

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Fitorremediación de aguas residuales domésticas con la
especie *Eichhornia crassipes* en el distrito de
Yarabamba, Arequipa - 2021**

Karla Adriana Ballón Durand

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Arequipa, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, amigos, que me brindaron su apoyo, motivación y conocimientos; a mi abuela que se preocupó siempre por mí, a los asesores que ayudaron para que este trabajo de investigación concluya, a todas y cada una de las personas que hicieron que crezca tanto en el ámbito profesional como en lo personal, y que gracias a ellos soy la persona que soy.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi madre por haberme forjado en carácter, sentar las bases de responsabilidad y ganas de sobresalir para alcanzar mis metas y cumplir mis sueños; a mi pareja por apoyarme incondicionalmente en todo momento siendo un gran soporte; a todas aquellas personas que me ayudaron y brindaron motivación; y sobre todo doy gracias a Dios por la ser mi fortaleza.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I	14
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	14
1.1 Planteamiento y formulación del problema	14
1.1.1 Problema general.....	16
1.1.2 Problema específico	16
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo General.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
1.3 Justificación e importancia	17
1.4 Hipótesis y descripción de variables.....	18
1.4.1 Hipótesis general.....	18
1.4.2 Hipótesis Específicas	18
1.5 Operacionalización de variables	19
CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1 Antecedentes del problema	20
2.1.1 Antecedentes internacionales	20
2.1.2 Antecedentes nacionales	21
2.1.3 Antecedentes locales	23
2.2 Bases teóricas.....	24
2.2.1 Aguas residuales	24
2.2.2 Clasificación de aguas residuales.....	24
2.2.3 Clasificación de contaminantes en aguas residuales.....	25
2.2.4 Características de las aguas residuales domésticas	26

2.2.5	Fitorremediación	36
2.2.6	<i>Eichhornia crassipes</i>	42
2.2.7	Nivel de contaminación	45
2.2.8	Capacidad de remoción	46
2.2.9	Normatividad	46
2.3	Definición de términos básicos.....	46
CAPÍTULO III.....		48
METODOLOGÍA.....		48
3.1	Método y alcance de la investigación	48
3.1.1	Método de la investigación	48
3.1.2	Alcance de la investigación.....	48
3.2	Diseño de la investigación	49
3.3	Población y muestra.....	50
3.3.1	Población.....	50
3.3.2	Muestra.....	50
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	52
3.4.1	Técnicas	52
3.4.2	Instrumentos.....	52
3.4.3	Procedimientos.....	52
CAPÍTULO IV.....		64
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		64
4.1	Resultados descriptivos.....	64
4.1.1.	Caracterización de las aguas residuales domésticas	64
4.1.2.	Porcentaje de remoción	65
4.2	Resultado inferencial	72
4.2.1.	Prueba de normalidad.....	72
4.2.2.	Prueba de hipótesis general.....	72
4.3	Discusión de resultados	74
CONCLUSIONES		76
RECOMENDACIONES		77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		78
ANEXOS.....		88
ANEXO1: Matriz de consistencia		A
ANEXO2: Matriz de operacionalización.....		B

ANEXO 3: Ficha de observación	D
ANEXO 4: Solicitud de autorización de ingreso.....	E
ANEXO 5: Solicitud a la PTAR.....	F
ANEXO 6: Autorización de la Municipalidad	G
ANEXO 7: Cadena de custodia	G
ANEXO 8: Informe del laboratorio	H
ANEXO 9: Cadena de custodia	K
ANEXO 10: Informe de laboratorio del segundo muestreo	L
ANEXO 11: Cadena de custodia del tercer muestreo.....	O
ANEXO 12: Informe de laboratorio del tercer muestreo	P

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	19
Tabla 2. Compuestos encontrados en el agua residual	31
Tabla 3. Características de los principales niveles de tratamiento	33
Tabla 4. Ventajas y desventajas de la fitorremediación	37
Tabla 5. Función de las plantas acuáticas en los sistemas de tratamiento	42
Tabla 6. Taxonomía de <i>E. crassipes</i>	43
Tabla 7. Límites máximos permisible D.S 003- 2010 MINAM.....	46
Tabla 8. Datos para el muestreo de aguas residuales domésticas	57
Tabla 9. Caracterización inicial del agua residual doméstica.....	64
Tabla 10. Resultados de los muestreos del agua residual antes y después del tratamiento	65
Tabla 11. Prueba de normalidad de los datos	72
Tabla 12. Estadígrafo ANOVA para la prueba de hipótesis.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.</i>	55
<i>Figura 2. Instalaciones de la PTAR de Yarabamba. En la imagen se muestra la cámara de rejas, que posterior a ello está el desarenador.</i>	55
<i>Figura 3. Cooler utilizados en el transporte de frascos de muestreo.</i>	56
<i>Figura 4. Rotulación de frascos durante el proceso de recojo de muestras.</i>	56
<i>Figura 5. Frascos rotulados</i>	57
<i>Figura 6. Toma de muestra para los parámetros del DBOs y ST.</i>	58
<i>Figura 7. Toma de muestras de DQO, preservante H₂SO₄.</i>	58
<i>Figura 8. Frascos de primera muestra con los 6 parámetros para analizar.</i>	59
<i>Figura 9. Toma de muestras de origen para fitorremediación.</i>	60
<i>Figura 10. Recipiente de capacidad de 50 L.</i>	61
<i>Figura 11. Instalación de plantas de E. crassipes</i>	61
<i>Figura 12. Evaluación en el día 18</i>	62
<i>Figura 13. Observación en el tercer muestreo</i>	63
<i>Figura 14. Porcentaje de remoción de DBO₅</i>	66
<i>Figura 15. Porcentaje de remoción de DQO</i>	67
<i>Figura 16. Porcentaje de pH</i>	68
<i>Figura 17. Porcentaje de reducción de los ST</i>	69
<i>Figura 18. Porcentaje de reducción de temperatura</i>	69
<i>Figura 19. Porcentaje de conductividad</i>	70
<i>Figura 20. Comparación del SST con el LMP</i>	71

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo principal determinar la eficiencia de uso de la especie *E. crassipes* en la fitorremediación de las aguas residuales domésticas del distrito Yarabamba; para ello, se empleó la metodología científica de enfoque cuantitativo, de nivel explicativo, diseño experimental de pre y post test, la muestra tomada fue de 26 litros de agua residual doméstica del distrito de Yarabamba, Arequipa. Los resultados mostraron que las características de agua residual fueron: DBO₅ 270 mg/L, DQO 373.3 mg/L, ST 53163 mg/L, pH 7.05, Temperatura 22.2 °C y conductividad eléctrica 2105 µS/cm; asimismo, los porcentajes de remoción fueron de 92.7% de DBO₅, 77.3% de DQO, 96.3% de ST y un 8.55% de la temperatura; y al comparar los parámetros analizados del agua residual después del tratamiento con *E. crassipes* cumplieron con los LMP. Por lo que se demostró la eficiencia óptima de la *E. crassipes* en la remoción de contaminantes del agua residual doméstica, tal como lo demostró el estadígrafo ANOVA con un *p*-valor de 0.002, indicando la diferencia significativa de las varianzas entre los grupos analizados. Conclusión, la *E. crassipes* tiene una alta eficiencia de remoción de contaminantes sobre todo en los contaminantes de carga orgánica como DBO, DQO y ST.

Palabra clave: *E. crassipes*, aguas residuales domésticas, caracterización, porcentaje de remoción, LMP.

ABSTRACT

The main objective of the study was to determine the efficiency of use of the *E. crassipes* species in the phytoremediation of domestic wastewater in the Yarabamba district; For this, the scientific methodology of quantitative approach, explanatory level, experimental design of pre and posttest was used, the sample taken was 26 liters of domestic wastewater from the Yarabamba district. The results showed that the characteristics of the wastewater were: BOD₅ 270 mg/L, COD 373.3 mg/L, TS 53163 mg/L, pH 7.05, Temperature 22.2 °C and electrical conductivity 2105 µS/cm; since, the removal percentages were 92.7% of DBO₅, 77.3% of COD, 96.3% of ST and 8.55% of the temperature; and when comparing the analyzed parameters of the residual water after treatment with *E. crassipes*, they complied with the LMP. Therefore, the optimal efficiency of *E. crassipes* in the removal of pollutants from domestic wastewater is shown, as shown by the ANOVA statistician with a *p*-value of 0.002, indicating the significant difference in variances between the groups analyzed. In conclusion, *E. crassipes* has a high contaminant removal efficiency, especially in organic load contaminants such as BOD₅, COD and TSS.

Keywords: *E. crassipes*, domestic wastewater, characterization, removal percentage, LMP.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales domésticas es limitado, ante la ausencia o deficiencia de un sistema de alcantarillado (1) que las transporte a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), usualmente las aguas domésticas se vierten en cuerpos naturales de agua por desconocimiento de los pobladores y descuido de las autoridades. El vertimiento de aguas residuales domésticas es perjudicial para la flora y fauna de las aguas naturales (2).

Hay muchos tratamientos para aguas residuales domésticas; sin embargo, la mayoría de estos son costosos; muchos estudios buscan alternativas de solución que no sean dispendiosas y sobre todo amigables con el medio ambiente. Por estas razones, se realiza un tratamiento costo efectivo, como es la fitorremediación. La presente investigación busca determinar la efectividad del uso de la especie *E. crassipes* en la fitorremediación para remover contaminantes del agua residual doméstica, con base en diversos antecedentes y estudios reportados para la especie, los cuales demostraron altos porcentajes de remoción de contaminantes físicos y químicos.

En la ciudad de Arequipa, diversos distritos se ubican a las orillas del río y no cuentan con servicios básicos como agua potable, sistema de alcantarillado o plantas de tratamiento. De acuerdo con el estudio realizado por el Instituto Nacional de Defensa Civil (3) se declaró en emergencia a tres distritos de esta ciudad, debido a la contaminación hídrica del río Tambo, con una calificación de muy alto riesgo, afectando a la acuicultura, agricultura, personas, entre otros.

El distrito de Yarabamba es uno de los 29 distritos de la provincia de Arequipa, no cuenta con un sistema de suministro de agua potable ni con un sistema de alcantarillado para realizar una correcta evacuación de aguas residuales domésticas, industriales o agrícolas que se encuentran en la zona. Por esta razón se busca una solución para el tratamiento de aguas residuales domésticas, vertidas a los cuerpos de agua natural como: ríos, acequias, incluso al suelo ocasionando filtración de contaminantes como detergentes, grasas, productos químicos de limpieza del hogar, entre otros.

Una opción viable es la fitorremediación, que consiste en la absorción de contaminantes del agua dándole un tratamiento primario para tratar las aguas residuales de

una manera natural mediante la absorción de diferentes parámetros. Por lo expuesto, es indispensable conocer el efecto de la fitorremediación usando la especie de *E. crassipes*, para el tratamiento de aguas residuales domésticas. El contenido de la investigación está organizado en: Capítulo I, en el que se presenta la problemática de las aguas residuales en el distrito; en ese contexto, se formula las siguientes interrogantes ¿Cuál es la eficiencia de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* en el distrito de Yarabamba, Arequipa – 2021? ¿Qué características tiene el agua residual doméstica en el distrito de Yarabamba, Arequipa – 2021? ¿Cuál es el porcentaje de remoción de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie *E. crassipes* en el distrito de Yarabamba, Arequipa – 2021? ¿La fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie *E. crassipes* cumple con los LMP, en el distrito de Yarabamba, Arequipa – 2021?

En el capítulo II se presenta el marco teórico y antecedentes. El capítulo III aborda la metodología de la investigación, donde se muestra el alcance, diseño, población, técnicas e instrumentos y los procedimientos. En el capítulo IV se presentan los resultados y discusión de la investigación. Finalmente, las conclusiones, recomendaciones y bibliografía.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

De acuerdo con el estudio realizado por Tuholske et al, alrededor del 63% de la contaminación a nivel mundial por nitrógeno ocasionada por las aguas residuales, provienen del sistema de alcantarillado; donde el 32% son de descarga directa a un cuerpo de agua. De igual forma, menciona que, estos problemas son causados por la falta de tratamiento de agua residual de origen doméstico. En esta línea, de acuerdo con el informe de Rivers Trust, se realizaron notificaciones de descarga de aguas residuales domésticas a más de 400 mil personas en Inglaterra en el año 2020. Asimismo, Escocia atraviesa por una situación muy similar, debido a que desde el 2016, se vienen descargando miles de litros de agua residual en las fuentes hídricas (4).

Las crisis ambientales contemporáneas como la contaminación del agua han contribuido a que el 26% de las muertes anuales sean de niños, equivalente a 1.5 millones de fallecidos, y alrededor de 1 millón de estas muertes se producen en países en vías de desarrollo; es decir, que cerca del 80% de estas muertes tiene una relación directa con los efectos del agua contaminada. Actualmente en Latinoamérica, el 70% de las aguas residuales de origen doméstico, llegan a los ríos u otros cuerpos de agua sin tratamiento previo, provocando problemas muy serios para la salud de las personas y al

ambiente. En esa línea, cerca del 20% de los pobladores están asentados en algún tipo de fuente contaminada por estas aguas (5).

En Huánuco, de acuerdo con el informe realizado por la Contraloría General de la República realizado el 2021, las aguas residuales se vienen esparciendo en los campos abiertos, llegando hasta los cultivos, provocando olores fétidos y convirtiéndolos en focos contaminantes e infecciosos para los pobladores aledaños. Cabe precisar que las obras, relacionadas al tratamiento de agua residual, tiene un avance del 40%, incumpliendo así la fecha de entrega programada para el 2020 (6). Situaciones similares se dan en las demás regiones donde el vertimiento de aguas residuales a los cuerpos de agua naturales como a la superficie, contribuye a la contaminación de manera directa. En la actualidad muchos pueblos, asentamientos humanos entre otros no cuentan con un sistema de alcantarillado ni desagüe ocasionando una inadecuada disposición de sus aguas residuales domésticas. La mayoría de los proyectos de alcantarillado no se llevan a cabo o no se terminan. (7)

En la ciudad de Arequipa, en el distrito de Yarabamba solo un porcentaje de las aguas residuales llega a la planta de tratamiento de aguas residuales (8); puesto que la PTAR solo abastece a 1027 habitantes de los 2454 (9) y muchos de estos contaminantes están siendo vertidos a los ríos cercanos.

El distrito de Yarabamba tiene 9 centros poblados que no cuentan con un sistema de alcantarillado, provocando que las aguas utilizadas en los hogares sean vertidas de forma inadecuada; en su mayor parte estas aguas están compuestas de carga orgánica provenientes de desperdicios animales y vegetales; a esto se suma la falta de conciencia y educación ambiental generándose contaminación ambiental (8). La fitorremediación es una opción para el tratamiento de aguas domésticas generadas en lugares alejados del distrito de Yarabamba.

Para tratar el agua residual, existen muchos tipos de tratamiento primario como: sedimentación primaria, flotación, precipitación química; donde el propósito es remover la mayor cantidad de Demanda Bioquímica de

Oxígeno (DBO_5), sólidos suspendidos, y otros que contienen carga orgánica, que posteriormente llegan al tratamiento secundario y terciario (10); sin embargo, estos tratamientos tienen un costo muy elevado; por ello, alternativas como la fitorremediación son viables debido a su bajo costo y su implementación sencilla. Las plantas con capacidad remediadora, en los últimos años se han estudiado con mayor frecuencia, debido a su alta remoción de contaminantes presentes en cuerpos naturales de agua y otras fuentes hídricas (11). Donde la efectividad y la estimación de ahorro es de 50 a 65% aproximadamente (12).

De acuerdo con el estudio realizado por Yóplac et al. (13) especies como la *Piptocoma discolor*, *Theorbroma cacao*, *Cedrela sp.* y *Jararanda copaia*, presentan capacidad fitorremediadora. Asimismo, plantas como la totora son importantes para la absorción de nutrientes y metales pesados (14). La especie *E. crassipes* tiene un alto porcentaje de remoción de nitrógeno (97.79%), DBO_5 (77.23%), carbono orgánico (39.24%) y sólidos suspendidos totales (95.94%) (15).

Por todo lo mencionado, el estudio busca una alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas con un costo bajo, viable y amigable con el ambiente; a partir de ello, contribuir en la descontaminación de medios acuáticos de manera mucho más sencilla (16); con base en la fitorremediación con *E. crassipes* para disminuir los contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas.

1.1.1 Problema general

¿Cuál es la eficiencia de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* en el distrito de Yarabamba, Arequipa?

1.1.2 Problema específico

- ¿Qué características tiene el agua residual doméstica en el distrito de Yarabamba, Arequipa?

- ¿Cuál es el porcentaje de remoción de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* en el distrito de Yarabamba, Arequipa?
- ¿La fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* cumple con los LMP, en el distrito de Yarabamba, Arequipa?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General.

Determinar la eficiencia de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* en el distrito de Yarabamba, Arequipa.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Caracterizar el agua residual doméstica del distrito de Yarabamba, Arequipa.
- Determinar el porcentaje de remoción de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* en el distrito de Yarabamba, Arequipa.
- Determinar si la fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* cumple con los LMP, en el distrito de Yarabamba, Arequipa.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación económica

Tratar las aguas residuales tiene costos muy elevados tanto de mantenimiento como de operación (17). Por ello, alternativas como la fitorremediación con el uso de especies flotantes y palustres como *Zantedeschia aethiopica* y *E. crassipes* son alternativas de bajo costo que permiten remover los contaminantes (18) presentes en el agua de forma natural, contribuyendo así a la descontaminación de manera natural y sostenible de los cuerpos de agua. Es por ello, que este estudio propone el uso de *E. crassipes*, para tratar el agua residual de origen doméstico del distrito de Yarabamba.

1.3.2 Justificación social

El distrito de Yarabamba cuenta aproximadamente con tres mil habitantes, alrededor del 70% presenta un déficit de agua y de saneamiento básico (19); además, no cuenta con un sistema adecuado de desagüe. Las aguas residuales producidas en sus hogares son vertidas en las orillas del río causando la contaminación de éste. Por esta razón, la investigación muestra lineamientos básicos con una alternativa eco amigable y viable para el manejo de aguas residuales domésticas mediante el uso de *E. crassipes*.

1.3.3 Justificación ambiental

La importancia de la contaminación de aguas conlleva a buscar alternativas de solución como la fitorremediación de aguas residuales, que proporciona al medio ambiente un tratamiento natural (12), donde los contaminantes son absorbidos por una planta, en este caso la *E. crassipes* la cual brinda un tratamiento previo al vertimiento en los cuerpos de agua, evitando así la contaminación, y sobre contribuyendo a la preservación natural de estos.

1.4 Hipótesis y descripción de variables

1.4.1 Hipótesis general

- H_0 = La eficiencia de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* no es óptima en el distrito de Yarabamba, Arequipa.
- H_1 = La eficiencia de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* es óptima en el distrito de Yarabamba, Arequipa (20)(21)(22)(23).

1.4.2 Hipótesis Específicas

- Las aguas residuales domésticas provenientes del distrito de Yarabamba – Arequipa, presentan alta DBO₅, DQO, ST, pH y temperatura (24)(25).

- El porcentaje de remoción de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* es alto en el distrito de Yarabamba, Arequipa (26).
- La fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* cumple con los LMP, en el distrito de Yarabamba, Arequipa (20) (27) (28).

