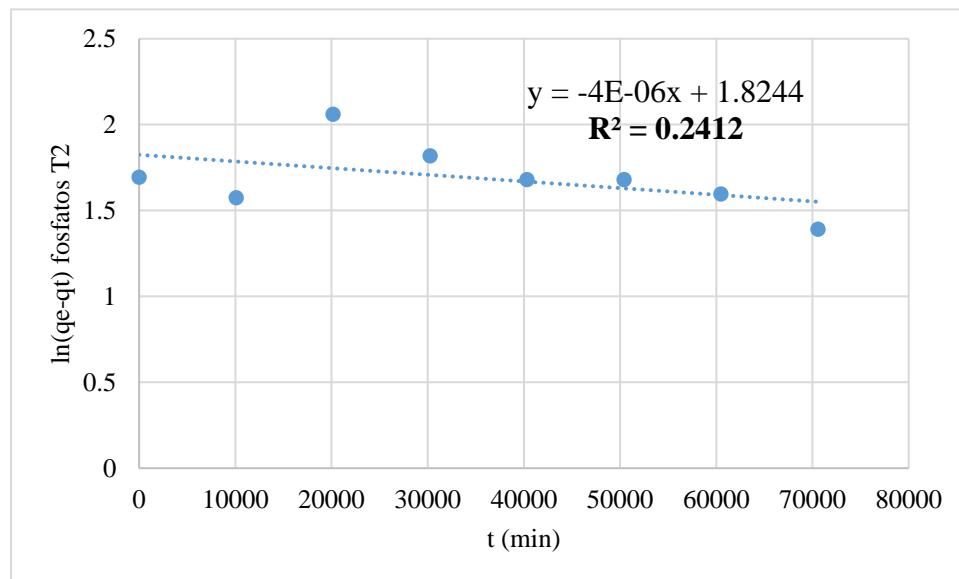
**Tabla 26:**

Valores de concentraciones iniciales, finales de fosfatos y ecuaciones a graficar en T2

Tiempo (días)	Tiempo (min)	Concentración inicial de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (q <sub>e</sub> )	Concentración final de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (q <sub>t</sub> )	Ln(q <sub>e</sub> -q <sub>t</sub> )	1/q <sub>t</sub>
0	0	9.568	4.127	1.69396287	0.14725884
7	10080	10.289	5.46	1.57463941	0.16210083
14	20160	10.451	2.593	2.06153212	0.18678974
21	30240	9.388	3.219	1.81953675	0.18611576
28	40320	11.75	6.81	1.68138641	0.18618507
35	50400	11.294	5.921	1.68101411	0.20242915
42	60480	10.48	5.109	1.59736533	0.20708221
49	70560	9.483	5.461	1.39177929	0.22863252

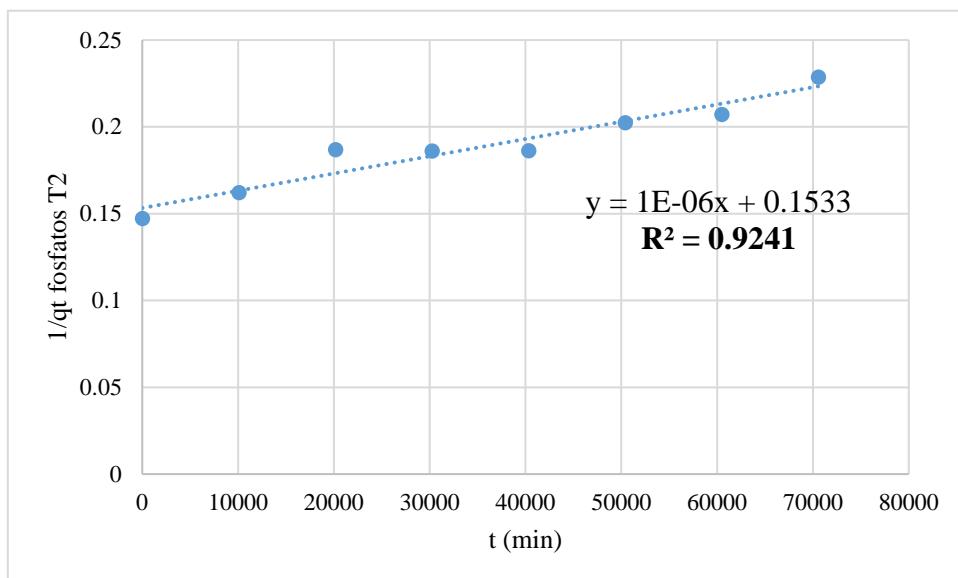
**Figura 22:**

Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo primer grado de fosfatos en T2



**Figura 23:**

Gráfica lineal de modelo cinética de pseudo segundo grado de fosfatos en T2

**Tabla 27:**

Resultados de la cinética de adsorción de pseudo primer y pseudo segundo orden en el T2 de fosfatos

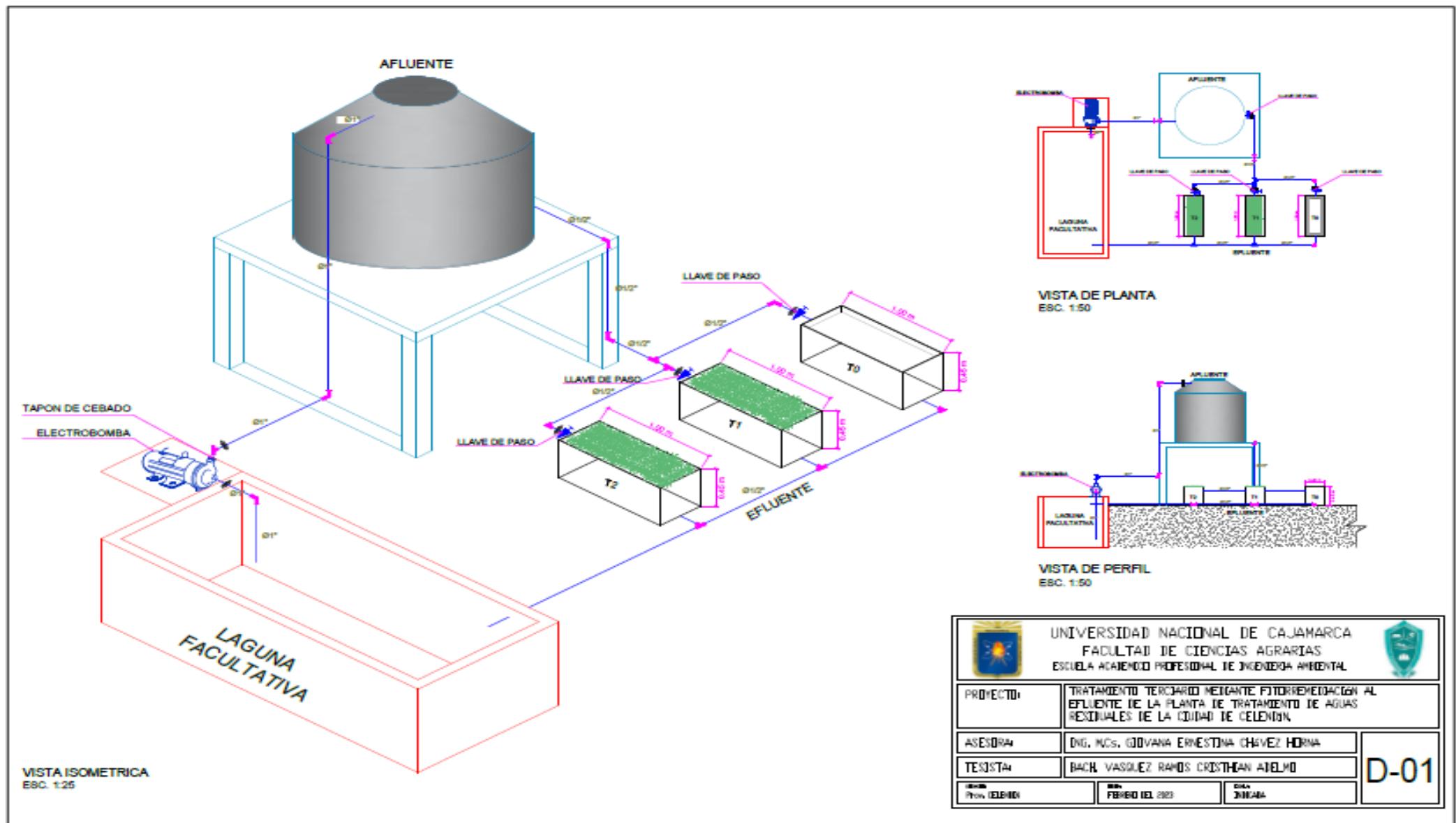
Nutriente	Pseudoprimer orden		Pseudosegundo orden	
	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Fosfato	$K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$4 \times 10^{-6}$	$K_2$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$10^{-6}$
	$R^2$	0,2412	$R^2$	<b>0,9241</b>