1.5 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicador	Medida	Subindicador	Técnica	Instrumentos
<i>E. crassipes</i> V. Independiente	Efectividad de la especie	Disminución de contaminación (Gci - Gcf)	mg/L	250.3	Análisis estadístico	Resultados del informe de ensayo
		DBO ₅				
		DQO	mg/L	288.4		
		pH	Unidad	-0.61		
		Sólidos totales	mg/L	51189		
		Temperatura	°C	1.9		
	Eficiencia	Conductividad	μS/cm	-3228.95	Análisis estadístico	Resultados del informe de ensayo
		DBO ₅	mg/L	7.296296		
		DQO	mg/L	22.74310		
		pH	Unidad	108.65248		
		Sólidos totales	mg/L	3.713108		
		Temperatura	°C	91.44		
Aguas residuales domésticas V. Dependiente	Tiempo de absorción	Días	Unidad	38	Calendario	Ficha de seguimiento
		DBO ₅	mg/L	100		
	Parámetros físicos químicos	DQO	mg/L	200	Ensayos de laboratorio	Informe de ensayo
		pH	Unidad	6.5 <> 8.5		
		Sólidos totales	mg/L	150		
	Parámetros- nivel de contaminación Límites Máximos Permisibles	Temperatura	°C	>35		
		Conductividad	μS/cm	2500 <> 5000		

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

En la investigación “La eficiencia de *E. crassipes* en la remoción de contaminantes orgánicos”. Estudio que se propuso determinar la eficiencia de remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales. Para cumplir con dicho propósito la metodología utilizada es la revisión bibliográfica. Como resultados tuvieron que, en todos los artículos revisados la *E. crassipes* tuvo un efecto positivo en cuanto a la remoción de contaminantes, sobre todo aquellas de carga orgánica. Concluyen en que esta especie es adecuada para la fitorremediación de las aguas residuales que tiene alta carga orgánica como es la doméstica. (24)

La investigación titulada: “*E. crassipes* – Un absorbente eficiente y económico para el tratamiento de efluentes textiles”. El objetivo de esta investigación de nivel explicativo y diseño experimental fue identificar la eficiencia de la planta jacinto de agua en el tratamiento de agua residual textil. Los hallazgos mostraron que, la eficacia en la remoción del tinte fue de un 95%, la temperatura fue de 30°C, el pH 6.5 y los sólidos totales disueltos se

removieron en un 87%. Concluyeron en que, el uso del jacinto de agua es eficiente en la remoción natural de contaminantes como sólidos totales y otros metales que pueden estar presentes en las aguas residuales. (29)

En el artículo “Potencial de purificación de aguas residuales de *E. crassipes* (jacinto de agua)”, se señala que el propósito fue determinar el potencial remediador del jacinto de agua en las aguas residuales; concluyen que los resultados evidencian que, hubo una reducción de 87% de DQO, un 65% de DBO₅, un 41.76% de turbidez, un 2.65% de pH y un 38% de sólidos totales disueltos. Los investigadores llegaron a la conclusión de que el jacinto de agua tiene un efecto positivo en la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales por lo que recomiendan la aplicación y uso para el tratamiento de éstas. Esta investigación es de nivel explicativo, diseño experimental y longitudinal; donde la especie se estudió alrededor de dos años. (30)

El estudio “*E. crassipes* como biosorbente para el tratamiento de aguas residuales industriales: Equilibrio y estudios cinéticos”, se planteó determinar la eficiencia de la absorción de contaminantes en el agua. Para ello, realizaron primero la caracterización del agua residual; asimismo, el nivel de la investigación fue explicativo y diseño experimental. Los resultados mostraron una eficiencia de la remoción de 79.41% del DBO₅, una reducción de la temperatura de alrededor de 0.5%. Concluyeron en que la *E. crassipes* es un bioasorbente eficiente en la remoción de contaminantes como la DBO₅ presente en las aguas residuales de origen industrial. (21)

2.1.2 Antecedentes nacionales

Cáceres et al., (20) investigaron la *Eisenia foetida* y *E. crassipes* en la depuración de aguas residuales domésticas. En el artículo señalan que la finalidad fue encontrar la eficiencia de las especies estudiadas en la remoción de carga orgánica en el agua residual de origen doméstico. Para lo cual emplearon el enfoque cuantitativo, nivel explicativo, diseño experimental y los resultados fueron que, las especies de *Eisenia foetida* y *E. crassipes* removieron en un 94.48% los sólidos totales disueltos, un 98.41% de DBO₅,

un 100% de coliformes termo tolerantes y una disminución de la temperatura de alrededor de 5% en la temperatura. Los investigadores llegaron a la conclusión de que el uso de *Eisenia foetida* y *E. crassipes* contribuyen en la reducción de los contaminantes presentes en las aguas residuales de origen doméstico.

En la revisión sistemática de la eficiencia de remoción de la *E. crassipes* en aguas residuales, domésticas. La metodología empleada es de nivel descriptivo, explicativo y diseño experimental. Los resultados fueron que, la *E. crassipes* logró una remoción del 98.5% de turbidez y un 79.18% de DQO. Concluyen en que la especie *E. crassipes* tiene una eficiencia adecuada para la remoción de contaminantes que están presentes en el agua residual doméstica. (22)

El tratamiento de aguas residuales mediante la fitorremediación en la ciudad de Moyobamba, trabajo de investigación que tuvo como propósito determinar el efecto del uso de la *E. crassipes* en la remoción de contaminante de aguas residuales. Para tal fin, se empleó la metodología de nivel explicativo y diseño experimental. Los resultados fueron que la DBO₅ se removió en un 95.24%, la DQO en un 93.03% y los aceites y grasas en un 94.82%. Concluye en que el tratamiento con *E. crassipes* tuvo una efectividad alta en cuanto a remoción de los parámetros que se analizaron contribuyendo así al control de la contaminación de ríos u otros cuerpos hídricos por aguas residuales sin tratamiento. (23)

En la tesis titulada: Análisis del nivel de fitorremediación de mercurio utilizando *E. crassipes* y *Lemna minor* en una muestra de agua contaminada artificialmente cuyo propósito es identificar el nivel de absorción de las especies anteriormente mencionadas en aguas contaminadas artificiales. Para alcanzar este objetivo el investigador empleó la metodología de nivel explicativo de diseño experimental. Los resultados mostraron que a la semana 4 la remoción fue mayor de *E. crassipes* en comparación a *Lemna minor*, teniendo una disminución promedio de 3 ppm., es decir, la eficiencia de remoción es mejor en la especie de *E. crassipes* frente a la *Lemna minor*. (31)

En la investigación Eficiencia del jacinto de agua *Eichhornia crassipes* y lenteja de agua *Lemna minor* en la remoción de cadmio en aguas residuales; cuyo objetivo fue determinar el nivel de efectividad de remoción del metal pesado cadmio presente en las aguas residuales de tipo industrial. El tipo de la investigación fue aplicada, nivel explicativo y diseño experimental. Los resultados fueron que el pH en los días de análisis tuvo un promedio de 6.8; asimismo, en cuanto a la conductividad eléctrica en el día 12 se pudo apreciar 480 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en el ensayo 3, la temperatura disminuyó en el ensayo 3 registrando 19°C; finalmente la concentración de cadmio en el tercer ensayo fue de 0.28 mg/L. La conclusión fue que la especie de *E. crassipes* es más eficiente que la especie *Lemna minor*. (32)

2.1.3 Antecedentes locales

En la tesis “Efectos de la *Eichhornia crassipes* en la remoción de mercurio en efluentes mineros provenientes de la minería artesanal”; cuyo propósito fue identificar la eficiencia de *E. crassipes* como absorbente de mercurio de las aguas residuales de una minería artesanal. Para ello se usó la metodología de nivel explicativo, diseño preexperimental a un grupo. Los resultados evidenciaron que el 77% de mercurio se removió al día 10 de evaluación. Concluyen en que la especie de *E. crassipes* es eficiente en absorción del contaminante de mercurio en aguas residuales provenientes de la actividad minera. (33)

La tesis “Evaluación del potencial de fitorremediación de *Isolepis cernua* y *Nasturtium aquaticum* para el tratamiento secundario de efluentes de curtiembres del Parque Industrial Río Seco–Arequipa”; para determinar el efecto remediador de la planta originaria de la región de Arequipa. Para ello, la investigadora empleó en su estudio el diseño experimental, y elaboró 8 sistemas de tipo híbrido paralelos, donde el agua proveniente de una curtiembre fue caracterizada. Los resultados mostraron que las especies *Isolepis cernua* y *Nasturtium aquaticum* removieron en un 98.64% el cromo, un 98.88% la DBO₅, un 96.84% de DQO y fue un 93.76% los sólidos totales

disueltos. La investigadora llegó a la conclusión de que, el uso de estas especies contribuye en la remoción de mercurio, DBO₅, DQO y SST. (34)

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Aguas residuales

Las aguas residuales están compuestas por diferentes tipos de aguas por su procedencia y que su composición fue afectada por agentes antropogénicos, entre las aguas residuales tenemos por su procedencia: municipales, industriales, agrícolas, pecuarias, domésticas o la conjunción entre ellas; las cuales al ser evacuadas modifican la composición por lo que es necesario realizarles un previo tratamiento para poder ser reutilizadas por industrias o para ser echadas a los cuerpos naturales de agua o dispensadas al sistema de alcantarillado (35).

La importancia de las aguas residuales conlleva a realizar diferentes tratamientos para mejorar su composición.

2.2.2 Clasificación de aguas residuales

A continuación, se presenta la clasificación de aguas residuales (36):

- Aguas residuales domésticas (aguas negras). Estas se definen como aquellas aguas que tienen como origen el residuo tanto de la limpieza de los hogares, limpieza personal, así como las heces y orina humana, estas aguas contienen microorganismos y materia orgánica, presentan también residuos de detergente, lejía entre otras sustancias de limpieza o desinfección.

Las aguas residuales domésticas tienen un porcentaje de 99.9% de agua y solo un 0.1% de partículas que están en suspensión, también conocidos como coloides, estas partículas a pesar de su pequeña porción en las aguas residuales son las que ocasionan problemas al momento de tratar estas aguas. (37)

- Aguas blancas o de lluvia. Las aguas blancas o agua de lluvia tienen diferentes orígenes como los deshielos y aquellas que son de riego de parques, calles o espacios públicos (38).
- Aguas residuales industriales. Proviene de diferentes procesos industriales, las cuales en sus operaciones o etapas productivas generan diferentes tipos de residuos como aceite, detergente, aceites de origen animal o vegetal, que luego se mezclan con el agua generando así el agua residual industrial; cabe mencionar que las características de esta agua van a depender mucho del rubro de la industria (38).
- Aguas residuales agrícolas. Tienen dentro de su composición residuos agrícolas, y que por su naturaleza pueden o no tener tratamiento (38).

2.2.3 Clasificación de contaminantes en aguas residuales

El agua tiene tres clasificaciones: superficiales, subterráneas y meteorológicas (39); estas, al entrar en contacto con el ser humano, el suelo o el aire, adquieren restos de diminuto tamaño e impurezas, que alteran su composición natural, causando daños al ambiente y al ser humano (40).

Una vez que el agua ha sido extraída de su efluente natural, ya se encuentra contaminada debido a que entró en contacto con elementos externos. El agua que se utiliza en las industrias agrícolas contiene una variedad de contaminantes (fertilizantes, pesticidas, sales); el retorno de aguas utilizadas en pueblos y ciudades que son aguas municipales lleva diferentes desechos generados por el ser humano o por las industrias, los cuales vierten el agua que está a altas temperaturas afectando así a la flora y fauna. El sector industrial es el que más perjudica, porque la mayoría de sus residuos tienen contaminantes químicos (40).

- Contaminantes biológicos. El agua contiene contaminantes de acuerdo con la calidad y su clasificación, pueden ser físicas, químicas o biológicas. Las impurezas en las características químicas son provenientes de contaminantes orgánicos e inorgánicos; en el caso de los contaminantes orgánicos causan la reducción del oxígeno ocasionado por la privación biológica de los compuestos y los contaminantes

inorgánicos que conlleva a un resultado desfavorable y una consecuencia de toxicidad y la pérdida de biodiversidad (41).

- Contaminación antropogénica. La contaminación del agua está clasificada en natural (sin intervención humana) y antropogénica. La contaminación antropogénica o por acción del hombre, en su mayoría se da por las actividades de minería, agricultura, ganadería, sector artesanal y doméstico; las cuales son las que causan mayor contaminación por la gran variedad y cantidad de contaminantes que producen (41).

Encontramos variedad de contaminantes como fenoles que son utilizados en su gran mayoría en los procesos de producción de químicos, bactericidas, medicamentos, agroquímicos, etc., cianuro que es considerado letal ya que actúa con gran rapidez y puede encontrarse en estado gaseoso, es utilizado en la minería para el proceso de separación de metales (lixiviación); el cromo y detergentes, estos contaminantes producen daños al medio ambiente; la infiltración de estas sustancias químicas en los niveles freáticos, son perjudiciales para el ser humano, afectando su salud y al ambiente (41).

2.2.4 Características de las aguas residuales domésticas

Los agentes de las aguas residuales son: físicos, químicos y biológicos en su constitución, la cual depende mucho del sistema de disposición y recogida que se tenga en cada ciudad, los cuales muchos de estos son perjudiciales, por lo que, necesitan ser tratadas (35).

Las aguas residuales domésticas (36) por su composición son poco uniformes, lo que hace más fácil los procesos de tratamiento, distinguiéndose ampliamente de las aguas de procedencia de la industria. Aun, siendo aguas residuales derivadas de los restos, dependerá su composición de los hábitos de alimentación, cantidad de agua utilizada, productos de limpieza empleados, entre otros.

Las aguas residuales domésticas tienen tres características resaltantes, desde un punto de vista sanitario y de tratamiento, las aguas residuales

domésticas se caracterizan por la cantidad de los sólidos presentes, las sustancias biodegradables y la gran cantidad de microorganismos (35).

2.2.4.1 *Características físicas:*

El agua residual contiene sólidos, sedimentos materia coloidal disuelta en su composición, siendo las características físicas las siguientes: (35).

- Sólidos totales. Estos se obtienen después de los procesos de evaporación del agua a 103°C y 105°C, no se considera la materia que se expuso al proceso de evaporación y se perdió por la alta presión de vapor (35).
- Temperatura. La temperatura suele ser elevada, en relación con el agua que se utiliza para el aseo personal y las del consumo, en las diferentes tareas domésticas (10°C y 21°C) (35). Estas altas temperaturas, perjudican los cuerpos de agua al momento de su vertimiento, ocasionando una posible modificación en la flora, fauna y provocando la proliferación de algas, hongos, etc. La temperatura del agua es importante para el crecimiento de vida en el agua.
- Color. El agua residual que recién se ha vertido suele tener un color grisáceo, pero al transcurrir los días se va tornando de color gris oscuro a color oscuro (negro), esto se debe a las condiciones cercanas a las anaerobias (sin presencia de oxígeno) (35).
- Turbidez. La turbidez nos indica como parámetro de aguas residuales, la calidad relacionada con las partículas suspendidas presentes en el agua (35). Las cantidades diversas de materia en suspensión (materia orgánica, limo, microorganismos), afectan la penetración de la luz solar causando un menor rendimiento primario.
- Olor. El olor del agua va a depender de su grado de septización, las aguas residuales que son recientes tienen un olor tolerable, pero mientras pasen

los días y se vaya agotando el OD en el agua, entrarán los microorganismos anaerobios en juego reduciendo los sulfatos y sulfitos a sulfuros. Si el agua tiene hierro, reacciona convirtiéndolos en sulfuro de hierro, lo que ocasiona un olor desagradable y gases por la fermentación (anaerobia) característica de aguas sépticas (35).

2.2.4.2. Características químicas

Algunas de las características químicas que presentan las aguas residuales de procedencia doméstica son: (36).

- **Materia Orgánica.** Los componentes de la materia orgánica encontrada en las aguas residuales van de un 40 a 60% de proteínas, un 25 a 50 % de carbohidratos y un 10% de aceites y grasas (36).
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).** Es el requerimiento de los microorganismo de oxígeno, para que puedan degradar la materia orgánica, este análisis se realiza entre los 3 o 5 días a una temperatura de 20° C, una de las ventajas que tiene este tipo de análisis realizado a las aguas residuales es que nos indica la cantidad de materia orgánica biodegradable, importante en el tratamiento biológico, el tiempo de demora del análisis es una desventaja ya que no permite identificar si es una demanda de oxígeno carbonado o nitrogenado (36).
- **Demanda química de oxígeno (DQO).** Indica la cantidad de oxígeno que fue necesario en la oxidación en condiciones definidas de materia orgánica (MO) en el agua, para ello, su determinación deberá ser de forma rápida una vez recogida la muestra, para evitar así la oxidación natural (42).
- **Materia inorgánica.** La materia inorgánica tiene una variada composición de componentes naturales e inorgánicos los cuales ayudan a determinar la calidad del agua. Es necesario evaluar la concentración de compuestos

inorgánicos en su mayoría los que fueron añadidos al agua posterior a su uso (36).

- **Potencial Hidrógeno pH.** El pH es un parámetro sumamente importante en las aguas naturales y residuales. La acción biológica se va desarrollando dentro de un pH mayormente estricto, sus valores se encuentran entre 5 a 9. Las aguas residuales con un pH inadecuado dificultan el tratamiento biológico, y el vertimiento en los cuerpos de agua natural sin un tratamiento realiza cambios en su pH (36), la característica de las aguas residuales en cuanto a su pH es que es muy próximo al neutro. El pH con su efecto directo e indirecto puede llegar a influenciar la toxicidad de algunas sustancias lo que depende de su grado de disociación.
- **Cloruros.** Se encuentran de manera natural en el agua por el contacto con el suelo o las rocas que cuentan con cloruro, aquellos que están en el agua se deben también a las disposiciones de aguas residuales domésticas, industriales, los restos fecales también contienen cantidades de cloruro, las cuales son perjudiciales para el agua (36).
- **Alcalinidad.** La alcalinidad se provoca por la cantidad de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos que son encontrados en las aguas residuales como el Ca, Mg, Na, K, amoníaco, entre otros. La alcalinidad del agua aporta cambios en el potencial hidrógeno (pH) provocado por añadidura de ácidos (36).
- **Nitrógeno.** Fundamental en el desarrollo de vida de los protoctistas y flora ya que actúan como nutriente y bioestimuladores, la carencia de N (nitrógeno) causa alteraciones bioquímicas en los organismos reduciendo así su crecimiento. El nitrógeno contribuye de manera especial al agotamiento de oxígeno en el agua y causando la eutrofización cuando se encuentra las concentraciones elevadas (36).

El nitrógeno que encontramos en las aguas puede encontrarse como urea y en proteínas, estos compuestos los degradan las bacterias fácilmente transformándolos en amonio y más adelante producen nitrito y nitratos, el pH y la T del agua influyen sobre las distintas conversiones de las diferentes formas de nitrógeno. Los nitritos por su característica son inestables (36).

El amoníaco formado por la degradación de la urea y proteínas es un gran indicador indirecto de contaminación fecal. El amonio es tóxico para muchas especies de microorganismos encontrados en las aguas residuales (36).

- Fósforo. Contribuyentes en el crecimiento de organismos, los encontramos en aguas residuales como ortofosfatos, polifosfatos y fosfato orgánico, la demanda de fósforo para los organismos es más baja en comparación con el nitrógeno. El fósforo también está comprometido con el proceso de eutrofización (si se encuentra en exceso) (36).

Es importante controlar las cantidades de fósforo (tripolifosfato de sodio) que encontramos en las aguas contaminadas, en su mayoría componentes de los detergentes de uso doméstico, en la actualidad se están sustituyendo por algunos compuestos como sal sódica del ácido nitrilotriacético (36).