**ANEXO 6:** Plano del sistema de tratamiento de aguas residuales a través de fitorremediación con islas flotantes.

**ANEXO 7:** Plano de islas flotantes

**Figura 24:**

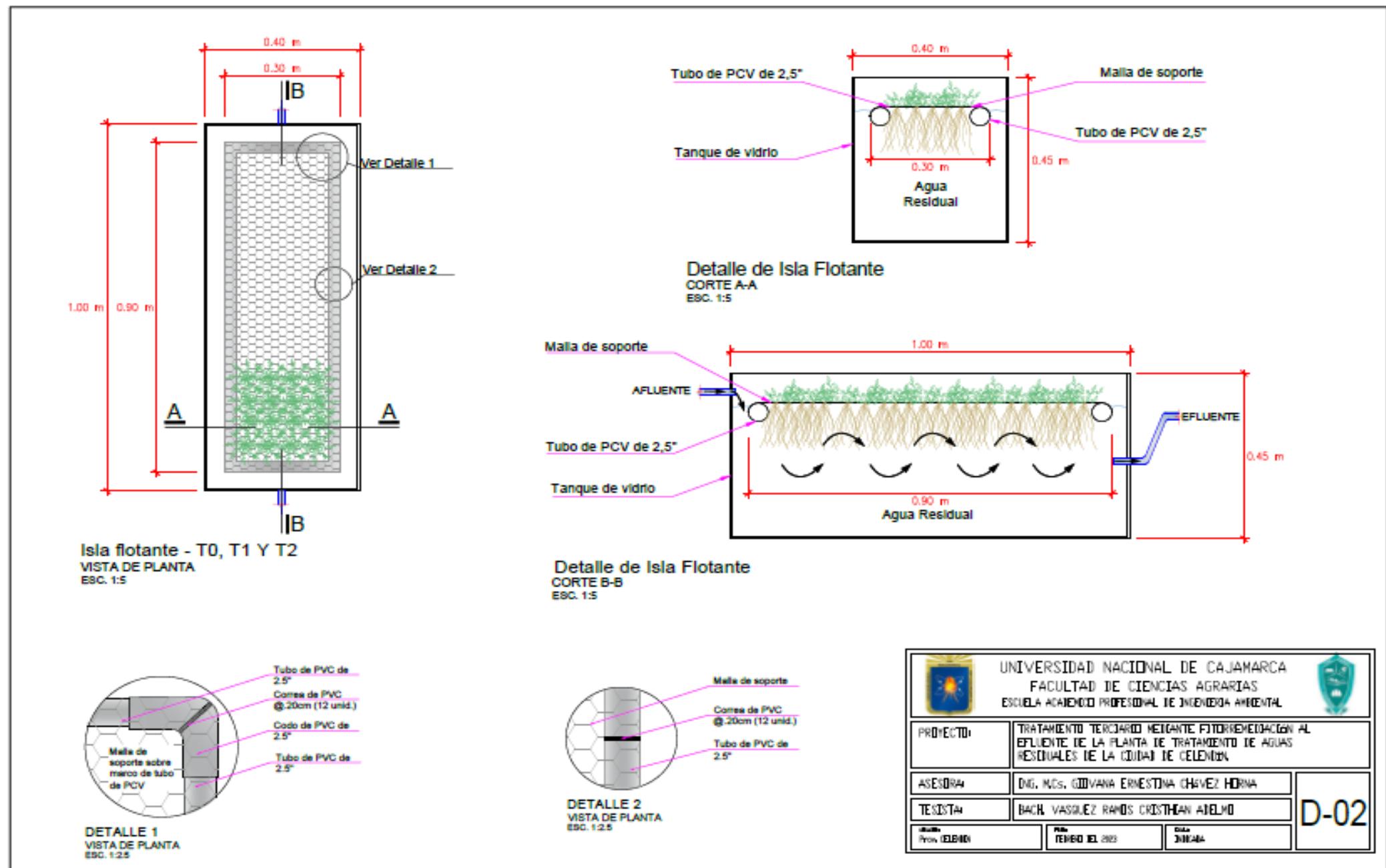
Plano del sistema de tratamiento de remoción de nutrientes mediante fitoremediación



**Figura 25:**

88

Plano de islas flotantes



**ANEXO 8:** Imágenes del antes y después del incremento de especies vegetales**Figura 26:***Antes y después del tratamiento de fitorremediación con *E. crassipes****Figura 27:***Antes y después del tratamiento de fitorremediación con *M. aquaticum**

## ANEXO 9: Resultados emitidos por el Laboratorio Regional del Agua

### A. Primer Monitoreo



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



Registro N° LE - 084

#### INFORME DE ENSAYO N° IE 02240074

##### DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	GARCIA CORTEZ EVELIN LILETH- VASQUEZ RAMOS CRISTHIAN ADELMO	
Dirección	JR LAS CAMELIAS N° 191	
Persona de contacto	CRISTHIAN ADELMO VASQUEZ RAMOS	Correo electrónico <a href="mailto:cvasquezr13@unc.edu.pe/">cvasquezr13@unc.edu.pe/</a> <a href="mailto:evelenygarciac1503@gmail.com">evelenygarciac1503@gmail.com</a>

##### DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	30.01.24	Hora de Muestreo	08:30 a 08:45
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	04		
Ensayos solicitados	Químicos Instrumentales-Microbiológico		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	Celendín- Cajamarca		

##### DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC-133	Cadena de Custodia	CC - 0085 - 24
Fecha y Hora de Recepción	30.01.24	11:50	Inicio de Ensayo
Reporte Resultado	11.02.24	14:30	30.01.24 14:20



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
Edder Miguel FAU 2046374169.pdf  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 11/02/2024 03:53 p. m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

Cajamarca, 11 de Febrero de 2024



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA



Registro N° LE - 084

**INFORME DE ENSAYO N° IE 02240074**

ENSAYOS			Químicos Instrumentales				
Código de la Muestra			PM1	PM2	PM3	PM4	-
Código Laboratorio			02240074-01	02240074-02	02240074-03	02240074-04	-
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	PTAR Celendín	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos				
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.0640	0.848	0.991	0.349	0.453	-
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.0320	10.568	7.824	3.382	3.127	-

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



Firmado digitalmente por  
LOPEZ LEON Freddy Humberto  
FAU 20453744168 soft  
Motivo: Viso en señal de  
conformidad  
Fecha: 11/02/2024 04:15 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**

Cajamarca, 11 de Febrero de 2024



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



Registro N° LE - 084

**INFORME DE ENSAYO N° IE 02240074**

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO <sub>2</sub> , N-NO <sub>3</sub> , P-PO <sub>4</sub> , N-NO <sub>2</sub> +N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Califormes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E, 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure
Huevos y Larvas de Helmintos	Nº HH/L	NMX-AA-113-SCFI, 2012: Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

**NOTAS FINALES**

- (\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (\*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne únicamente 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 eliminaciones.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 11 de Febrero de 2024



## B. Segundo Monitoreo



**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 02240093

#### DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	GARCIA CORTEZ EVELIN LILETH- VASQUEZ RAMOS CRISTHIAN ADELMO
---------------------	---

Dirección	JR LAS CAMELIAS N° 191
-----------	------------------------

Persona de contacto	CRISTHIAN ADELMO VASQUEZ RAMOS	Correo electrónico	<a href="mailto:vasquezr13@unc.edu.pe/">vasquezr13@unc.edu.pe/</a> <a href="mailto:eveleyngarciac1503@gmail.com">eveleyngarciac1503@gmail.com</a>
---------------------	--------------------------------	--------------------	--

#### DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	06.02.24	Hora de Muestreo	10:30 a 10:45
--------------------	----------	------------------	---------------

Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
-----------------------------------	---------	---------------------	---

Procedimiento de Muestreo	-
---------------------------	---

Tipo de Muestreo	Puntual
------------------	---------

Número de puntos de muestreo	04
------------------------------	----

Ensayos solicitados	Químicos Instrumentales-Microbiológicos
---------------------	---

Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación
--	---

Referencia de la Muestra:	Celendín- Cajamarca
---------------------------	---------------------

#### DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC-138	Cadena de Custodia	CC - 0093 - 24		
Fecha y Hora de Recepción	06.02.24	15:25	Inicio de Ensayo	06.02.24	16:00
Reporte Resultado	16.02.24	15:30			



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
Edder Miguel FAU 20453744168 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 16/02/2024 03:26 p. m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

Cajamarca, 16 de Febrero de 2024



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



Registro N° LE - 084

**INFORME DE ENSAYO N° IE 02240093**

ENSAYOS			Químicos Instrumentales				
Código de la Muestra			PM1	PM2	PM3	PM4	-
Código Laboratorio	02240093-01		02240093-02	02240093-03	02240093-04	-	-
Matriz	Residual		Residual	Residual	Residual	-	-
Descripción	Municipal		Municipal	Municipal	Municipal	-	-
Localización de la Muestra	PTAR Celendín		PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos				
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.0640	0.953	0.965	0.324	0.333	-
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.0320	11.289	8.941	4.102	4.460	-

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



Firmado digitalmente por  
LOPEZ LEON Freddy Humberto  
FAU 20453744168 soft  
Motivo: Viso en señal de  
conformidad  
Fecha: 16/02/2024 04:49 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**

Cajamarca, 16 de Febrero de 2024

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
e-mail:laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO:599000 anexo 1140.