- Azufre. Necesario para la síntesis de proteínas liberadas en el proceso de descomposición, los microorganismos en su mayoría usan sulfatos como su fuente de azufre, hay muchas especies que necesitan este compuesto en pocas cantidades para su biosíntesis (36).
- Compuestos tóxicos. Algunos compuestos que encontramos en el agua residual son tóxicos para los microorganismos y organismos, y por esta razón son muy importantes en cuanto al vertimiento que se puede realizar

sobre estas masas de agua, ya que si no es controlada puede llegar a destruir la biota acuática o juntarse afectándola directamente (36).

- Oxígeno disuelto. Importante por ser necesario para que los microorganismos puedan respirar y la vida de flora y fauna acuática. El oxígeno es ligeramente soluble en el agua, la rapidez de las reacciones bioquímicas que agotan el oxígeno aumenta críticamente en las épocas del año donde las temperaturas ascienden (36).

Tabla 2. *Compuestos encontrados en el agua residual*

Úrea, amoníaco, proteínas	Contribuyentes de fuentes de nitrógeno.
Aminoácidos	Parte de la descomposición de proteínas.
Azufre, hierro, fósforo	Proveniente de la materia orgánica.
Azúcares	Encontramos lactosa, glucosa, sacarosa, fructuosa, galactosa; también podemos encontrar celulosa, almidón y lignina.
Ácidos	Acético, propiónico, butírico, láctico y cítrico.
Grasas	Estas son descompuestas poco a poco por bacterias, si actúan los ácidos minerales sobre estas no dan como resultado glicerina y ácidos grasos; así mismo si reaccionan con los álcalis se tiene como resultado glicerina y jabones que son sales (alcalinas) proveniente de ácidos grasos. Características: - Menos densas. - Intervienen en el proceso de tratamiento y vida biológica. - Favorece al ambiente anaerobio (degradación más lenta y produce malos olores).
Moléculas orgánicas sintéticas	Agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas.

Nota. Se puede identificar los compuestos de las aguas residuales domésticas de acuerdo con su origen Adaptado (36)

2.2.4.3 Características biológicas

De acuerdo con su concentración y la composición puede llegar a contener grandes cantidades de micro y macroorganismos, teniendo en cuenta que la temperatura y el pH influirán ya que muchos organismos necesitan valores adecuados de estos parámetros para desarrollarse. Se encuentran los siguientes organismos (36):

- Bacterias. Encontramos bacterias originadas en los residuos fecales o que están comprometidas con la biodegradación. Las bacterias coliformes se utilizan como señalizadores de contaminadores de medio ambiente, de los vertimientos antropogénicos (36).
- Virus. Proviene de las excreciones de individuos que se encuentran infectados, sea un ser humano o un animal, los virus se caracterizan por absorber a los sólidos fecales y material particulado, que ayuda a esta forma de subsistencia por tiempos largos en las AR (36).
- Algas. La presencia de compuestos como el fósforo y nitrógeno entre otros compuestos químicos favorecen al desarrollo de las algas en las aguas residuales, ocasionando eutrofización, algunas de las algas son de los géneros *Anayistas*, *Anabaena*, *Gleocystis*, entre otras (36).
- Hongos. Son aerobios estrictos, son tolerantes a pH un poco bajo, baja demanda de N desempeñando un rol importante para el tratamiento de aguas residuales; como *Geotrichium*, *Mucor*, *Aureobasidium*, *Subbaromyces* (36).
- Protozoos. Los protozoos ingieren microorganismos estos son importantes para procesos de tratamiento biológico ya que tienen la capacidad de conservar un equilibrio en los microorganismos (35). Encontrados mayormente en las aguas residuales tenemos amebas, flagelos, ciliados (libres y fijos) (36).

El tratamiento de aguas residuales consiste en descartar los contaminantes realizando un tratamiento adecuado para verter las aguas residuales al canal de agua natural (35). La clasificación para tratar las aguas residuales son muchas. Una adecuada combinación y selección ayudará a tener un correcto resultado al tratamiento realizado (43).

2.2.4.4. *Parámetros de las aguas residuales*

Entre los parámetros fisicoquímicos, para evaluar el agua residual doméstica, indicados por DIGESA- GESTA resaltan los siguientes (44):

Tabla 3. *Características de los principales niveles de tratamiento*

Nivel de Tratamiento	Mecanismos predominantes	Contaminantes removidos	Eficiencia de reducción
Preliminar	Físico	Sólidos gruesos (residuos, arenas).	SS: < 10%
		Acondicionamiento químico (pH)	DBO: < 10% Coliformes: = 0% Nutrientes: = 0%
Primario	Físico	Sólidos suspendidos sedimentables. Materia orgánica suspendida (parcialmente).	SS: 40-50% DBO:25-35% Coliformes: 30-40% Nutrientes: < 20%
		Sólidos suspendidos sedimentables y no sedimentables. Materia orgánica suspendida (parcialmente).	SS: 70-85% DBO:45-55% Coliformes: 60-90% Nutrientes: < 20%N; 5095%P
Primario avanzado	Físico y químico	Fósforo	SS: 60-99%
Secundario	Biológico químico	Sólidos no sedimentables.	SS: 60-99%
		Materia orgánica suspendida fina/soluble (parcialmente).	DBO:60-99% Coliformes: 60-99% Nutrientes: 10-50%
Terciario	Biológico químico	Contaminantes específicos.	SS: >99%
		Materia orgánica fina y soluble (pulimento). Nutrientes. Patógenos (principalmente)	DBO: >99% Coliformes: >99,9% Nutrientes: >99%

Nota. Se muestran las características de los principales niveles de tratamiento. Elaboración propia, 2022.

- Potencial de hidrógeno. El valor pH del agua es la unidad de medida que expresa el estado ácido o básico de su contenido. El valor de pH del agua

varía entre 0 y 14. 0 - 7 significa agua ácida, 7-14 significa agua básica, 7 es un grado neutral (45).

El pH del agua también incluye valores de 0 a 14. 0 a 7 se llama agua ácida, 7 es neutra y de 7 a 14 es agua alcalina. El agua pura tiene un pH de 7. La naturaleza ácida del agua significa que contiene dióxido de carbono adicional, y su característica alcalina significa que contiene bicarbonato de calcio y sales alcalinas adicionales. Además, la presencia de potasio, calcio y magnesio en su contenido reduce la acidez del agua (45).

- Conductividad. La conductividad al momento de realizar la medición está sujeta al tipo de ion disuelto y la temperatura del agua, es la capacidad eléctrica que tiene una solución y esta depende de la valencia, movilidad, temperatura y concentración (45).
- Temperatura. Dentro de las aguas residuales la T° cumple un rol muy importante ya que tiene una influencia para el desarrollo y vida de organismos acuáticos. La T° es un indicador primordial del estado en el que se encuentra el agua, puesto que interviene en el proceder de los demás indicadores (pH, déficit de OD, conductividad, variables físicas y químicas) (45).
- Coliformes termo tolerantes. Estos son diferentes a los de *Escherichia coli* pueden provenir de aguas orgánicas, aguas industriales, residuos vegetales o suelos en putrefacción (45).
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Una manera favorable de examinar el agotamiento del oxígeno producto de la degradación de la materia orgánica es realizando mediciones como el DBO₅, ya que nos muestran la cantidad de materia orgánica en forma general pero sus componentes no, debido a que son variados. Está compuesta por: carbohidratos, lípidos, proteínas y otros en proceso de degradación porque se originan de los organismos (45).
- Demanda química de oxígeno (DQO). Cantidad de oxígeno que se necesita para que se oxide químicamente la materia orgánica o inorgánica que se encuentra en el agua expresada en mg/L.

El valor de la demanda química de oxígeno asiduamente será mayor al de DBO₅, ya que muchas de las sustancias que son encontradas en el agua

se oxidan de forma química y no biológica, encontraremos materia orgánica como carbohidratos, proteínas, grasa e inorgánica como nitritos, amoníaco, sulfuros, cloruros y hierro ferroso (45).

- Sólidos totales en suspensión. Producto de la erosión por el tiempo de los suelos, algunos como el limo, arena, virus; mayormente son los causantes de los residuos que encontramos en el agua ya que son partículas pequeñas que están suspendidas las que pueden dar turbidez, gusto u olor en el agua (45).

2.2.4.5. Muestreo de aguas residuales

Para realizar el muestro de las aguas residuales, se debe tener en cuenta una guía como base al momento de la recolección de las muestras según los parámetros que se desean evaluar.

Un muestreo efectivo nos permite tener resultados de la calidad de agua, teniendo como principal objetivo evaluar los contaminantes que la componen y poder tratarlas.

El muestreo simple o puntual, quiere decir que la investigación se realiza en un tiempo y lugar determinado y posteriormente se analiza la muestra. El muestreo se realiza en aguas residuales de flujo continuo.

2.2.4.6. Consideraciones para el monitoreo de aguas Residuales Domésticas

Para el monitoreo de aguas residuales debe considerarse lo siguiente:

- Previo a la toma de muestra, se debe realizar un enjuague de los envases con el agua que se muestreará, esto no aplica para el muestreo de microorganismos o para componentes orgánicos.
- Se sostiene los frascos de la parte media, no por la tapa.
- Se debe cuidar de no introducir materia extraña alguna a la corriente o fuente de agua.
- Para comenzar la toma de muestra de microorganismos, de preferencia tomarlas con la mano y evitar el uso de la extensión telescópica.

- Sumergir el recipiente en la fuente hídrica. El frasco no debe rebasar su capacidad, esto con el propósito de que haya un espacio para la homogenización y el mezclado.
- Seguidamente tomar muestras en los recipientes para compuestos orgánicos, empezando por los aceites y grasas, tapar y conservar.
- En un recipiente adicional tomar una muestra y procesar con la medición de la temperatura.
- Previo a la medición in situ, cerciorarse de que las zonas estén libres de contaminante y limpias.
- Para las muestras in situ, debe realizarse directamente en el punto de muestreo; asimismo, recoger una muestra adicional en un envase de boca ancha. Si la temperatura registra valores mayores a 50°C realizar mediciones de cloro, pH, conductividad, etc. (52)

2.2.5 Fitorremediación

La fitorremediación, que es una técnica en la que se utilizan plantas para eliminar metales pesados, fito significa (planta) y remedium (curación) en latín. La fitorremediación es una técnica de biorremediación que utiliza una variedad de especies de plantas asociadas para eliminar, transportar, estabilizar y destruir contaminantes en el suelo, sedimentos, aguas residuales, aguas subterráneas y aire. Las plantas pueden manifestar la presencia de sustancias orgánicas o inorgánicas tóxicas, inhibirse o acumularse en grandes cantidades. Por lo tanto, contribuyen significativamente al destino de los productos químicos y pueden utilizarse para eliminar componentes no deseados de la biosfera. La fitorremediación ofrece un enfoque ecológico, rentable y neutral en carbono para eliminar los contaminantes tóxicos del medio ambiente (46).

El uso de plantas permite entre muchas otras cosas estabilizar contaminantes también, volatilizarlos degradarlos, mineralizarlos, removerlos, transformarlos y finalmente reducirlos (47)(48)(49) (50).

Tabla 4. Ventajas y desventajas de la fitorremediación

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Considerada como tecnologías sostenibles, porque sus procesos son naturales.	El proceso en algunos casos y dependiendo de la cantidad a tratar puede demorar un poco.
La eficacia para la disminución de diferentes contaminantes en el lugar (<i>in situ</i>).	De no tener un ambiente adecuado para el cuidado depende de los cambios de estación
Aplicado en aguas que contienen bajas o regulares tipos de contaminantes	Se limita su crecimiento por cantidades excesivas de contaminantes.
Es costo efectivo, el mantenimiento no necesita personal especializado, no precisa energía.	Se acumulan contaminantes en las hojas que pueden ser liberaos al medio ambiente.
S su mantenimiento y control es adecuado no tiene efectos perjudiciales para el medio Ambiente.	No todas las especies de plantas toleran y acumulan contaminantes.
En el proceso de fitorremediación no genera contaminantes.	Si el contaminante es soluble puede ser perjudicial por su incremento, siendo perjudicial para el ambiente.
El modelo empleado en el proceso de fitorremediación es aceptado, ya que son plantas ornamentales.	Es necesario áreas espaciosas.
Es potencialmente adaptables para el tratamiento de diferentes tipos de contaminantes peligroso.	Dependiendo del lugar puede causar el aumento de mosquitos.

Nota. Se muestran las ventajas y desventajas de la fitorremediación. Elaboración propia, 2022

2.2.5.1 Fitorremediación acuática

Muchas plantas acuáticas son consideradas como un problema, debido a su rápido crecimiento; ya que, generan un enriquecimiento de nutrientes amenazando el balance de la flora y fauna del cuerpo de agua donde se encuentran (51).

Actualmente se considera que si estas plantas se manejan de una forma adecuada son útiles porque tiene la capacidad de acumulación y remoción de contaminantes. En algunos países europeos se implementó sistemas de tratamientos de aguas con fitorremediación a comienzos de 1960, ellos usaron plantas endémicas de la zona como juncos y carrizos. Los sistemas de fitorremediación se han diversificado y perfeccionado, por eso su

aplicación y utilización es cada vez mayor. La fitorremediación favorece a la remoción en el lugar (51).

2.2.5.2 Sistemas de fitorremediación acuática

Núñez et al., (51) clasifica los sistemas de fitorremediación acuática en de cuatro aspectos:

- Humedales construidos. Son diseñados por el hombre que simulan humedales naturales para su beneficio, conformados por sustratos saturados y vegetación con gran capacidad de fotosíntesis y crecimiento, emergentes y subemergentes, fauna y flora. (51).
- Sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes. Se consideran los depósitos de agua naturales o semi construidos donde se colocan las plantas acuáticas para tratar aguas contaminadas (51).
- Sistema de tratamiento integral. Es el conjunto de tratamiento mediante el empleo de especies acuáticas flotantes y humedales construidos (51).
- Sistema de rizofiltración. Este sistema tiene gran eficiencia de remoción en aguas residuales industriales (sector agrícola, lechero, papeler, textil, azucarero, curtiduría, destilería, aceitero, galvanizado y metalúrgico) con metales pesados, nitratos, fosfatos, virus, bacterias entre otros (51).

2.2.5.3 Tipos de fitorremediación

- Fitoestabilización. En la fitoestabilización, la especie inmoviliza los contaminantes que están en el suelo en un proceso de absorción y acumulación la cual está en la parte de las raíces, también por precipitación en la parte de la rizosfera, este proceso inmoviliza a los diferentes contaminantes previniendo que se distribuyan a las aguas subterráneas, se realiza mayormente el proceso de fitoestabilización en terrenos amplios y contaminados superficialmente (52).

- Rizofiltración. Este mecanismo utiliza plantas tanto terrestres como acuáticas para absorber, condensar y precipitar el metal del agua contaminada (superficial o subterránea) (52).
- Fitoextracción o fitoacumulación. En la fitoextracción o fitoacumulación son las raíces las cuales absorben los contaminantes como metales y para luego acumularla en su tallo y en sus hojas. Las especies utilizadas para este tipo de remediación son posteriormente cortadas, y llevadas a disposición final (26).
- Fitovolatilización. En este mecanismo, las plantas absorben el agua que contiene contaminantes orgánicos y los contaminantes se liberan al aire a través de las hojas de las plantas. A medida que el agua viaja a través del sistema vascular de la planta desde la raíz hasta las hojas, los contaminantes en el agua pueden modificarse y luego evaporarse o volatilizarse en el aire que rodea a la planta (26).
- Fitodegradación. En la fitodegradación son las plantas y los microorganismos que están en las especies las que degradan los contaminantes presentes, estos los desintoxican o también pueden mineralizarlos convirtiéndolos en CO_2 y H_2O . En la fitodegradación los contaminantes se metabolizan en el tejido de la planta las cuales producen enzimas como la dehalogenasa y la oxigenasa, las cuales ayudan a catalizar la degradación (52).
- Fitoimmobilización. Las plantas generan compuestos químicos entre el suelo y sus raíces, así generan la inactividad de las sustancias contaminantes tóxicas, implica procesos de absorción, adsorción o se precipitan, disminuyendo así los contaminantes (53).

2.2.5.4 Plantas acuáticas

Existen diferentes formas de referirse a las plantas acuáticas, en muchos textos hacen referencia a plantas que se acrecientan y realizan su ciclo biológico en los medios acuáticos, otros que son plantas que de forma eventual pasan su vida en el agua (54).

2.2.5.4.1 *Hidrófitas o macrófitas acuáticas*

Las hidrófitas o macrófitas acuáticas son plantas que cuentan con estructuras vegetativas completas; es decir, están conformadas por una raíz, un tallo y hojas; las cuales pueden ser sumergidas o flotantes. Dentro de estas, también se incluyen otras especies vasculares como algunos briófitos y algas carófilas; entre ellas están por ejemplo la lenteja de agua, la manzanilla y el miriofila (54).

Estas plantas contribuyen en procesos de fitorremediación ya que su habilidad para asimilar algunos contaminantes que se encuentran en el agua, permite la detección y remoción de diferentes sustancias encontradas en los efluentes de aguas residuales industriales o domésticas. Los micrófitos de agua requieren indudablemente del agua para poder seguir con vida, en la cual puedan estar enraizados a un sustrato de manera libre (54).

2.2.5.4.2 *Funciones de las macrófitas en los mecanismos de remoción*

Las macrófitas se caracterizan por ser un componente de suma importancia en los humedales, cumplen la función de estabilizadores previniendo así taponamiento en la matriz. También da una gran cantidad de beneficios en la filtración física y la proliferación microbiana.

Son en parte responsables de la transferencia de oxígeno a la rizosfera; en lugares que presentan el clima templado tiene la capacidad de ser un aislante térmico. El tejido que ya se encuentra muerto en la época del invierno forma una capa protectora de la disminución de la temperatura, las macrófitas son el hábitat de fauna salvaje, es favorable a la vista ya que no se da un contraste abrupto con el medio ambiente (52).

2.2.5.4.3 *Tipos de plantas acuáticas*

Con base en la forma de vida de especies acuáticas en los sistemas de fitorremediación acuática se clasifican en los siguientes grupos (51):

- a. Emergentes. Las plantas emergentes, cuentan con la raíz sumergida en los sedimentos, la parte superior de la planta llega hasta la superficie del agua, gracias al largo de sus hojas le permite desarrollarse de manera rápida. Sus estructuras reproductoras se encuentran la parte superior de la planta (53).

- b. Flotantes. Se dividen en dos grupos:
 - Plantas de libre flotación (no fijas): En el caso de estas plantas sus tallos, hojas crecen encima del agua, sus raíces no se encuentran fijas en ningún sustrato y sus hojas están colgando, las partes vegetativas y las de reproducción están emergentes (53).
 - Plantas de hoja flotante (fijas): Sus hojas se encuentran sobre la superficie acuática y sus raíces están fijadas en los sedimentos (53).
 - Sumergidas. Se encuentran sumergidas debajo del agua, sus órganos de reproducción pueden encontrarse emergente o sumergidos en el agua (53).

2.2.5.4.4 Criterios para seleccionar especies de plantas

Durante el desarrollo de fitorremediación de aguas residuales, la remoción, dependerá de la especie de planta que se utiliza, cómo se encuentren las plantas (crecimiento), si se encuentran en su estación y el o los tipos de contaminantes que se tratará. Para tener un resultado óptimo se debe contar con las siguientes características (53).

- Registro de tolerancia a contaminantes.
- Tener un rápido crecimiento, alta productividad y resistencia.
- Ser especies locales o que sean adaptables.