Página: 2 de 4



**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 02240093**

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrito, Fosfato, N-NO <sub>2</sub> , N-NO <sub>3</sub> , P-PO <sub>4</sub> , N-NO <sub>2</sub> +N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure
Huevos y Larvas de Helmintos	Nº HH/L	NNX-AA-113-SCFL. 2012: Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

**NOTAS FINALES**

- (\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (\*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concuerde únicamente 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 fachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.
- ✓ (1) El presente informe reemplaza al informe de ensayo IE 02240093. Se corrigió, a solicitud del cliente, el nombre en la sección Razón Social/Nombre; así como, se reportaron los parámetros según cotizaciones.

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 16 de Febrero de 2024

Vº B

Firmado digitalmente por  
COUNA VENEZAS Juan Jose  
FAU 20453744168 soft  
Motivo: Vso en señal de  
confianza  
Fecha: 16/02/2024 03:56 p. m.

## C. Tercer Monitoreo



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



Registro N° LE - 084

### INFORME DE ENSAYO N° IE 02240115

#### DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	GARCIA CORTEZ EVELIN LILETH- VASQUEZ RAMOS CRISTHIAN ADELMO	
Dirección	JR LAS CAMELIAS N° 191	
Persona de contacto	CRISTHIAN ADELMO VASQUEZ RAMOS	Correo electrónico <a href="mailto:cvasquezr13@unc.edu.pe/">cvasquezr13@unc.edu.pe/</a> <a href="mailto:evellevngarcia1503@gmail.com">evellevngarcia1503@gmail.com</a>

#### DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	13.02.24	Hora de Muestreo	08:00 a 08:15
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	04		
Ensayos solicitados	<b>Químicos Instrumentales-Microbiológicos</b>		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	Celendín- Cajamarca		

#### DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

Nº Contrato	SC-145	Cadena de Custodia	CC - 0116 - 24	
Fecha y Hora de Recepción	13.02.24	11:15	Inicio de Ensayo	13.02.24
Reporte Resultado	21.02.24	16:20		11:30



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
Edder Miguel FAU 20453744168 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 21/02/2024 04:33 p. m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

Cajamarca, 21 de Febrero de 2024



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



Registro N° LE - 084

**INFORME DE ENSAYO N° IE 02240115**

ENSAYOS			Químicos Instrumentales				
Código de la Muestra			PM1	PM2	PM3	PM4	-
Código Laboratorio	02240115-01		02240115-02	02240115-03	02240115-04	-	-
Matriz	Residual		Residual	Residual	Residual	-	-
Descripción	Municipal		Municipal	Municipal	Municipal	-	-
Localización de la Muestra	PTAR Celendín		PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos				
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.0640	1.064	1.261	0.351	0.353	-
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.0320	11.451	7.648	1.592	1.593	-

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



Firmado digitalmente por  
LOPEZ LEON Freddy Humberto  
FAU 20453744168 soft  
Motivo: Viso en señal de  
conformidad  
Fecha: 21/02/2024 04:39 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**

Cajamarca, 21 de Febrero de 2024

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
e-mail:laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO:599000 anexo 1140.

Página: 2 de 4



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



Registro N° LE - 084

**INFORME DE ENSAYO N° IE 02240115**

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitato, Fosfato, N-NO <sub>2</sub> , N-NO <sub>3</sub> , P-PO <sub>4</sub> , N-NO <sub>2</sub> +N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 24 th Ed. 2023. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure
Huevos y Larvas de Helmintos	Nº HH/L	NMX-AA-113-SCFI. 2012: Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

**NOTAS FINALES**

- (\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
  - (\*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
  - ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
  - ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
  - ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
  - ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditacion otorgada por INACAL-DA.
  - ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.
- ✓ (1) El presente informe reemplaza al informe de ensayo IE 02240093-I. Se corrigió, a solicitud del cliente, la descripción de la muestra.

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 21 de Febrero de 2024

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por  
DOCTOR VELASCO Juan Jose  
FAU/20453744194  
Motivo: Viso en señal de  
conformidad  
Fecha: 21/02/2024 05:20 p. m.