2.2.5.5 Funciones de la fitorremediación acuática

Éstas involucran por lo general la absorción de los contaminantes presentes en las Aguas Residuales (AR), (51), los metabolismos de las especies acuáticas durante el proceso de bioabsorción pueden ser de tres tipos: los físicos los cuales se sedimentan, filtran, adsorción o volatilizan, los químicos por precipitación, hidrolisis, reacciones de óxido- reducción o foto químicas y biológicos, que corresponde con el resultado del metabolismo microbiano, de plantas o resultado de bioabsorción).

Tabla 5. Función de las plantas acuáticas en los sistemas de tratamiento

Parte de la Planta	Función
Raíces o tallos sumergidos	<ul style="list-style-type: none">- El sustrato para el crecimiento bacteriano.- Principal medio para el proceso de filtración y absorción de residuos sólidos.- En ellos se realiza la bioadsorción y almacenamiento de contaminantes.- Atenúan la luz del sol y así puedan evitar el crecimiento de algas suspendidas.- Reducen la transferencia del viento sobre el agua.
Tallos y hojas emergentes	<ul style="list-style-type: none">- Reducen la transmisión de gases y calos entre la atmosfera y el agua.- Traslada el oxígeno desde las hojas a la raíz.- Traslada, acumula los contaminados absorbidos.

Elaboración propia, 2022

Al tratar aguas residuales uno de los procesos que se realizan es el que la materia se degrade, función que cumplen los microorganismos que encontramos en los alrededores de las plantas específicamente en sus raíces, estos (productos de la degradación) son absorbidos por las plantas junto al nitrógeno, fósforo, otros minerales. Los microorganismos utilizan de fuente alimenticia, los metabolismos que son eliminados a través de la raíz de la planta (51).

2.2.6 *Eichhornia crassipes*

La planta que se utiliza en el proceso de tratamiento mediante fitorremediación es la especie *E. crassipes* o Jacinto de agua, lirio de agua, buchón de agua, camalote, lechuguín entre otros nombres como la conocen

en diferentes países, es una planta con una tolerancia ambiental ejemplar ya que su poder de absorción en el tratamiento de aguas residuales es alto. Si bien esta planta se adapta a varias condiciones climáticas, un cambio brusco puede hacer que la planta muera; y no soporta el agua salobre, esto quiere decir que, en aguas altas en sales, la especie no se acondiciona.

2.2.6.1 Descripción

La especie *E. crassipes* tiene un tiempo de vida en condiciones óptimas de hasta 20 años. Es una especie flotante, cuyas raíces están sumergidas, son de libre flotación, cuya altura suele llegar hasta los 50 cm y como máximo puede llegar al metro, si se da las condiciones para su desarrollo, sus flores cuentan con 6 pétalos los cuales son de color azul-púrpura, es originaria de la zona Amazónica del occidente brasilero (55).

El jacinto de agua es una planta acuática perenne de flotación libre (o hidrófita) originaria de América del Sur tropical y subtropical. Con sus hojas grandes, gruesas, brillantes y ovaladas, el jacinto de agua puede elevarse hasta 1 metro (3 pies) sobre la superficie del agua. Las hojas miden de 10 a 20 cm (4 a 8 pulgadas) de ancho en un tallo flotante por medio de un bulbo flotante en forma de nódulos en la base sobre la superficie del agua. Tiene tallos largos, esponjosos y bulbosos. Las raíces peludas que cuelgan libremente son de color negro púrpura. Un tallo erecto sostiene una sola espiga de 8 a 15 flores (55).

2.2.6.2 Taxonomía

La *E. crassipes* es una macrófita acuática cuya clasificación taxonómica vemos en el siguiente cuadro (56):

Tabla 6. Taxonomía de *E. crassipes*

Dominio:	<i>Eukaryota</i>
Reino:	<i>Plantae</i>
Filo:	<i>Spermatophyta</i>
Subphylum:	<i>Angiospermae</i>
Clase:	<i>Monocotyledonae</i>

Orden:	<i>Pontederiales</i>
Familia:	<i>Pontederiaceae</i>
Género:	<i>E.</i>
Especie:	<i>E. crassipes</i>
Categoría de Riesgo:	Alto si no es controlado

Elaboración propia, 2022

2.2.6.3 Morfología

Sus hojas son alargadas ovaladas y/o en forma de cuchara, en forma de riñón, en forma de cuchilla, carnosos, gruesos, hinchados y de color verde brillante. Las hojas pueden disponerse circularmente en la base, así como las hojas del tallo pueden ser dentadas. Además, las hojas son carnosas o hinchadas por lo que tienen la capacidad de flotar. Las hojas se encuentran en los pecíolos que se elevan sobre la superficie del agua. Los pecíolos son como bolsas de aire carnosas y sus espacios intercelulares están llenos de aire, por lo que permiten que la planta permanezca en el agua como un tanque de aire o un flotador (55).

Los pecíolos suelen estar hinchados, de 2 a 5 cm de grosor, aproximadamente redondeados u ovalados, y a menudo alcanzan los 15 cm. Las hojas que vienen después de la base del pecíolo se ubican en vainas de 6 cm de largo. En poblaciones de baja densidad, la planta es más corta y los pecíolos están más hinchados. En poblaciones densas, las plantas son más altas y erectas, y los pecíolos están menos hinchados (55).

La planta consta de hojas espirales agrandadas, que pueden ser hasta 10 en cada individuo, y brotes con entrenudos muy cortos. Después de que se desarrollan los brotes individuales, las hojas viejas sobresalen hacia abajo, se desprenden del brote y mueren. Como resultado de esto, con el tiempo, todo el brote se hunde en el agua y muere. Las raíces se forman en masas densas de 20-30 cm de largo en la base de las hojas. Las tasas de crecimiento de los brotes de las raíces varían según los nutrientes de las plantas, y el 60 % del peso total de la planta se puede formar en condiciones de escasez de nutrientes. Los brotes de las raíces son blanquecinos en

condiciones completamente oscuras y violáceos en condiciones normales de crecimiento (55).

Periódicamente, las yemas axilares se desarrollan horizontalmente en un rango de 10 a 50 cm, como estolones, antes de que se formen los brotes jóvenes. Sin embargo, en poblaciones muy grandes, aunque las raíces crecen más rápido entrelazándose, los estolones que las conectan mueren con el tiempo (55).

2.2.6.4 Reproducción

La propagación de la *E. crassipes* se da por semilla. Luego de la floración, su péndulo tiene una ligera desviación y se evidencia una maduración de las cápsulas dando lugar a la liberación de las semillas, esto se da debajo del agua. Sus semillas son capaces de tener una germinación inmediata; además, pueden estar latentes por un largo periodo de tiempo. Asimismo, su germinación se da en condiciones aerobias y con temperatura que varían.

Las semillas germinan en primavera, mientras que las partes inferiores anegadas de agua de la vieja planta pueden reaparecer. La germinación es promovida por condiciones aeróbicas, y cuando los niveles de agua disminuyen con la ayuda del cambio de temperatura, se crean poblaciones de plántulas a gran escala en el borde de charcos fangosos. Primero, se permite que las plántulas arraiguen en el lodo, pero con el aumento de los niveles de agua, se propaga al dispersarse en la superficie del agua debido al flujo de agua. Es capaz de desarrollar estolones a partir de las yemas axilares de las hojas viejas de las plántulas en una etapa muy temprana, lo que permite la formación de nuevas plantas a partir de los estolones que se encuentran horizontalmente en la superficie (57).

2.2.7 Nivel de contaminación

Es la cantidad de un determinado contaminante que está presente en, el suelo, aire o agua, en un tiempo dado (58). El nivel de contaminación de

las aguas residuales varía según su procedencia y los diferentes factores que lo afecta, el nivel de contaminación de las aguas residuales domésticas está compuesto por diferentes tipos de contaminantes.

2.2.8 Capacidad de remoción

La capacidad de remoción es la eficiencia que tiene una determinada especie para extraer de una sustancia o contaminante presente en un medio. Uno de los tratamientos con alta capacidad de remoción es la fitorremediación que en su mayoría es empleada para retirar contaminantes presentes en aguas residuales, suelo y aire (56).

2.2.9 Normatividad

2.2.9.1 LMP para los efluentes de aguas residuales domésticas

De acuerdo con el D.S. 003-2010-MINAM (25) los parámetros considerados dentro de los límites máximos permisibles referentes a los efluentes de las plantas de tratamiento de agua residual son de acuerdo se muestra en la tabla

2.3 Definición de términos básicos

- **Fitorremediación:** conjunto de nuevas tecnologías que son utilizadas para disminuir la contaminación por medio de plantas (52).

Tabla 7. Límites máximos permisible D.S 003- 2010 MINAM

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIMIENTO A CUERPOS DE AGUA
Aceites y Grasas	mg / L	20
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	10
DBO	mg / L	100
DQO	mg / L	200
Ph	Unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en suspensión	mg / L	150
Temperatura	° C	< 35

Nota: Tomada de “Límites Máximos Permisible para los efluentes de una planta de tratamiento de agua residual”, MINAM, 2010. p 2.

- **PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- **Límites Máximos Permisibles (LMP):** Es el grado o concentración de parámetros o sustancias que provienen de una emisión, que al excederse causa daño a la salud de las personas y del medio ambiente (25).
- **Aguas Residuales (AR):** Son aquellas aguas provenientes de algún tipo de uso ya sea doméstico o industrial, en la cual tiene influencia del hombre(45).
- **Aguas Residuales domésticas (ARD):** son aquellas aguas que se originan de las viviendas generadas por actividades domésticas (45).
- **Efluente:** referido a las aguas servidas que tienen presencia de desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son generados por viviendas o industrias (25).
- **Parámetro:** dato significativo a evaluar de un tema concreto.
- **In situ:** En el lugar.
- **DBO5:** Demanda bioquímica de oxígeno.
- **DQO:** Demanda química de oxígeno.
- **ST:** Sólidos Totales
- **SST:** Sólidos Suspendidos Totales
- **pH:** Potencial Hidrogeno
- **CE:** Conductividad Eléctrica

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

3.1.1 Método de la investigación

2.3.1.1 Tipo de investigación

Investigación Aplicativa ya que un estudio aplicado tiene el objetivo de resolver problemas brindando soluciones contribuyendo a la ciencia y a la sociedad (59). La investigación presenta una solución a la problemática de aguas residuales domésticas no tratadas, las cuales son vertidas sin ningún tratamiento alguno a los cuerpos de agua.

3.1.2 Alcance de la investigación

2.3.1.2 Nivel

El alcance es Explicativo, ya que como señala Hernández et al. (60) los estudios explicativos tienen como fin determinar las causas de fenómenos o eventos que se sometieron a un estudio. Pues desarrollan estudios experimentales que se basan en antecedentes investigativos, orientándolos al

descubrimiento de las causas, consecuencias o condicionantes de la situación problemática, es decir; se busca el porqué de los hechos.

El nivel de investigación para este estudio fue explicativo, debido a que buscó explicar la disminución de contaminantes presentes en el agua residual como la DBO5, DQO, SST, pH, temperatura y conductividad; mediante el uso de la especie *E. crassipes*.

3.2 Diseño de la investigación

La investigación presenta un diseño experimental. Las variables de estudio durante el experimento fueron controladas, y se monitorearon de acuerdo con el tiempo que se estableció para el proceso de fitorremediación, desde un punto insitu donde se evaluaron parámetros físicos y químicos como la medida del grado de alcalinidad de agua (pH), la DBO₅ y DQO, que son indicadores de contaminación del agua; así como la medición de temperatura y la cantidad de sólidos totales disueltos, que se encuentran en las aguas residuales domésticas. Solo se contó con un grupo de estudio experimental, al cual se le aplicó un pretest y post test.

Por lo mencionado anteriormente este diseño preexperimental con pre y post prueba se realiza en tres fechas, en las cuales a la variable dependiente: agua residual se realiza las pruebas, pre y post prueba; por ello, el diseño apropiado para esta investigación es: (61) (62)

$$O_1 \quad \longrightarrow \quad X \quad \longrightarrow \quad O_2$$

Donde:

O₁: Observación de los parámetros del agua residual antes del tratamiento

O₂: Observación de los parámetros del agua residual después del tratamiento.

X: Tratamiento con *E. crassipes*.

Como primer paso se realizó el análisis del agua residual doméstica proveniente del distrito de Yarabamba, luego se evaluó el proceso de fitorremediación por medio de pruebas de laboratorio realizando dos mediciones, antes y después del tratamiento (63), obteniendo un total de 3 muestreos, donde se analizaron diferentes parámetros.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el distrito de Yarabamba cuenta con una población alrededor de 3 mil habitantes en la zona urbana y rural, donde la PTAR de Yarabamba abastece a cerca de 2 mil habitantes, y tiene un almacenamiento de 30 mil litros de agua tratada para ser reutilizada. La PTAR del distrito de Yarabamba, trata 30 mil litros/día de agua residuales domésticas, esta planta de tratamiento de aguas residuales solo trata el agua residual de 1207 pobladores, quienes cuentan con el servicio de alcantarillado.

Se consideró como población a las aguas residuales del distrito de Yarabamba, el cual tiene un afluente de 30 m³/día aproximado de desechos residuales que van a la PTAR de Yarabamba (8).

3.3.2 Muestra

De acuerdo con los datos obtenidos del PLANEFA(64), el consumo de agua por habitante es de 29.21 litros por día tal como se muestra en la ecuación.

$$Desecho \times persona = \frac{30000 \text{ litros afluente PTAR}}{1027 \text{ pobladores}} = 29.21 \text{ Litros/persona}$$

La muestra de aguas residuales domésticas se realizaron antes del ingreso a la Planta de Tratamiento de aguas residuales de Yarabamba, de esta forma se tuvo una muestra con las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales domésticas, para realizar el proceso de fitorremediación, y se consideró al afluente del ingreso de la PTAR de 30

m³/día (ver ecuación 3), donde el 0.086 % (equivalente a 26 litros utilizados para la muestra (24) (20) (23) (33)), para realizar el proceso de fitorremediación con la especie *E. crassipes*. Luego se tomó en cuenta el efluente de salida de 10 m³/día (ver ecuación 4), el 0.05% (5 equivalente en litros para la post prueba). Tal como se muestran en las ecuaciones 1 y 2.

- Cálculo de la cantidad del porcentaje del efluente

$$\%total \times cantidad \ de \ la \ muestra = \frac{26 \text{ litros de la muestra} \times 100\% \text{ del total}}{30000 \text{ litros afluyente PTAR}} = 0.086\% \text{ del afluyente (1)}$$

$$\%total \times cantidad \ de \ la \ muestra = \frac{5 \text{ litros de la muestra} \times 100\% \text{ del total}}{10000 \text{ litros afluyente PTAR}} = 0.05\% \text{ del afluyente (2)}$$

- Cálculo de caudal del afluyente de la planta de tratamiento:

$$Q = V.S$$

$$Q = (0.0112 * 0.031416)86400 = \frac{30m3}{día} (3)$$

Donde:

Q= caudal (m³/día)

V= velocidad (m/s)

S= Superficie (r²*π = m²)

- Cálculo de caudal del efluente de la planta de tratamiento:

$$Q = V.S$$

$$Q = (0.0038 * 0.031416)86400 = \frac{10m3}{día} (4)$$

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas

El análisis documental consiste en la interpretación de manera intelectual que da como resultado un subproducto, es decir el investigador hará una interpretación y análisis de toda la información recopilada y consultada para posteriormente realizar una síntesis. (65) En esta investigación se utilizó la técnica de análisis documental referida a los procedimientos de fitorremediación; asimismo, se indagó sobre las normas legales aplicables a esta investigación como son los LMP (25).

La técnica de observación tiene como objetivo visualizar detalladamente el hecho, fenómeno o caso, tomando información necesaria para posteriormente registrarla y analizarla (65). En esta investigación se usó la técnica de observación referida el levantamiento de información en campo.

3.4.2 Instrumentos

El instrumento de recolección de datos es un recurso que permite al investigador recopilar información necesaria de los fenómenos que se va a estudiar (65). Para este estudio se empleó la cadena de custodia, que permitió contar con medidas a adoptarse con la finalidad de preservar las muestras que posteriormente fueron analizadas en el laboratorio. Asimismo, se empleó una ficha de observación que permitió recolectar información visual acerca del tratamiento de aguas residuales con *E. crassipes*.

3.4.3 Procedimientos

2.3.1.3 Etapa de precampo

En esta etapa se preparó todos los materiales e instrumentos de la recolección de datos de campo:

a. Equipo de Protección Personal

1. Guantes de nitrilo
2. Lentes de seguridad

3. Mascara
4. Casco

b. *Materiales para muestreo*

1. Frascos para análisis fisicoquímico: Frascos de plástico con tapas herméticas, apropiados al muestreo del parámetro de interés.
2. Etiquetas para rotulado de muestras.
3. Cadenas de custodia para monitoreo de aguas.
4. Cuaderno de campo y/o formatos para registro de datos.
5. Lapicero y plumón de tinta indeleble.
6. Coolers o hieleras.
7. Gel refrigerante (ice packs).
8. Preservantes para muestras, según parámetros a muestrear.
9. Bandeja
10. Papel Secante
11. Tijera
12. Cinta adhesiva (de embalaje).
13. Bolsas
14. Bolsas o tacho para residuos.
15. baldes de 13L con tapas (muestra de agua para la fitorremediación)
16. Jarra de 1 L.

2.3.1.4 *Etapa de campo*

Para realizar la toma de la muestra en el lugar delimitado, se solicitó un permiso especial a la municipalidad distrital de Yarabamba. Una vez otorgado el permiso se programó el día para realizar el muestreo de las aguas residuales domésticas antes de su ingreso a la PTAR de Yarabamba; cuyas coordenadas UTM son 235451E, 8169803N.

2.3.1.5 *Etapa de Laboratorio*

Los análisis de los parámetros de DBO₅, DQO, ST, SST, pH y conductividad, se realizaron en el laboratorio Analytical E.I.R.L, empresa peruana especializada en brindar servicios de monitoreo y análisis de

parámetros físicos químicos. Esta empresa cuenta con doble certificado por la IAS (International Accreditation Service), y el INACAL (Instituto Nacional de Calidad), con más de 300 parámetros debidamente acreditados.

2.3.1.6 Proceso inicial: primera toma de muestra

Para realizar la toma de muestra de los parámetros a analizar en el laboratorio, se tuvo en consideración el Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (66), el cual se describe a continuación de acuerdo con la numeración.

A. Toma de muestras

Ubicación del primer punto de muestreo, se realizó con un GPS marca Garmin, cuyas coordenadas UTM fueron: coordenada X: 235450E y coordenada Y: 8169580N, como se muestra en la **Figura 1**, donde se realizó el muestreo inicial, el cual también se solicitó al momento de llenar la cadena de custodia del laboratorio.

1. Identificación. Luego se procedió a identificar el nivel de contaminación de las aguas residuales domésticas del distrito de Yarabamba.