## D. Cuarto Monitoreo



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



Registro N° LE-084

### INFORME DE ENSAYO N° IE 02240133

#### DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	<b>GARCIA CORTEZ EVELIN LILETH- VASQUEZ RAMOS CRISTHIAN ADELMO</b>	
Dirección	JR LAS CAMELIAS N° 191	
Persona de contacto	CRISTHIAN ADELMO VASQUEZ RAMOS	Correo electrónico <a href="mailto:cvasquezr13@unc.edu.pe/">cvasquezr13@unc.edu.pe/</a> <a href="mailto:evelingarcia1503@gmail.com">evelingarcia1503@gmail.com</a>

#### DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	<b>20.02.24</b>	Hora de Muestreo	<b>8:40 a 8:53</b>
Responsable de la toma de muestra	<b>Cliente</b>	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	<b>Puntual</b>		
Número de puntos de muestreo	<b>04</b>		
Ensayos solicitados	<b>Químicos Instrumentales-Microbiológicos</b>		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	<b>Celendín- Cajamarca</b>		

#### DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	<b>SC-207</b>	Cadena de Custodia	<b>CC - 0133 - 24</b>	
Fecha y Hora de Recepción	<b>20.02.24</b>	<b>12:57</b>	<b>Inicio de Ensayo</b>	<b>20.02.24</b>
Reporte Resultado	<b>29.02.24</b>	<b>12:40</b>		<b>14:40</b>



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
Edder Miguel FAU 20453744168 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 29/02/2024 04:12 p.m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

*Cajamarca, 29 de Febrero de 2024*



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



Registro N° LE - 084

**INFORME DE ENSAYO N° IE 02240133**

ENSAYOS			Químicos Instrumentales				
Código de la Muestra			PM1	PM2	PM3	PM4	-
Código Laboratorio	02240133-01		02240133-02	02240133-03	02240133-04	-	-
Matriz	Residual		Residual	Residual	Residual	-	-
Descripción	Municipal		Municipal	Municipal	Municipal	-	-
Localización de la Muestra	PTAR Celendín		PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos				
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.0640	0.944	0.899	0.309	0.423	-
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.0320	10.388	6.799	1.881	2.219	-

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



**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**

Cajamarca, 29 de Febrero de 2024

Página: 2 de 4

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N, URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
e-mail:laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO:599000 anexo 1140.



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



Registro N° LE - 084

**INFORME DE ENSAYO N° IE 02240133**

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO <sub>2</sub> , N-NO <sub>3</sub> , P-PO <sub>4</sub> , N-NO <sub>2</sub> +N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance), 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure
Huevos y Larvas de Helmintos	Nº HH/L	NMX-AA-113-SCFI. 2012: Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

**NOTAS FINALES**

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 29 de Febrero de 2024



Firmado digitalmente por  
COLINA VENEGAS Juan José  
FAU 20453744168 soft  
Metodo: Firma en señal de  
conformidad  
Fecha: 29/02/2024 04:36 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**

## E. Quinto Monitoreo



**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 03240179

#### DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	GARCIA CORTEZ EVELIN LILETH-VASQUEZ RAMOS CRISTHIAN ADELMO	
Dirección	JR LAS CAMELIAS N° 191	
Persona de contacto	CRISTHIAN ADELMO VASQUEZ RAMOS	Correo electrónico <a href="mailto:cvasquez13@unc.edu.pe/">cvasquez13@unc.edu.pe/</a> <a href="mailto:evelingarciacl1503@gmail.com">evelingarciacl1503@gmail.com</a>

#### DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	01.03.24	Hora de Muestreo	8:40 a 8:55
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	04		
Ensayos solicitados	<b>Químicos Instrumentales-Microbiológicos</b>		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	Celendin- Cajamarca		

#### DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

Nº Contrato	SC-257	Cadena de Custodia	CC - 0179 - 24
Fecha y Hora de Recepción	01.03.24	15:00	Inicio de Ensayo
Reporte Resultado	12.03.24	15:55	01.03.24 15:20



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
Edición digital FAU 20230724165 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 12/03/2024 05:00 p. m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

Cajamarca, 12 de Marzo de 2024



**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 03240179**

ENSAYOS			Químicos Instrumentales				
Código de la Muestra			PM1	PM2	PM3	PM4	-
Código Laboratorio			03240179-01	03240179-02	03240179-03	03240179-04	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-
Localización de la Muestra			PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos				
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.0640	0.734	0.849	0.218	0.358	-
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.0320	12.750	9.246	3.646	5.810	-

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



Firmado digitalmente por  
LOPEZ LEON Freddy Humberto  
FAU 20453744168 soft  
Motivo: Visto en señal de  
conformidad  
Fecha: 12/03/2024 04:43 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**

Cajamarca, 12 de Marzo de 2024

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
e-mail:laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO:599000 anexo 1140.

Página: 2 de 4



**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 03240179**

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO <sub>2</sub> , N-NO <sub>3</sub> , P-PO <sub>4</sub> , N-NO <sub>2</sub> +N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure
Huevos y Larvas de Helmintos	Nº HH/L	NMX-AA-113-SCFI. 2012: Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

**NOTAS FINALES**

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 12 de Marzo de 2024



## F. Sexto Monitoreo



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



Registro N° LE - IN4

### INFORME DE ENSAYO N° IE 03240218

#### DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **GARCIA CORTEZ EVELIN LILETH- VASQUEZ RAMOS CRISTHIAN ADELMO**

Dirección **JR LAS CAMELIAS N° 191**

Persona de contacto **CRISTHIAN ADELMO VASQUEZ RAMOS** Correo electrónico [cvasquezr13@unc.edu.pe/](mailto:cvasquezr13@unc.edu.pe/)  
[evelingarciac1503@gmail.com](mailto:evelingarciac1503@gmail.com)

#### DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	<b>07.03.24</b>	Hora de Muestreo	<b>9:30 a 9:45</b>
Responsable de la toma de muestra	<b>Cliente</b>	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	<b>-</b>		
Tipo de Muestreo	<b>Puntual</b>		
Número de puntos de muestreo	<b>04</b>		
Ensayos solicitados	<b>Químicos Instrumentales-Microbiológicos</b>		
Breve descripción del estado de la muestra	<b>Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación</b>		
Referencia de la Muestra:	<b>Celendin- Cajamarca</b>		

#### DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

Nº Contrato	<b>SC-273</b>	Cadena de Custodia	<b>CC - 0215 - 24</b>	
Fecha y Hora de Recepción	<b>07.03.24</b>	14:36	Inicio de Ensayo	<b>07.03.24</b>
Reporte Resultado	<b>20.03.24</b>	14:30		<b>15:30</b>



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
 Edder Miguel FAU 20453744168 soft  
 Motivo: Soy el autor del documento  
 Fecha: 20/03/2024 03:15 p. m.

Edder Neyra Jaico  
 Responsable de Laboratorio  
 CIP: 147028

*Cajamarca, 20 de Marzo de 2024*



**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 03240218**

ENSAYOS			Químicos Instrumentales				
Código de la Muestra			PM1	PM2	PM3	PM4	-
Código Laboratorio			03240218-01	03240218-02	03240218-03	03240218-04	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-
Localización de la Muestra			PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos				
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.0640	0.816	0.885	0.109	0.305	-
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.0320	12.294	8.119	2.325	4.921	-

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

Vº Bº

Firmado digitalmente por  
LOPEZ LEON Freddy Humberto  
FAX:40544168 soft  
Motivo: Ver en señal de  
conformidad  
Fecha: 20/03/2024 05:10 p. m.

LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA

Cajamarca, 20 de Marzo de 2024

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
e-mail:laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO:5990000 anexo 1140.

Página: 2 de 4



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



Registro N° LE - 084

**INFORME DE ENSAYO N° IE 03240218**

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO <sub>2</sub> , N-NO <sub>3</sub> , P-PO <sub>4</sub> , N-NO <sub>2</sub> +N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
Huevos y Larvas de Helmintos	N° HH/L	NMX-AA-113-SCFI. 2012: Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

**NOTAS FINALES**

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(\*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.

✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

✓ (1) El presente informe reemplaza al informe de ensayo IE 03240133. Se corrigió la descripción de la muestra a solicitud del cliente.

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 20 de Marzo de 2024



Firmado digitalmente por  
COLINA VERNEGAS Juan José  
FAU 20453744168 sot  
Motivo: Viso en señal de  
conformidad  
Fecha: 20/03/2024 05:20 p. m.

## G. Séptimo Monitoreo



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



Registro N° LE - 084

### INFORME DE ENSAYO N° IE 03240250

#### DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	GARCIA CORTEZ EVELIN LILETH- VASQUEZ RAMOS CRISTHIAN ADELMO		
Dirección	JR LAS CAMELIAS N° 191		
Persona de contacto	CRISTHIAN ADELMO VASQUEZ RAMOS	Correo electrónico	<a href="mailto:cvasquez13@unc.edu.pe/">cvasquez13@unc.edu.pe/</a> <a href="mailto:evelinggarcia1503@gmail.com">evelinggarcia1503@gmail.com</a>

#### DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	14.03.24	Hora de Muestreo	8:50 a 9:05
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	04		
Ensayos solicitados	<b>Químicos Instrumentales-Microbiológicos</b>		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	Celendín- Cajamarca		

#### DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

Nº Contrato	SC-287	Cadena de Custodia	CC - 0250 - 24
Fecha y Hora de Recepción	14.03.24	12:50	Inicio de Ensayo
Reporte Resultado	25.03.24	16:15	14.03.24 14:50



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
 Eddy Miguel FA-20453744168 soft  
 Motivo: Soy el autor del documento  
 Fecha: 25/03/2024 10:00 p. m.