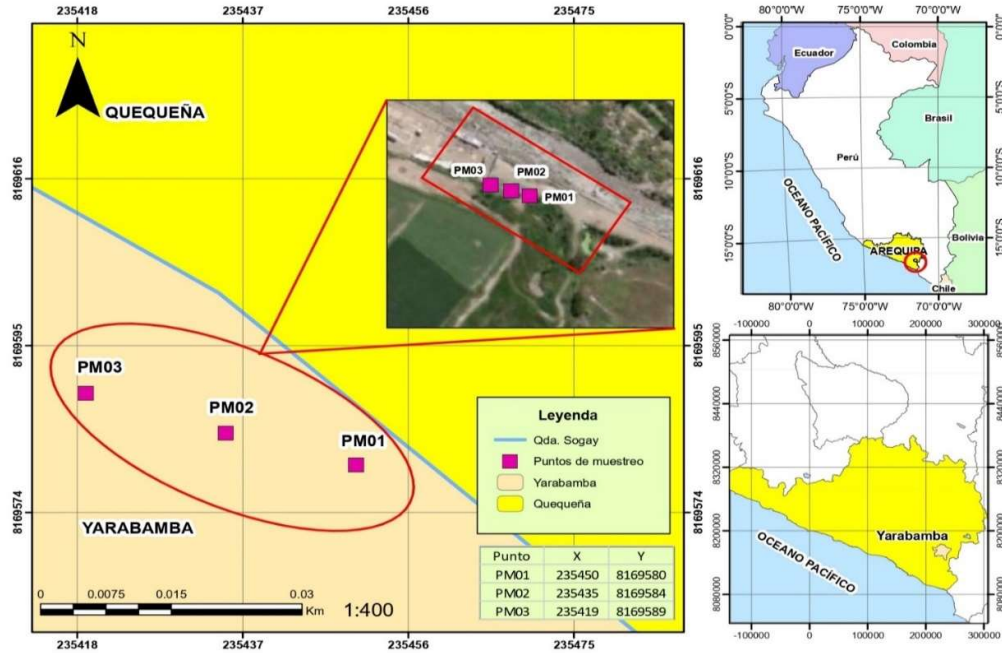


Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.

2. Toma de muestra. La muestra se tomó in situ, a la entrada de primer filtro de la PTAR de Yarabamba, la cual tiene unas rejillas cuya función es atrapar los residuos de mayor tamaño. Asimismo, se pudo apreciar que el primer deposito por donde pasan las aguas residuales, se encontraba con tapa, la cual se procedió a retirar con cuidado.



Figura 2. Instalaciones de la PTAR de Yarabamba. En la imagen se muestra la cámara de rejillas, que posterior a ello está el desarenador.

3. Seguidamente se alistó todos los materiales para realizar el muestreo de forma correcta, los frascos a utilizar se transportaron en un cooler (que el laboratorio brinda) con gel refrigerante (ice pack) aproximadamente 3 unidades ver Figura 3.



Figura 3. Cooler utilizados en el transporte de frascos de muestreo.

4. Para la toma de muestra DBO₅, ST, SST, pH, Temperatura y conductividad; se usaron frascos de 1000 mL, 250mL, 120mL (66).



Figura 4. Rotulación de frascos durante el proceso de recojo de muestras.

- Se procedió a rotular los frascos con un plumón de tinta indeleble para anotar todos los datos necesarios para su rápida identificación (66).



Figura 5. Frascos rotulados

Tabla 8. Datos para el muestreo de aguas residuales domésticas

Punto de Muestreo	Código que se utilizara para rotular los frascos en este caso el código es AGR-YAR-01.
Ensayo	Se evalúan 6 parámetros (PH, conductividad, temperatura, DBO, DQO y ST).
Preservante	Si se necesita según el parámetro; Solo se utilizará para el DQO.
Tipo de Muestra	Tipo de aguas en este caso a aguas residuales (domésticas)
Hora / Fecha	Del punto
Muestreado por	El nombre de la persona que realiza la toma de muestra.

Fuente propia, 2022

- Con los frascos correctamente rotulados, se procedió a la toma de muestra de cada uno de los parámetros a evaluar, se comenzó a tomar la muestra para DBO₅ y ST, que son los frascos más grandes de color blanco; y con la ayuda de una jarra se realizó la toma de muestra en uno de los desniveles del primer depósito de aguas residuales, el cual cuenta con una rejilla que atrapa los residuos sólidos más grandes (66).

7. Para la toma de DBO_5 se tuvo el cuidado correspondiente, para que el frasco se encuentre totalmente lleno hasta rebalsar y se verificó que no cuente con aire, porque eso afectaría a la muestra, se colocó la tapa hermética, se cerró correctamente; finalmente, se puso en el cooler para su preservación (66).
8. Para la toma de la muestra de ST, se tuvo en consideración que el frasco no debe estar lleno en su totalidad; asimismo, se colocó la tapa hermética (66).



Figura 6. Toma de muestra para los parámetros del DBO_5 y ST.

9. La siguiente muestra que se tomó en el frasco de color oscuro de 200 mL para los parámetros de pH, temperatura y conductividad.



Figura 7. Toma de muestras de DQO, preservante H_2SO_4 .

10. Para la toma de muestra de DQO, se procedió a llenar el frasco a 95% de su capacidad; además, se le agregó H_2SO_4 (ácido sulfúrico) 10 gotas, luego se cerró y se colocó en el cooler.



Figura 8. Frascos de primera muestra con los 6 parámetros para analizar.

11. Una vez ya tomada las muestras en los frascos, se procedió a colocarlos en el cooler con los ice packs, para ser llevados al laboratorio.
12. Para la fitorremediación se tomó la muestra en 2 baldes de 13 litros, los cuales se enjuagaron previamente con el agua residual 2 veces, tal como lo menciona el protocolo de monitoreo (66). Seguidamente se llenaron los baldes, con la ayuda de una jarra para un mejor manejo. Una vez los baldes llenos se procedió a taparlos y embalarlos para evitar derrames al momento del traslado.



Figura 9. Toma de muestras de origen para fitorremediación.

B. Análisis In situ de las Aguas Residuales Domésticas

1. Una vez obtenida la muestra de aguas residuales del punto ubicado en el distrito de Yarabamba, se colocó en un recipiente del doble de la capacidad de la muestra (46 litros aproximadamente), para que al momento de verter las aguas residuales al recipiente tenga una altura óptima para la especie *E. crassipes*.



Figura 10. Recipiente de capacidad de 50 L

- De los 21 ejemplares que se aclimataron meses, se colocaron solo 15 plantas de las especies de *E. crassipes* una por una en el recipiente, con espacio suficiente para ver el cambio físico visible que pueda suceder en el transcurso de la investigación.



Figura 11. Instalación de plantas de *E. crassipes*

3. El recipiente cuenta con una tapa, esta se colocó solo por las noches; para evitar que los descensos de temperatura por las noches afecten a *E. crassipes*.

2.3.1.7 Segunda toma de muestra

El segundo punto de muestreo se ubica en las coordenadas UTM: 235435E, 8169584N.

1. El segundo muestreo, se realizó cuando las plantas ya estaban en el recipiente en el día 18. Durante estos 18 días se pudo visualizar cambios en la especie *E. crassipes*, pues presentaba un color verde oscuro en sus hojas, así como nuevos brotes y con espolones en crecimiento, las raíces se visualizaban más grandes y oscurecidas, se pudo observar pocas hojas marchitas.



Figura 12. Evaluación en el día 18

2. Posteriormente se realizó el mismo procedimiento para la toma de muestra inicial de acuerdo con el protocolo (66), para analizar los parámetros de DBO₅, DQO, conductividad, temperatura, pH y ST.

2.3.1.8 Tercera toma de muestra

El tercer punto de muestreo se ubica en las coordenadas UTM: 235419E, 8169589N, en el cual se tuvo en consideración los cambios de temperatura, con el propósito de evitar que estos cambios puedan alterar la eficiencia de *E. crassipes*.

El tercer muestreo se realizó a los 38 días, después del primer muestreo; la muestra de las aguas residuales domésticas ya no presenta color café verdoso ni olor, algunas de las plantas presentan hojas marchitas pero la mayoría con nuevos brotes y las raíces mucho más grandes a simple vista.



Figura 13. Observación en el tercer muestreo

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados descriptivos

4.1.1. Caracterización de las aguas residuales domésticas

Los resultados de la caracterización de aguas residuales domésticas del distrito de Yarabamba fueron los siguientes.

Tabla 9. *Caracterización inicial del agua residual doméstica*

Parámetros Evaluados	Unidad	1er Muestreo
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	270
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	373.3
pH	Unidad	7.05
Sólidos Totales	mg/L	53163
Temperatura	°C	22.2
Conductividad	μS/cm	2105

De la **Tabla 9** se puede observar que el agua residual doméstica tiene los siguientes contaminantes DBO₅, DQO, pH, Sólidos Totales y Temperatura, donde los ST presenta un mayor valor en comparación con la DBO₅ y DQO. Además, se puede observar que la temperatura fue de 22.2°C. Por ello, el agua residual analizada presenta coloides en mayor cantidad; asimismo, se evidenció la presencia de carga orgánica. Por lo que se

demuestra que, las aguas residuales domésticas provenientes del distrito de Yarabamba, presentan alta DBO₅, DQO, ST, pH y temperatura, corroborando así la hipótesis planteada en el estudio.

4.1.2. Porcentaje de remoción

Tabla 10. Resultados de los muestreos del agua residual antes y después del tratamiento

Parámetros Evaluados	Unidad	1er Muestreo (antes)	2do Muestreo (después)	3er Muestreo (Final)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	270	50.4	19.7
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	373.3	125.1	84.9
pH	Unidad	7.05	7.38	7.66
Sólidos Totales	mg/L	53163	1336	1974
Temperatura	°C	22.2	22.3	20.3
Conductividad	μS/cm	2105	2320	3250

Para realizar el análisis de los resultados, en cuanto la efectividad de la remoción de la *E. crassipes*, se tuvo en consideración realizar 3 muestreos, debido a que, investigaciones previas sugirieron realizar tres muestreos como mínimo (31) (32) (34), esto permitiría evaluar en tres tiempos diferentes; teniendo en cuenta que, a mayor tiempo de *E. crassipes*, en contacto con el agua residual doméstica, la efectividad sería mayor. Es por ello por lo que, en los párrafos siguientes, la comparación se realiza entre el primer muestreo y el tercer muestreo.

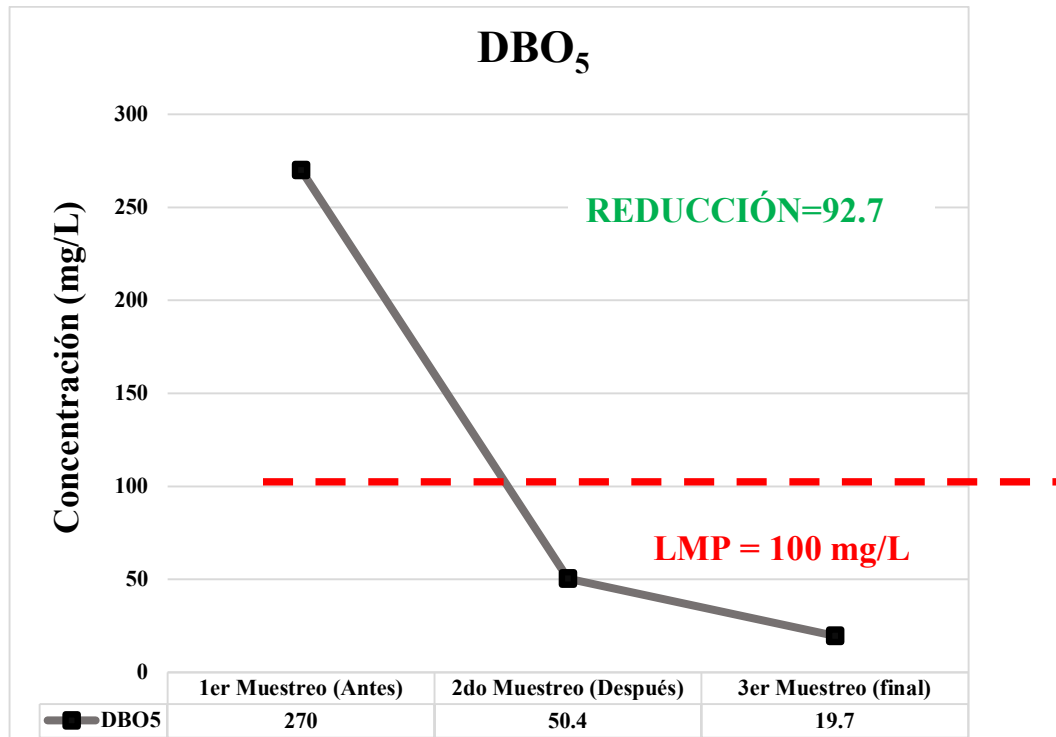


Figura 14. Porcentaje de remoción de DBO₅

De la **Tabla 10** y la **Figura 14** se puede observar que en el primer muestreo la DBO₅ tuvo un valor de 270 mg/L; en el segundo muestreo, luego de haber aplicado *E. crassipes*, la DBO₅ tuvo una concentración de 50.4 mg/L; finalmente, en el muestreo 3, la concentración de DBO₅ tuvo un valor de 19.7mg/L; por lo que, se evidencia una reducción del 92.7%, indicando así la efectividad de la *E. crassipes* en cuanto a la remoción de la concentración del mencionado contaminante.

Asimismo, se observa que en el primer muestreo la concentración del parámetro DBO₅ superó los Límites Máximos Permisibles. Sin embargo, luego de haber realizado la fitorremediación con la especie *E. crassipes*, tanto en el muestreo 2 y en el 3, las concentraciones disminuyeron de manera significativa, cumpliendo así con los LMP del D.S 003- 2010 MINAM (25). Por ello, el uso de la *E. crassipes* contribuye en la reducción de este indicador de contaminación de aguas residuales domésticas y sobre todo cumple con la norma.

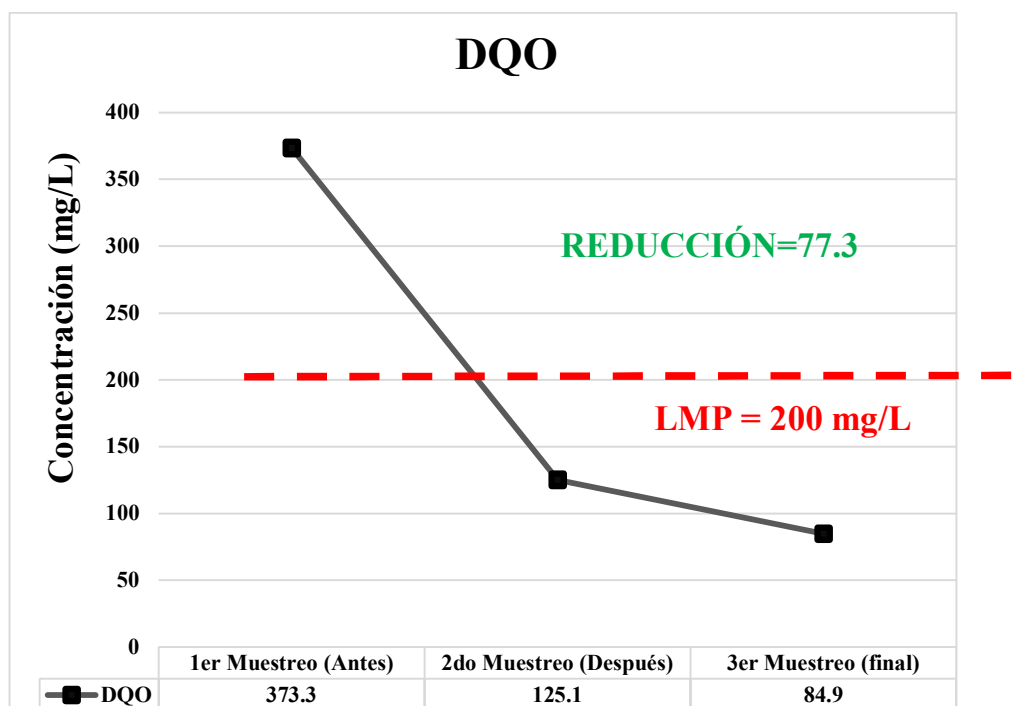


Figura 15. Porcentaje de remoción de DQO

De la **Tabla 10** y la **Figura 15** se puede apreciar que en el primer muestreo la DQO tuvo un valor de 373.3 mg/L; después de la aplicación de *E. crassipes*, el segundo muestreo tuvo 125.1 mg/L de DQO; finalmente, en el muestreo 3 con la especie presente, la concentración de DQO tuvo un valor de 84.9 mg/L; por lo que, se evidencia una reducción del 77.3%, indicando así la eficiencia de *E. crassipes* en cuanto a la remoción de la concentración del DQO.

De igual forma se aprecia que, en el muestreo inicial, la concentración de DQO supera en gran proporción los Límites Máximos Permitidos; no obstante, en el segundo y tercer muestreo (aguas residuales con la *E. crassipes*), se observa que las concentraciones registradas no supera los LMP. Por ende, la fitorremediación con el uso de la *E. crassipes* ayuda a la reducción de este contaminante presente en las aguas residuales domésticas del distrito de Yarabamba

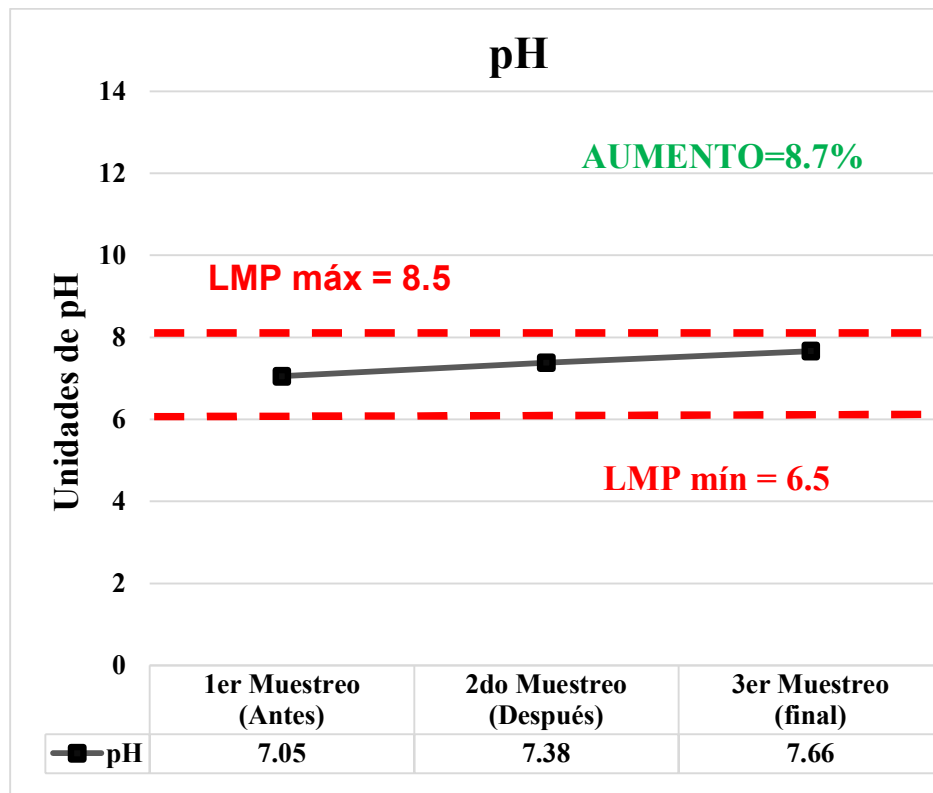


Figura 16. Porcentaje de pH

De la **Tabla 10** y la **Figura 16** se puede apreciar un aumento del 8.6% del pH, luego de haber realizado la fitorremediación con *E. crassipes*, resultado que muestra un agua más alcalina. Por lo que, la fitorremediación con la mencionada especie reduce la acidez del agua residual doméstica.

Además, se observa que, tanto la muestra sin tratamiento como las muestras con tratamiento, se encuentran dentro de los LMP para pH, cumpliendo así con el D.S 003- 2010 MINAM (25). Asimismo, se aprecia que luego de la fitorremediación con *E. crassipes*, el agua residual doméstica se volvió más alcalina. Cabe mencionar, que esta variación se da desde el día 1 (primer muestreo) hasta el día 38 (tercer muestreo). Por todo ello, de acuerdo con lo que menciona la norma el pH para que la flora y fauna acuática viva, debe de estar entre 6.5 y 8.5, porque una disminución o aumento en el pH puede ser perjudicial para el medio acuático y para el tratamiento por fitorremediación

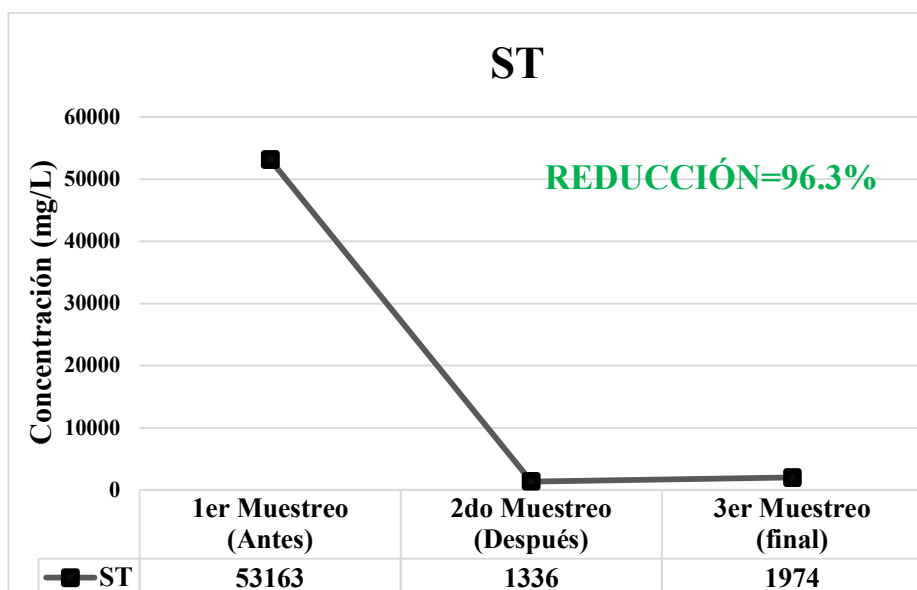


Figura 17. Porcentaje de reducción de los ST

De la **Tabla 10** y la **Figura 17** se puede apreciar que en el primer muestreo del agua residual (sin *E. crassipes*) la concentración de ST fue de 53163 mg/L; luego en el muestreo 3 (con *E. crassipes*) la concentración fue de 1970 mg/L, por lo que se evidencia una reducción del 96.3% de sólidos suspendidos totales, demostrando así la efectividad de la aplicación de *E. crassipes* en las aguas residuales domésticas provenientes del distrito de Yarabamba.

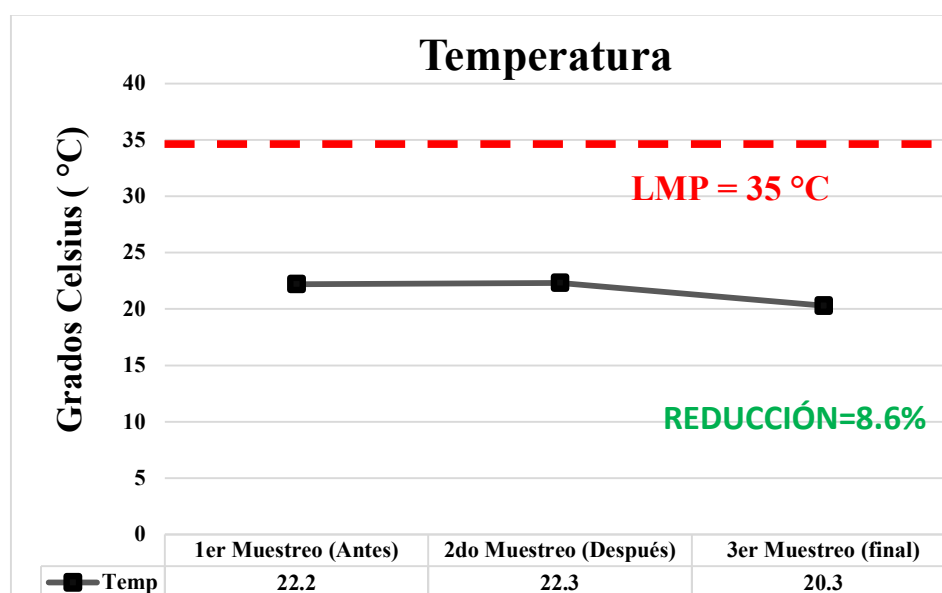


Figura 18. Porcentaje de reducción de temperatura

De la **Tabla 10** y la **Figura 18** se muestra que en el primer muestreo (sin *E. crassipes*) la temperatura fue de 22.2 °C, y en el muestreo 3 (con *E. crassipes*) la temperatura fue de 20.3°C; evidenciándose así la reducción de 8.5%. Por ello, la fitorremediación con *E. crassipes* ayuda a disminuir la temperatura de las aguas residuales domésticas.

De la misma manera se observa, en las muestras sin fitorremediación y con fitorremediación, cumplen con los LMP(25); asimismo, se aprecia que no hay una variación significativa entre el primer y tercer muestreo. Cabe precisar que, la temperatura juega un rol fundamental, porque una temperatura adecuada ayuda a la remoción de materia orgánica presente en el agua residual doméstica.

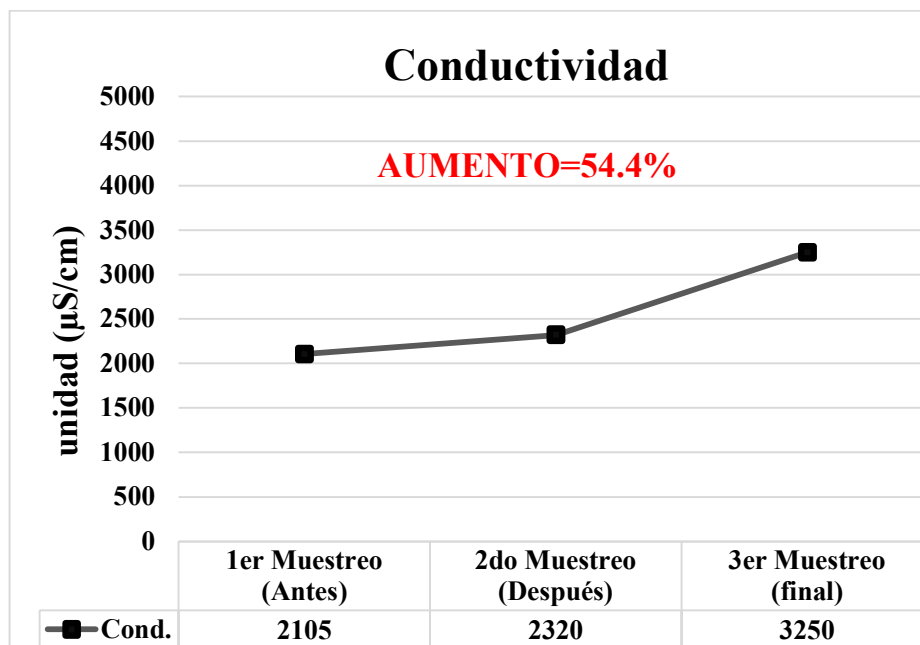


Figura 19. Porcentaje de conductividad

En la **Figura 19** se observa que, desde el primer muestreo hasta el tercero, la conductividad eléctrica aumentó en un 54.4% lo que equivale a un aumento de 1146 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cabe indicar que este aumento en el tercer muestreo se debió a la evaporación del agua que contenía a *E. crassipes*.

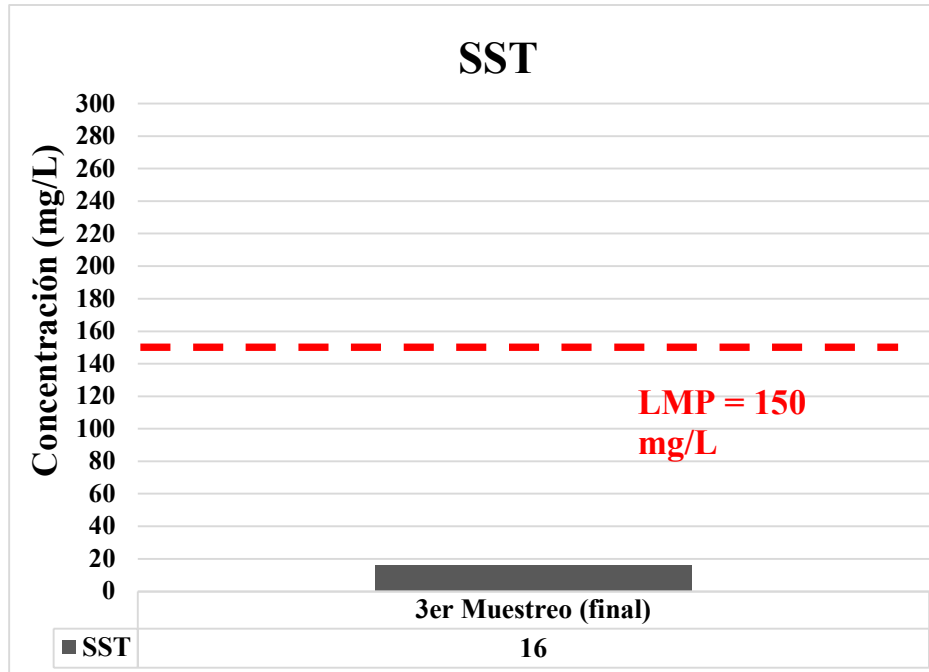


Figura 20. Comparación del SST con el LMP

En la Figura 20 se observa que, el tercer muestreo (con fitorremediación), el parámetro de sólidos suspendidos totales tuvo 16 mg/L, cumpliendo así con el D.S 003-2010 MINAM (25). Cabe mencionar que, este parámetro es característico de las aguas residuales domésticas debido a la presencia de restos orgánicos.

Por todo lo presentado anteriormente, se puede afirmar que, el porcentaje de remoción de aguas residuales domésticas con el empleo de la especie *E. crassipes*, fue alto, tal como se mostraron en las figuras anteriores donde el porcentaje con mayor valor fue del parámetro de ST con 96.3% seguido de DBO₅ con 92.7%, y la DQO con 96.3%. Demostrando así la segunda hipótesis específica del presente estudio.

Asimismo, al comparar los resultados finales del análisis del agua residual doméstica proveniente del distrito de Yarabamba, con los Límites Máximos Permisibles (25), se logró observar que los parámetros de DBO₅, DQO, temperatura, SST y pH cumplen con la norma. Reafirmando así, la tercera hipótesis específica planteada.

4.2 Resultado inferencial

4.2.1. Prueba de normalidad

Tabla 11. Prueba de normalidad de los datos

	Pruebas de normalidad		
	Estadístico	Shapiro-Wilk gl	Sig.
DBO ₅	,840	3	,215
DQO	,852	3	,246
pH	,998	3	,910
ST	,759	3	,060
Temperatura	,787	3	,085
Conductividad	,885	3	,339

Interpretación: En la **Tabla 11** se muestra que, de acuerdo con la prueba de normalidad Shapiro Wilk, el valor de p , para todos los parámetros, son mayores a 0.05; por ello, se afirma que los datos provienen de una distribución normal; por lo que se utilizó el ANOVA.

4.2.2. Prueba de hipótesis general

- Formulación de hipótesis:
 - H_0 = La eficiencia de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* no es óptima en el distrito de Yarabamba, Arequipa – 2021.
 - H_1 = La eficiencia de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* es óptima en el distrito de Yarabamba, Arequipa – 2021.

Tabla 12. Estadígrafo ANOVA para la prueba de hipótesis

ANOVA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Sig.	Valor crítico para F
Entre grupos	98559.7082	2	49279.8541	3.593	0.002	3.554
Dentro de los grupos	267764.574	18	14875.80966			
Total	366324.282	20				

De acuerdo con el análisis de varianza entre los grupos o pruebas realizadas (Tabla 10), se cumple la siguiente condición, el valor de F calculado es mayor al valor crítico de F. Es decir, existe diferencia significativa entre los 3 grupos que se evaluaron.

Con un nivel de significancia del 95% y un valor $p = 0.002$, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula. Es decir, la fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* es óptima en el distrito de Yarabamba, Arequipa

4.3 Discusión de resultados

El objetivo general fue determinar la eficiencia de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con *E. crassipes* en el distrito de Yarabamba, Arequipa; de acuerdo con el test de Shapiro Wilk, se logró evidenciar que los datos provenían de una distribución normal; y se realizó un ANOVA, donde el p valor fue 0.002; por lo tanto, la eficiencia de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie *E. crassipes* es óptima. Estos hallazgos fueron corroborados con los resultados descriptivos; consolidando así la efectividad de la remoción de la carga orgánica presente en el agua residual domestica del distrito de Yarabamba.

Los datos encontrados concuerdan con Sanmuga E. y Senthamil P. (29) que en su investigación emplearon *E. crassipes* para remover contaminantes presentes en las aguas residuales, donde hallaron una eficiencia en la remoción del contaminante de un 95%, la temperatura de 30°C, el pH de 6.5 y los sólidos totales disueltos se removieron en un 87%. Asimismo, Mishra S. y Maiti A. (24) en su investigación basada en una revisión sistemática sobre la *E. crassipes*, identificaron que esta especie tiene una alta eficiencia en remoción de contaminantes presentes en aguas residuales industriales y domésticas. Donde los porcentajes están entre el: 79% de DQO, 94% de DBO₅, 83% de turbidez y pH fue de 5%. Demostrando así la eficiencia de la *E. crassipes*, para remover contaminantes presentes en el agua residual.

Los resultados concuerdan con Khare y Lal (30) al evidenciar que, hubo una reducción de 87% de DQO, un 65% de DBO₅, un 41.76% de turbidez, un 2.65% de pH y un 38% de sólidos totales disueltos. Concluyendo, que el jacinto de agua (*E. crassipes*) tiene un efecto positivo en la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales por lo que recomiendan la aplicación y uso para el tratamiento de estas. Asimismo, los resultados concuerdan con, Prasad. et al. (21) que en su investigación emplearon *E. crassipes* como un bioabsorbente para tratar aguas residuales; donde la eficiencia de remoción fue 79.41% del DBO₅ y una reducción de la temperatura alrededor de 0.5%. los investigadores concluyen que *E. crassipes* es un bioabsorbente eficiente en la remoción de contaminantes como la DBO₅ que están presentes en las aguas residuales.

De igual forma coincide con la investigación realizada por Cáceres et al. (20) al evidenciar que las especies de *Eisenia foetida* y *E. crassipes* removieron en un 94.48% los

sólidos totales disueltos, un 98.41% de DBO₅, un 100% de coliformes termo tolerantes y una disminución de la temperatura, alrededor de un 5%. Asimismo, Palomino et al. (22) reportan la eficiencia de *E. crassipes* en agua residuales de tres tipos, hallaron que la *E. crassipes* logró una remoción del 98.5% de turbidez y un 79.18% de DQO.

Además, Perales (23), usó *E. crassipes* para tratar aguas residuales domésticas en la ciudad de Moyobamba. La DBO₅ se removió en un 95.24%, la DQO en un 93.03% y los aceites y grasas en un 94.82% y concluyen que el tratamiento con *E. crassipes* tuvo una efectividad alta en cuanto a remoción de los parámetros que se analizaron contribuyendo así al control de la contaminación de ríos u otros cuerpos hídricos por aguas residuales sin tratamiento. De igual manera nuestros resultados concuerdan con los obtenidos por Sandoval (32) que en su trabajo evidencia que el pH en los días de análisis tuvo un promedio de 6.8; asimismo, en cuanto a la conductividad eléctrica en el día 12 se pudo apreciar 480 µs/cm en el ensayo 3, la temperatura disminuyó en el ensayo 3 registrando 19°C.

Todos estos resultados son respaldados por Kelley et al. (47), Miretsky et al. (48), Eapes (49) y Cho (50) quienes concluyen que la fitorremediación permite entre muchas otras cosas estabilizar contaminantes, también volatilizarlos degradarlos, mineralizarlos, removerlos, transformarlos y finalmente reducirlos. De igual manera Verdejo et al. (55) mencionan que la *E. crassipes* es muy buena para tratamientos en aguas residuales con poca cantidad de sales presentes en el agua. Espigares et al. (36), afirman que las aguas residuales de origen doméstico en su composición, que es poco uniforme, hacen más fácil los procesos de tratamiento, y que estas tienen tres características resaltantes, desde un punto de vista sanitario y de tratamiento, las aguas residuales domésticas se caracterizan por la cantidad de los sólidos presentes, las sustancias biodegradables y la gran cantidad de microorganismos.