Eddy Neyra Jaico  
 Responsable de Laboratorio  
 CIP: 147028

Cajamarca, 25 de Marzo de 2024



**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 03240250**

ENSAYOS			Químicos Instrumentales				
Código de la Muestra			PM1	PM2	PM3	PM4	-
Código Laboratorio	03240250-01	03240250-02	03240250-03	03240250-04	-	-	-
Matriz	Residual	Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra	PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos				
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.0640	0.721	0.817	0.105	0.464	-
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.0320	11.480	8.776	2.813	3.109	-

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

Vigilancia en Linea

Firmado digitalmente por  
LOPEZ LEON Freddy Humberto  
FAU 20453744168 soft  
Motivo: Viso en señal de  
conformidad  
Fecha: 25/03/2024 04:58 p.m.

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**

*Cajamarca, 25 de Marzo de 2024*

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
e-mail:laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO:599000 anexo 1140.

Página: 2 de 4



**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 03240250**

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO2, N-NO3, P-PO4, N-NO2+N-NO3)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure
Huevos y Larvas de Helmintos	Nº HH/L	NMX-AA-113-SCFI. 2012: Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

**NOTAS FINALES**

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

**"Fin del documento"**

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

Cajamarca, 25 de Marzo de 2024



Firmado digitalmente por  
 COLINA VENEGAS Juan José  
 FAU 20453744168 soft  
 Motivo: Fijo en señal de  
 confidencialidad  
 Fecha: 25/03/2024 04:54 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL  
 DEL AGUA**

## H. Octavo Monitoreo



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



Registro N° LE - 084

### INFORME DE ENSAYO N° IE 03240287

#### DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	GARCIA CORTEZ EVELIN LILETH- VASQUEZ RAMOS CRISTHIAN ADELMO		
Dirección	JR LAS CAMELIAS N° 191		
Persona de contacto	CRISTHIAN ADELMO VASQUEZ RAMOS	Correo electrónico	<a href="mailto:cvasquezr13@unc.edu.pe/">cvasquezr13@unc.edu.pe/</a> <a href="mailto:evelingarcia1503@gmail.com">evelingarcia1503@gmail.com</a>

#### DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	21.03.24	Hora de Muestreo	9:00 a 9:15
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	04		
Ensayos solicitados	Químicos Instrumentales-Microbiológicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	Celendín- Cajamarca		

#### DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

Nº Contrato	SC-305	Cadena de Custodia	CC - 0284 - 24
Fecha y Hora de Recepción	21.03.24	14:10	Inicio de Ensayo 21.03.24
Reporte Resultado	03.04.24	15:21	15:30



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
Edder Miguel FAU 2045374168 seña

Motivo: Soy el autor del documento

Fecha: 03/04/2024 04:00 p. m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

Cajamarca, 03 de Abril de 2024



**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 03240287**

ENSAYOS			Químicos Instrumentales				
Código de la Muestra			PM1	PM2	PM3	PM4	-
Código Laboratorio	03240287-01	03240287-02	03240287-03	03240287-04	-	-	-
Matriz	Residual	Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra	PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos				
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.0640	0.842	0.918	0.198	0.637	-
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.0320	10.483	7.854	2.682	4.461	-

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



Firmado digitalmente por  
LOPEZ LEON Freddy Humberto  
FAU 20453744169 soft  
Motivo: Viso en señal de  
conformidad  
Fecha: 03/04/2024 05:50 p.m.

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**

Cajamarca, 03 de Abril de 2024

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ 5/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
e-mail:laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO:599000 anexo 1140.

Página: 2 de 4



**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 03240287**

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO <sub>2</sub> , N-NO <sub>3</sub> , P-PO <sub>4</sub> , N-NO <sub>2</sub> +N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure
Huevos y Larvas de Helmintos	Nº HH/L	NMX-AA-113-SCFI. 2012: Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

**NOTAS FINALES**

- (\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (\*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concuerda únicamente y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.
- ✓ (1) El presente informe reemplaza al informe de ensayo IE 03240179. Se corrigió la descripción de la muestra a solicitud del cliente.

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 03 de Abril de 2024



Firmado digitalmente por  
COLINA VENEZAS Juan Jose  
FAU 20453744168 soft  
Modo: Firma en señal de  
conformidad  
Fecha: 03/04/2024 08:25 p. m.