CONCLUSIONES

- La eficiencia en la remoción de los contaminantes mediante el uso de *E. crassipes* fue óptima, porque la calidad del agua residual tuvo un cambio, esto es debido a que la especie *E. crassipes* captó los contaminantes a través de sus raíces para posteriormente trasladarlos a las partes aéreas.
- Las aguas residuales domésticas del distrito de Yarabamba presentaron una DBO₅ = 270 mg/L, DQO=373.3 mg/L, ST = 53163 mg/L, pH = 7.05, Temperatura = 22.2 °C y conductividad eléctrica = 2105 μS/cm, antes del tratamiento con *E. crassipes*
- Los porcentajes de remoción de los contaminantes en el agua residual doméstica fueron de 92.7% de DBO₅, 77.3% de DQO, 96.3% de ST y un 8.55% de temperatura.
- Los parámetros de DBO₅, DQO, SST, pH, Temperatura y Conductividad, del agua tratada con *E. crassipes*, no superan los LMP.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere el uso de *E. crassipes* como parte del tratamiento en la PTAR del distrito de Yarábamba por su alta capacidad de remoción de SST, DQO y DBO₅.
- A los investigadores continuar con los estudios relacionados con el uso de *E. crassipes* y con otras especies similares, para comparar la eficiencia de ambas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arequipa: proyecto de agua y desagüe en Yarabamba llegará a 60% de población [en línea]. *La República*, Arequipa, Perú, 18 de noviembre 2021 [fecha de consulta: 18 de julio de 2022]. Disponible en: <https://larepublica.pe/sociedad/2021/11/18/arequipa-proyecto-de-agua-y-desague-en-yarabamba-llegara-a-60-de-poblacion-lrsd/>
2. RODRÍGUEZ, H. *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. Iagua*. [en línea]. 13 de marzo de 2017. [Fecha de consulta: 18 de julio de 2022]. Disponible en: https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes?qt-los_mas_seguidos=0
3. Declaran en emergencia a tres distritos de Arequipa por peligro ante contaminación hídrica. [en línea]. *Agencia Peruana de Noticias Andina*. 10 de junio de 2021. [Fecha de consulta: 18 de julio de 2022]. Disponible en: <https://andina.pe/agencia/noticia-declaran-emergencia-a-tres-distritos-arequipa-peligro-ante-contaminacion-hidrica-848686.aspx>
4. TUHOLSKE, C. et al. *Mapping global inputs and impacts from of human sewage in coastal ecosystems. PLoS ONE*. [en línea]. 1 noviembre 2021. Vol.16, no.11. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258898>
5. BANCO Mundial. *Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas*. [en línea]. 31 de diciembre 2013. [Fecha de consulta: 18 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>
6. CONTRALORÍA General de la República. *Advierten colapso y contaminación en la planta de tratamiento de aguas residuales en Miraflores* (Nota de prensa). [en línea]. 11 de noviembre de 2021. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/contraloria/noticias/553415-advierten-colapso-y-contaminacion-en-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-miraflores>
7. INSTITUTO Nacional de Estadística e Informática. *Condiciones y calidad ambiental*. Lima, [no date].
8. MUNICIPALIDAD Distrital de Yarabamba. *Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental PLANEFA 2020*. [en línea] 23 de julio de 2019. [Fecha de

- consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en:
<http://www.muniyarabamba.gob.pe/archivos/1556204074.PDF>
9. INSTITUTO Nacional de Estadística e Informática. Perú: *Crecimiento y distribución de la población*. [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en:
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1530/libro.pdf
 10. ROJAS, R. Gestión integral de tratamiento de agua residual. [en línea]. 21 Summer 2002. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en:
<https://www.academia.edu/37172484>
 11. SPDA ACTUALIDAD AMBIENTAL. Áncash: identifican nuevas plantas que podrían remediar contaminación de suelos. [en línea]. 11 June 2020. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en:
<https://www.actualidadambiental.pe/ancash-identifican-nuevas-plantas-que-podrian-remediar-contaminacion-de-suelos/>
 12. DELGADILLO, A. Fitorremediación: una alternativa para elimina la contaminación. [en línea]. 2011. Vol. 14, no. 2. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-04622011000200002&script=sci_abstract&tlng=pt
 13. YÓPLAC, K, TUESTA, O, PARIENTE, E y GUZMÁN, W. Prospección de especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, Amazonas, Perú. [en línea]. 2020. Vol. 35, no. 1. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en:
https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/view/1474/pdf_47
 14. GIRH-TDPS. Técnicas de fitorremediación en cuerpos de agua. [en línea]. 23 May 2020. [Fecha de consulta: 15 de julio de 2022]. Disponible en: <https://girh-tdps.com/proyecto-piloto-07/>
 15. PARWIN, R. y KAKOLI, P. Efficiency of Eichhornia crassipes in the treatment of raw kitchen wastewater. *Springer*. [en línea]. 2019. Vol. 1, p. 381. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. DOI 10.1007/s42452-019-0400-0.
 16. RUMBO MINERO. AMSAC implementa pilotos de fitorremediación para futuros proyectos de remediación ambiental minera. [en línea]. 20 de julio de 2022. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2022]. Disponible en:

[https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/amsac-pilotos-
fitorremediacion-futuros-proyectos/](https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/amsac-pilotos-
fitorremediacion-futuros-proyectos/)

17. VERGARA, A., JUGO, M., MIYASHIRO, M., BARRERA, W. y PALACIO, M. *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación e las entidades prestadoras de servicio de saneamiento* [en línea]. Lima, 2015. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en: www.proagua.org.pe
18. MORALES, E., SABOYA, N. y CRUZ, M. Fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural quechua-Cajamarca. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*. [en línea]. 18 de diciembre de 2019. Vol.5, no.2. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. DOI 10.17162/RICTD.V5I2.886.
19. INSTITUTO Nacional de Estadística e Informática. *Perú: Mapa de déficit de agua y saneamiento básico a nivel distrital* [en línea]. 2007. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_ digitales/Est/Lib0867/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0867/libro.pdf)
20. CÁCERES POMA, D., CALISAYA VERA, M. y BEDOYA-JUSTO, E. Eficiencia de *Eisenia foetida*, *Eichornia crassipes* e hipoclorito de calcio en la depuración de aguas residuales domésticas en Moquegua, Perú. *Ecología Aplicada*. [en línea]. 9 de junio de 2021. Vol.20, no.1, p.83–92. [Fecha de consulta: 19 de junio de 2022]. DOI 10.21704/REA.V20I1.1692.
21. PRASAD, R., SHARMA, D., YADAV, K. y IBRAHIM, H. *Eichhornia crassipes* as biosorbent for industrial wastewater treatment: Equilibrium and kinetic studies. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. [en línea]. 1 March 2022. Vol.100, no.3, p.439–450. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. DOI 10.1002/CJCE.24132.
22. PALOMINO, Y. et al. Systematic Review of the Efficiency of Aquatic Plants in the Wastewater Treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. [en línea]. 1 April 2022. Vol.1009, no.1, p.012004. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. DOI 10.1088/1755-1315/1009/1/012004.
23. PERALES, K. *Tratamiento de aguas residuales domésticas por fitorremediación con Eichhornia crassipes en la zona rural del caserío Santa catalina Moyobamba*

2017. [en línea]. Moyobamba: Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, Facultad de Ecología, Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, 2017. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2734/AMBIENTAL%20-%20Kelith%20Liliana%20Perales%20Vasquez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
24. MISHRA, S. y MAITI, A. The efficiency of *Eichhornia crassipes* in the removal of organic and inorganic pollutants from wastewater: a review. *Environmental science and pollution research international*. [en línea]. 1 March 2017. Vol. 24, no. 9, p. 7921–7937. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. DOI 10.1007/S11356-016-8357-7.
 25. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR). [en línea]. 2010. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-plantas-tratamiento-aguas>
 26. CORTÉS, P. y FLOREZ, J. *Evaluación in vitro de la taruya (Eichhornia Crassipes) como agente biorremediador en aguas contaminadas con cromo*. [en línea]. Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena, 2017. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en: http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4530/1/Evaluaci%C3%B3n%20in%20vitro%20de%20la%20taruya_Pedro%20Cort%C3%A9s%20S_2017.pdf
 27. GARCIA, K. y PAREJAS, B. *Eficiencia de las macrofitas flotantes, Pistia stratiotes u Eichhornia crassipes, en las propiedades físicas-químicas y microbiológicas de la PTAR del distrito de Huachac*. Universidad Continental, 2021.
 28. ARAQUE, I. et al. Fitorremediación en aguas residuales sin tratamiento previo. Caso: Tierra Negra, Boyacá. 2018. *Revista de Tecnología*; vol. 17, no. 1 <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/135295>
 29. SANMUGA, E. y SENTHAMIL, P. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) – An efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment – A review. *Arabian Journal of Chemistry*. [en línea]. 1 May 2017. Vol. 10, p. S3548–S3558. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. DOI 10.1016/J.ARABJC.2014.03.002.
 30. KHARE, A. y LAL, E. Wastewater Purification Potential of *Eichhornia crassipes* (Water Hyacinth). *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*. [en línea]. 2017. Vol. 6, no. 12,

- p. 3723–3731. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. DOI 10.20546/ijcmas.2017.612.429.
31. PÉREZ, N. *Análisis del nivel de fitoremediación de mercurio utilizando Eichhornia crossipes y Lemna minor en una muestra de agua contaminada artificialmente, Trujillo - 2017*. [en línea]. Universidad Cesar Vallejo, 2017. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35931/perez_vn.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 32. SANDOVAL, J. *Eficiencia del jacinto de agua Eichhornia crossipes y lenteja de agua Lemna minor en la remoción de cadmio en aguas residuales*. [en línea]. Universidad nacional Federico Villareal, 2019. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en: http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/3256/UNFV_SANDOVAL_VILCHEZ_JOSELYN_DANIELA_TITULO_PROFESIONAL_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 33. MENA, C. y EYZAGUIRRE, A. *Efectos de la Eichhornia crassipes en la remoción de mercurio en efluentes mineros provenientes de la minería artesanal (Secocha, 2019)*. [en línea]. Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú, 2019. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3609/Christopher%20Mena_Alfredo%20Eyzaguirre_Tesis_Titulo%20Profesional_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 34. PINEDA, J. *Evaluación del potencial de fitorremediación de Isolepis cernua y Nasturtium aquaticum para el tratamiento secundario de efluentes de curtiembre del parque industrial rio Seco – Arequipa*. [en línea]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9664>
 35. METCALF and EDDY. *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. 2005. ISBN 84-481-1606-2.
 36. ESPIGARES, M. y PÉREZ, José. *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. [en línea]. primera. Universidad de Granada, 2015. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. ISBN 978-84-338-0292-7. Disponible en:

https://www.todostuslibros.com/libros/aspectos-sanitarios-del-estudio-de-las-aguas_978-84-338-0292-7

37. ALAVARADO-GRANADOS, A., CAMACHO-CALZADA, K, DÍAZ-CUENCA, E. El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE). en San Miguel Almaya, México. Quivera. *Revista de Estudios Territoriales* [en línea]. 2012, 14(1), 78-97 [Fecha de Consulta 13 de julio de 2022]. ISSN: 1405-8626. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894005>
38. ROMERO, A. *Aguas residuales industriales*. [en línea]. primera. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2018. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. ISBN 13 9789588726335.
39. RAMALHO, R. *Tratamiento de aguas residuales*. [en línea]. Editorial Reverté S.A, 2003. [Fecha de consulta: 18 de julio de 2022]. ISBN 8429179755. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=copyright&hl=es#v=onepage&q&f=false>
40. GILBERT, M. y WENDELL, E. *Introducción a la ingeniería medioambiental*. Tercera. Pearson, 2008. ISBN 9789701702666. 3^a ed.
41. RAFFO LECCA, E. Y RUIZ LIZAMA, E. C. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*. [en línea]. 19 June 2014. Vol.17, no.1, p. 71–80. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Doi: 10.15381/idata.v17i1.12035
42. FERNÁNDEZ, J. (coord.). *Manual de fitodepuración filtros e macrófitas en flotación*. [en línea]. EDITA, 2014. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en: https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/manual_fitodepuracion.pdf
43. NOYOLA, A. *Anaerobio vs. aerobio, un debate (casi) superado. ¿Biológico vs. primario avanzado, el nuevo debate?* [en línea]. primera. Ingeniería y ciencias ambientales, 1998. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/bin-139150>
44. DIGESA. *Parámetros organolépticos* [en línea]. Lima, 2010. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en:

- http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Reglamento_Calidad_Agua%20D.S%20N%C2%B0031-2010-SA.pdf
45. RIGOLA, M. Tratamiento de aguas industriales: aguas de procesos y residuales. [en línea]. 1990. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=fQcXUq9WFC8C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
 46. BRUTTI, L., BELTRÁN, M. y GARCÍA, I. *Biorremediación de los recursos naturales*. [en línea]. primera. 2018. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. ISBN 978-987-521-911-3. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro_biorremediacion_de_los_recursos_naturales_1.pdf
 47. KELLEY, C. et al. Incorporation of Phytoremediation Strategies into the Introductory Chemistry Laboratory. *The Chemical Educator* 2000 5:3. [en línea]. Junio del 2000. Vol.5, no.3, p.140–143. [Fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. DOI 10.1007/S00897000383A.
 48. MIRETZKY, P., SARALEGUI, A. y CIRELLI, A. Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere*. [en línea]. November 2004. Vol. 57, no. 8, p. 997–1005. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2022]. DOI 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2004.07.024.
 49. EAPEN, S., SINGH, S. y D'SOUZA, S. F. Advances in development of transgenic plants for remediation of xenobiotic pollutants. *Biotechnology advances*. [en línea]. September 2007. Vol. 25, no. 5, p. 442–451. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2022]. DOI 10.1016/J.BIOTECHADV.2007.05.001.
 50. CHO, C. et al. Effects of grasses on the fate of vocs in contaminated soil and air. *Water, air, and soil pollution* 2007 187:1. [en línea]. 25 September 2007. Vol. 187, no. 1, p. 243–250. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2022]. DOI 10.1007/S11270-007-9512-Z.
 51. NÚÑEZ, R., et al. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Biología y biología molecular*. 2004. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2022]. Disponible en https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf
 52. DELGADILLO-LÓPEZ, A., GONZÁLEZ-RAMÍREZ, C., PRIETO-GARCÍA, F., VILLAGÓMEZ-IBARRA, J., ACEVEDO-SANDOVAL, O. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical*

- Agroecosystems* [en línea]. 2011, 14(2), 597-612[fecha de Consulta 13 de Octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93918231023>
53. CARPENNA, R. y BERNAL, P. Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*. [en línea]. 2007. Vol.6, no.2, p.1–12. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/123>
54. GARCÍA, P., FERNÁNDEZ, R. y CIRUJANO, S. *Habitantes del agua Macrófitos*. [en línea]. Consejería del medio ambiente, 2010. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2022]. Disponible en: http://www.jolube.es/pdf/libro_macrofitos_andalucia_2010.pdf
55. VERDEJO, E. et al. *El lirio de agua: Eichhornia crassipes*. [en línea]. Ministerio de agricultura y pesca, 2006. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2022]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_FSV%2FFSV_2006_1_1_8.pdf
56. CASTILLO-ARAYA, J. El uso del lirio acuático *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales. *Tecnología en marcha*. [en línea]. 2016. Vol. 10, no. 3, p. 1–12. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2022]. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2605
57. ROJAS-SANDOVAL, J. y ACEVEDO-RODRIGUEZ, P. Naturalization and invasion of alien plants in Puerto Rico and the Virgin Islands. *Biological Invasions*. [en línea]. 2015. Vol. 17, no. 1, p. 149–163. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2022]. <https://doi.org/10.1007/s10530-014-0712-3>
58. REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Definición de nivel de contaminación. [en línea]. 21 July 2022. [Fecha de consulta: 21 de julio de 2022]. Disponible en: <https://dpej.rae.es/lema/nivel-de-contaminaci%C3%B3n>
59. VARGAS, Z. La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencias científicas. *Educación*. [en línea]. 2009. P. 1–12. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
60. HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C., & BAPTISTA LUCIO, P. *Metodología de la investigación* (6a. ed.). 2014. México D.F.: McGraw-Hill.
61. ARIAS, J. *Diseño y metodología de la investigación*. [en línea]. Primera. 2021. ISBN 9786124844423. Disponible en: www.tesisconjosearias.com

62. ESPINOZA, C. *Metodología de investigación tecnológica*. [en línea]. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2010. [Fecha de consulta: 21 de julio de 2022]. ISBN 978-612-00-0222-3. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1146/mit1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
63. ARIAS, F. *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica*. [en línea]. Sexta. Editorial Episteme C.A, 2012. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. ISBN 980-07-8529-9. Disponible en: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
64. GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE Y SERVICIOS PÚBLICOS. *Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental PLANEFA 2019* [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 21 de julio de 2022]. Disponible en: <http://www.muniyarabamba.gob.pe/archivos/1551973017.pdf>
65. CHENET, M. *Metodología de investigación científica universitaria*. [en línea]. primera. Soluciones Gráficas, 2016. [Fecha de consulta: 21 de julio de 2022]. ISBN 978-612-47601-6-7. Disponible en: <https://isbn.cloud/9786124760167/metodologia-de-investigacion-cientifica-universitaria/>
66. RESOLUCIÓN MINISTERIAL N°273-2013-VIVIENDA. *Protocolo de monitoreo de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Lima, 2013.

ANEXOS

ANEXO1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema General: ¿Cuál es la eficiencia de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie <i>E. crassipes</i> en el distrito de Yarabamba, Arequipa?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué características tiene el agua residual domésticas en el distrito de Yarabamba, Arequipa? • ¿Cuál es el porcentaje de remoción de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie <i>E. crassipes</i> en el distrito de Yarabamba, Arequipa? • ¿La fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie <i>E. crassipes</i> cumple con los LMP, en el distrito de Yarabamba, Arequipa? 	<p>Objetivo General: Determinar la eficiencia de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie <i>E. crassipes</i> en el distrito de Yarabamba, Arequipa.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar del agua residual domésticas del distrito de Yarabamba, Arequipa – 2021. • Determinar el porcentaje de remoción de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie <i>E. crassipes</i> en el distrito de Yarabamba, Arequipa. • Determinar si la fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie <i>E. crassipes</i> cumple con los LMP, en el distrito de Yarabamba, Arequipa. 	<p>Hipótesis General: La eficiencia de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie <i>E. crassipes</i> es óptima en el distrito de Yarabamba, Arequipa.</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las aguas residuales domésticas provenientes del distrito de Yarabamba – Arequipa, presentan alta DBO₅, DQO, ST, pH y temperatura. • El porcentaje de remoción de la fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie <i>E. crassipes</i> es alto en el distrito de Yarabamba, Arequipa. • Fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie <i>E. crassipes</i> cumple con los LMP, en el distrito de Yarabamba, Arequipa. 	<p>Variable Dependiente: Aguas residuales</p> <p>Variables Independientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>E. crassipes</i> 	<p>Tipo de Investigación: Aplicada</p> <p>Nivel de Investigación: Explicativa</p> <p>Diseño: Experimental – preexperimental</p>	<p>Población: Aguas residuales provenientes del distrito de Yarabamba.</p> <p>Muestra: 26 litros de Aguas residuales provenientes del distrito de Yarabamba.</p> <p>Muestreo: No probabilístico de acuerdo al protocolo de monitoreo del MINAM</p>	<p>Técnicas: Análisis documental y la Observación</p> <p>Instrumentos: Ficha de observación, Cadena de custodia</p>

ANEXO2: Matriz de operacionalización

Variable	Dimensión	Indicador	Medida	Subindicador	Técnica	Instrumentos
<i>E. crassipes</i> V. Independiente	Efectividad de la especie	Disminución de contaminación (Gci -Gcf)	mg/L	250.3	Análisis estadístico	Resultados del informe de ensayo
		DBO ₅				
		DQO	mg/L	288.4		
		pH	Unidad	-0.61		
		Sólidos totales	mg/L	51189		
		Temperatura	°C	1.9		
		Conductividad	μS/cm	-3228.95		
	Eficiencia	DBO ₅	mg/L	7.296296	Análisis estadístico	Resultados del informe de ensayo
		DQO	mg/L	22.74310		
		pH	Unidad	108.65248		
Sólidos totales		mg/L	3.713108			
Temperatura		°C	91.44			
	Conductividad	μS/cm	2.105			
Aguas residuales domésticas V. Dependiente	Tiempo de absorción	Días	Unidad	38	Calendario	Ficha de seguimiento
	Parámetros físicos químicos	DBO ₅	mg/L	100	Ensayos de laboratorio	Informe de ensayo
		DQO	mg/L	200		
		pH	Unidad	6.5 <> 8.5		
		Sólidos totales	mg/L	150		
	Parámetros- nivel de contaminación Límites Máximos Permisibles	Temperatura	°C	>35		
		Conductividad	μS/cm	2500 <> 5000		

ANEXO 3: Ficha de observación

UNIVERSIDAD CONTINENTAL INGENIERÍA AMBIENTAL						
FICHA DE OBSERVACIÓN DE LA ESPECIE <i>E. crasspies</i>						
Código:						
Instrumento que permitirá recopilar información acerca de la especie <i>E. Crasspies</i> .						
1 EVALUACIÓN 1						
DÍA	<input type="text"/>					
COLOR DEL AGUA	Oscuro	<input type="checkbox"/>	Claro	<input type="checkbox"/>	Marrón	<input type="checkbox"/>
ASPECTO DE LA PLANTA	Saludable	<input type="checkbox"/>	Enferma	<input type="checkbox"/>		
ASPECTO DE LAS HOJAS	Verdes	<input type="checkbox"/>	Amarillentas	<input type="checkbox"/>		
DISMINUCIÓN DEL AGUA	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>		
2 EVALUACIÓN 2						
DÍA	<input type="text"/>					
COLOR DEL AGUA	Oscuro	<input type="checkbox"/>	Claro	<input type="checkbox"/>	Marrón	<input type="checkbox"/>
ASPECTO DE LA PLANTA	Saludable	<input type="checkbox"/>	Enferma	<input type="checkbox"/>		
ASPECTO DE LAS HOJAS	Verdes	<input type="checkbox"/>	Amarillentas	<input type="checkbox"/>		
DISMINUCIÓN DEL AGUA	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>		
3 EVALUACIÓN 3						
DÍA	<input type="text"/>					
COLOR DEL AGUA	Oscuro	<input type="checkbox"/>	Claro	<input type="checkbox"/>	Marrón	<input type="checkbox"/>
ASPECTO DE LA PLANTA	Saludable	<input type="checkbox"/>	Enferma	<input type="checkbox"/>		
ASPECTO DE LAS HOJAS	Verdes	<input type="checkbox"/>	Amarillentas	<input type="checkbox"/>		
DISMINUCIÓN DEL AGUA	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>		

ANEXO 4: Solicitud de autorización de ingreso

SEÑOR JOSE FRANCISCO ALVAREZ MALAGA

ALCALDE DEL DISTRITO DE YARABAMBA



Me dirijo a usted,

Yo, **KARLA ADRIANA BALLÓN DURAND**, identificada con DNI **N°70379427**, Bachiller en Ingeniería Ambiental, solicito con fines académicos para la obtención de mi título profesional en la Universidad Continental, información sobre la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Yarabamba así como su permiso para poder extraer una muestra de las aguas residuales antes del ingreso a su Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para poder realizar un proceso de investigación utilizando Fitorremediación, el cual evaluara si la planta que se utilizara (*Eichornia Crassipes*) en el tratamiento de las aguas residuales domesticas del distrito de Yarabamba es eficaz, así como la cantidad de pobladores, la data con la que cuentan para poder plasmarlo en mi proyecto de tesis.

Ruego a usted acceder a mi solicitud.

Atentamente,

KARLA ADRIANA BALLON DURAND

Arequipa, 15 de enero del 2021.

ANEXO 5: Solicitud a la PTAR

INGENIERO JUAN PIERRE LUQUE SALAS

Me dirijo a usted,

Yo, Karla Adriana Ballón Durand, identificada con el DNI 70379427, Bachiller en Ingeniería Ambiental, solicito con fines académicos para la obtención de mi título profesional en la Universidad Continental, permiso para poder extraer una muestra del alcantarillado de las aguas residuales domésticas antes del ingreso a su PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales), para poder realizar un tratamiento por medio de la fitorremediación, la presente investigación se realizara utilizando la especie *Eichhornia Crassipes* (lirio de agua); la planta presenta un gran porcentaje de mejora en aguas contaminada con metales, por ese motivo tratare de evaluar los parámetros como DBO, DQO, Temperatura, pH, Conductividad y Sólidos disueltos.

La muestra será solo una vez ya que me llevare una muestra de aproximadamente 20 litros para poder hacer el tratamiento en un lugar apto para las plantas, posteriormente se realizará 2 análisis más cada 15 días para ver la eficacia de la fitorremediación.

De haber algún inconveniente con la muestra me contactare con usted para realizar para programar otra toma de muestra. La toma de la muestra será realizada por mi persona en el horario y fecha que se indique.

Por favor quedo atenta a su pronta respuesta para realizar la programación del muestreo.

Pido a usted accedes a mi solicitud.


De antemano gracias.

Atentamente,


KARLA ADRIANA BALLÓN DURAND

Arequipa 19 de mayo del 2021.

ANEXO 6: Autorización de la Municipalidad

**MUNICIPALIDAD DISTRITAL
Y VILLA DE YARABAMBA**
GESTIÓN 2019-2022

CARTA GERENCIAL
N°084-2021-GMAYSP-MDVY

Yarabamba, 02 junio del 2021

SEÑORITA:
BACHILLER KARLA ADRIANA BALLÓN DURAND
DNI: 70379427

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE MONITOREO PARA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

REFERENCIA: "TESIS: FITOREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CON LA ESPECIE *Eichhornia crassipes* EN EL DISTRITO DE YARABAMBA, AREQUIPA 2021".

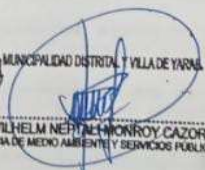
Tengo el agrado de dirigirme a Ud. para expresarle un cordial saludo o nombre de la Municipalidad Distrital de Yarabamba y el mío propio, para expresarle lo siguiente:

De que mediante Carta N° 001/KARLA ADRIANA BALLÓN DURAND, el día 02 de JUNIO del 2021, El Ingeniero Juan Pierre Luque Salas, emitió el INFORME N°035-2021-JL/GMAYSP/MDVY de la evaluación del Plan de tesis "FITOREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CON LA ESPECIE *Eichhornia crassipes* EN EL DISTRITO DE YARABAMBA, AREQUIPA 2021", presentado por la señorita Karla Adriana Ballón Durand, dicho expediente se encuentra con opinión técnica favorable para su aplicación.

Por lo tanto, brindará el contacto del responsable de la PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales), para la toma de las respectivas muestras.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para renovar los sentimientos de mi mayor consideración y estima personal.

Atentamente.



MUNICIPALIDAD DISTRITAL Y VILLA DE YARABAMBA
ING. WILHELM NEPTALÍ RONROY CAZORLA
GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE Y SERVICIOS PÚBLICOS

Municipalidad
YarabAMBA
054-494067
Municipalidad Distrital y Villa de Yarabamba

www.muniyarabamba.gob.
munioficialyarabamba@gmail.com
Calle América Nro. 102 - Plaza Yarabamba

ANEXO 7: Cadena de custodia

ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA															E.L. F-006-1.4.2 R.U. 01 L.M.J. 2020-Ped-13											
Datos del cliente: Karla Adriana Ballón Durand Razón Social: Karla Adriana Ballón Durand Persona de contacto: Karla A. Ballón Durand Correo / Teléfono: Karla.27abd@gmail.com / 940154493 Nombre del proyecto: Fitorremediación de Aguas Residuales Domésticas - Yarabamba, Arequipa												Orden de servicio: 21-2540 Plan de Monitoreo: CAD-5702 Informe de ensayo: SE-21-5764 Procedencia o lugar de muestreo: Distrito de Yarabamba			Pág. 1 de 1													
												Prácticas H ₂ SO ₄																
ITEM	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Clasificación		Ubicación	N° Frascos		PARAMETROS DE ENSAYO							PARAMETRO IN SITU				OBSERVACIONES								
				Grupo	Sub-grupo		V	P	Conductividad	ORC	ODO	pH	ST	T	T° Mtra (°C)	pH (unidad de pH)	CE (us/cm) Salinidad (ppt)	OD (mg/L)	Cloro Libre (mg/L)		Cloro Total (mg/L)							
1	AGR-YAR-01	20270	F: 04/06/21 H: 10:00	AR	Doméstica	N: 2169580 E: 235451	4	✓	✓	✓	✓	✓	✓								Agua turbia, fuerte olor, sin sedimentos							
2			F: N: H: E:			N: E:																						
3			F: N: H: E:			N: E:																						
4			F: N: H: E:			N: E:																						
5			F: N: H: E:			N: E:																						
6			F: N: H: E:			N: E:																						
7			F: N: H: E:			N: E:																						
8			F: N: H: E:			N: E:																						

Descripción de equipos utilizados: Item Código interno del equipo Nombre de equipo		Legenda F: Fecha N: Norte V: Vidrio T° Mtra: Temperatura de Muestra H: Hora E: Este P: Plástico T° Amb: Temperatura ambiente		Legenda CE: Conductividad Eléctrica OD: Oxígeno Disuelto		Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042	
Muestreado por: Karla Ballón Durand Fecha: 04/06/21 Firma: <i>Karla Ballón Durand</i>		Cliente: Karla Ballón Durand Fecha: 04/06/21 Firma: <i>Karla Ballón Durand</i>		Recepción de muestra: 		grupo sub-grupo AR: Aguas Naturales SUBSTRANSIA Biológica - Fertiliz AR: Aguas Residuales DOMESTICA - INDUSTRIAL - MUNICIPAL AR: Aguas para Uso y Consumo RESERVA Y LAGUNA ARTIFICIAL RESERVA PROFUNDA, MARCA EMBAJADO AS: Aguas Salinas MAR - SALINIDAD - SAL MUESTR AGUA DE COCCIÓN Y FRIJECCIÓN AP: Aguas de Proceso CIRCULACIÓN O ENFRIAMIENTO - AGUA DE CALDERAS ALIMENTACIÓN DE CALDERAS - AGUA DE LAVADO AGUA PURIFICADA - AGUA DE INYECCIÓN Y FRIJECCIÓN	
Observaciones / Comentarios Punto de muestreo ubicado en el buzón receptor del alcantarillado del distrito de Yarabamba. (ubicado en la PTAR de Yarabamba)		Muestreado por: <input type="checkbox"/> ALAB <input checked="" type="checkbox"/> Cliente					

SEDE PRINCIPAL: Prolongación Zorumbilla Mz D2 lote 3 Bellavista-Callao / SEDE GUARDIA CHALACA: Av. Guardia Chalaca 1877 Bellavista Callao
 SEDE AREQUIPA: Urbanización Tahaycanti Mz C, Lt 27, distrito de Sachaca, Arequipa / SEDE PUNO: Urbanización Los Condes Mz N, Lt 20, distrito de Puno, Puno.
 Web: www.alab.com.pe Email: ventas@alab.com.pe - RUC: 20000651901 - TI: 01 4531388 Cel: 9817 68829 / 9827 43031 9326 46456

Documento controlado. Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización de ALAB.

INFORMES

ANEXO 8: Informe del laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-5764

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : KARLA ADRIANA BALLON DURAND
2.-DIRECCIÓN : AV.AREQUIPA 915 ALTO SELVA ALEGRE
3.-PROYECTO : FITORREMEDIACION DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS - YARABAMBA, AREQUIPA
4.-PROCEDENCIA : DISTRITO DE YARABAMBA
5.-SOLICITANTE : KARLA ADRIANA BALLON DURAND
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : OS-21-2540
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2021-06-17

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-06-04
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-06-04 al 2021-06-17


Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
N° CIP 152207



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-5764

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Conductividad ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017	Conductivity, Laboratory Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017 □	Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017 □	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
pH ^(**)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Sólidos Totales ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23 rd Ed. 2017	Solids, Total Solids Dried at 103-105°C
Temperatura ^(**)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2520 B, 23rd Ed. 2017	Salinity; Electrical Conductivity Method.

*SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-5764**IV. RESULTADOS**

ITEM		1			
CÓDIGO DE LABORATORIO:		M-21-20270			
CÓDIGO DEL CLIENTE:		AGR-YAR-01			
COORDENADAS:		E:0235451			
UTM WGS 84:		N:8169580			
PRODUCTO:		Agua Residual			
SUB PRODUCTO:		Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:		NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :		04-06-2021 10:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Conductividad (*)	µS/cm	NA	0,01	2 105,00	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	270,0	
Demanda Química de Oxígeno (*)	(mg O2/L)	2,0	5,0	373,3	
pH (**)	Unidad de pH	NA	0,01	7,05	
Sólidos Totales (*)	mg Total Solids/L	2,00	5,00	53 163,00	
Temperatura (**)	(°C)	NA	0,1	22,2	

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

*-: No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES


Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

ANEXO 9: Cadena de custodia

ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA										L: F-006-LAB R: 01 L.V: 2008-P00-11						
Datos del cliente: Razón Social: <u>Karla Adriana Ballón Durand</u> Persona de contacto: <u>Karla A. Ballón Durand</u> Correo / Teléfono: <u>Karla2fabd@gmail.com / 940154403</u> Nombre del proyecto: <u>Fitorremediación de Aguas Residuales Domésticas - Yatabamba, Arequipa</u>											Orden de servicio: <u>21-2540</u> Pág. de ____							
Plan de Monitoreo: <u>CE-21-6307</u> Informe de ensayo: <u>JE-21-6381</u> Procedencia o lugar de muestreo: <u>Distrito de Yatabamba</u>																		
Muestra	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestra	Clasificación		Ubicación	N° Frascos		PARAMETROS DE ENSAYO						PARAMETROS IN SITU			OBSERVACIONES
				Grupo	Sub-grupo		V	P	Temperatura (°C)	pH (Unidad de pH)	CE (µmhos/cm)	OD (mg/L)	Cloro Libre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)				
1	AGR-YAB-02	24063	F: 23/06/21 H: 6:15	AR	Doméstica	N: 8186989 E: 230946	4	✓	✓	✓	✓	✓	✓					de color imperceptible agua clara
2			F: H:			N: E:												
3			F: H:			N: E:												
4			F: H:			N: E:												
5			F: H:			N: E:												
6			F: H:			N: E:												
7			F: H:			N: E:												
8			F: H:			N: E:												

Descripción de equipos utilizados:		Legenda		Legenda		Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042	
Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo	F: Fecha H: Hora	N: Norte E: Este	V: Viento P: Presión	T°: Muestra T°: Ambiente	CP: Conductividad Eléctrica OD: Oxígeno Disuelto
1							
2							
3							
4							

Muestreado por: <u>Karla Ballón Durand</u> Fecha: <u>23/06/21</u> Firma: <u>[Firma]</u>	Cliente: <u>Karla Ballón Durand</u> Fecha: <u>23/06/21</u> Firma: <u>[Firma]</u>	Recepción de muestra: 
---	--	--

Observaciones / Comentarios: <u>Aguas sin presencia de olores, mucho más clara</u>	Muestreado por: <input type="checkbox"/> ALAB <input checked="" type="checkbox"/> Cliente
---	---

ANEXO 10: Informe de laboratorio del segundo muestreo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6881

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Conductividad ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017	Conductivity. Laboratory Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
pH ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Sólidos Totales ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Solids Dried at 103-105°C
Temperatura ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2520 B, 23rd Ed. 2017	Salinity; Electrical Conductivity Method.

*SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

⁽¹⁾ El Ensayo indicado no ha sido acreditado

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6881

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-24363
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGR-YAR-02
COORDENADAS:				E:0230946
UTM WGS 84:				N:8186989
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				23-06-2021 06:15
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Conductividad (*)	µS/cm	NA	0,01	2 320,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	50,4
Demanda Química de Oxígeno (*)	(mg O2/L)	2,0	5,0	125,1
pH (**)	Unidad de pH	NA	0,01	7,38
Sólidos Totales (*)	mg Total Solids/L	2,00	5,00	1 336,00
Temperatura (**)	(°C)	NA	0,1	22,3

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

*-: No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-6881

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-24363
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGR-YAR-02
COORDENADAS:				E:0230946
UTM WGS 84:				N:8186989
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				23-06-2021 06:15
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Conductividad (*)	µS/cm	NA	0,01	2 320,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	50,4
Demanda Química de Oxígeno (*)	(mg O2/L)	2,0	5,0	125,1
pH (**)	Unidad de pH	NA	0,01	7,38
Sólidos Totales (*)	mg Total Solids/L	2,00	5,00	1 336,00
Temperatura (**)	(°C)	NA	0,1	22,3

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES


Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

ANEXO 11: Cadena de custodia del tercer muestreo

ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA										E: F-026-1.6.2 R: 01 LV: 2008-P48-12								
Datos del cliente Razón Social: <u>Karla Adriana Ballón Durand</u> Persona de contacto: <u>Karla A. Ballón Durand</u> Correo / Teléfono: <u>Karla.27abd@gmail.com / 940154493</u> Nombre del proyecto: _____												Orden de servicio: <u>21-2540</u> Pág. de _____ Plan de Monitoreo: <u>CC-21-7888</u> Informe de ensayo: <u>IE-21-7900</u> Procedencia o lugar de muestreo: <u>Distrito de Yarabamba</u>								
Preservables: _____ H ₂ O ₂ : _____																				
Item	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				PARAMETROS DE ENSAYO							PARAMETRO IN SITU			OBSERVACIONES					
	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Clasificación	Ubicación	N° Frascos	Conductividad	DBB	ODO	PH	SST	T	ST	T° Mtra (°C)		pH (valor de pH)	CE (µm/cm)	OD (mg/L)	Cloro Libre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)
1	AER-YAR-03	M-21 27463	F: 12/07/21 H: 6:00	AR Domestica	N: 8186969 E: 230946	V: 5	✓	✓	✓	✓	✓	✓								Agua mucho mas clara
2			F: H:		N: E:															
3			F: H:		N: E:															
4			F: H:		N: E:															
5			F: H:		N: E:															
6			F: H:		N: E:															
7			F: H:		N: E:															
8			F: H:		N: E:															

Descripción de equipos utilizados:		Leyenda		Leyenda		Clasificación de la Matriz Agua, Ref. NTP 214.042	
Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo	F: Fecha H: Hora	N: Norte E: Este	V: Vidrio P: Plástico	T° Mtra: Temperatura de Muestra T° Amb: Temperatura ambiente	CE: Conductividad Eléctrica OD: Oxígeno Disuelto
1							
2							
3							
4							

Muestreado por: <u>Karla Ballón Durand</u> Fecha: <u>12/07/21</u> Firma: <u>[Firma]</u>	Cliente: <u>Karla Ballón Durand</u> Fecha: <u>12/07/21</u> Firma: <u>[Firma]</u>	Recepción de muestra: 
---	--	--

Observaciones / Comentarios: <u>Agua mucho mas clara, sin presencia de olores.</u>	Muestreado por: <input type="checkbox"/> ALAB <input checked="" type="checkbox"/> Cliente
---	---

SEDE PRINCIPAL: Prolongación Zarumilla Mc D2 lote 3 Belavista-Cañao / SEDE GUARDIA CHALACA: Av Guardia Chalaca 1877 Belavista Cañao. SEDE AREQUIPA: Urbanización Tahuayasi Mc C. 1127, Distrito de Sacaca, Arequipa / SEDE PIURA: Urbanización Los Corales Mc N. L1 20, distrito de Piura, Piura. Web: www.alab.com.pe Email: ventas@alab.com.pe - RUC: 2060951501 - T1: 01 4531389 Cel: 9817-68828 / 9427-43311/ 8326-4649

ANEXO 12: Informe de laboratorio del tercer muestreo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-7960

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : KARLA ADRIANA BALLON DURAND
2.-DIRECCIÓN : NO INDICA
3.-PROYECTO : NO INDICA
4.-PROCEDENCIA : DISTRITO DE YARABAMBA
5.-SOLICITANTE : KARLA ADRIANA BALLON DURAND
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 0000002540-2021-0001
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2021-07-27

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-07-12
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-07-12 al 2021-07-27


Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP N° 151207


Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-7960**III. MÉTODOS Y REFERENCIAS**

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Conductividad ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017	Conductivity. Laboratory Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno ^(†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017 ^(‡)	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno ^(†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017 ^(‡)	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
pH ^(†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Sólidos Suspendidos Totales ^(†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017 ^(‡)	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Sólidos Totales ^(†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Solids Dried at 103-105°C
Temperatura ^(†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2520 B, 23rd Ed. 2017	Salinity, Electrical Conductivity Method.

*SMEWW[®] : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

^(†) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

^(‡) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-7960

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-27463
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGR-TAR-03
COORDENADAS:				E:0230946
UTM WGS 84:				N:8186989
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				12-07-2021 06:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Conductividad (*)	µS/cm	NA	0,01	3 250,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	19,7
Demanda Química de Oxígeno (*)	(mg O2/L)	2,0	5,0	84,9
pH (**)	Unidad de pH	NA	0,01	7,66
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	16
Sólidos Totales (*)	mg Total Solids/L	2,00	5,00	1 974,00
Temperatura (**)	(°C)	NA	0,1	20,3

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

*.: No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"