

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

AMBIENTAL



**REDUCCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LAS AGUAS
RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE SUPE, MEDIANTE
PLANTAS FITORREMEDIADORAS A ESCALA PILOTO**

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

**JAVIER HARO JAENETH CARMEN
TOSCANO JUSTINO REYDER EDMUNDO**

ASESOR:

Dr. SEGUNDO ROLANDO ALVITES VIGO

HUACHO - PERÚ

2023

REDUCCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE SUPE, MEDIANTE PLANTAS FITORREMEDIADORAS A ESCALA PILOTO

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1 %
2	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	1 %
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1 %
4	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
5	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
6	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	<1 %
7	extwprlegs1.fao.org Fuente de Internet	<1 %
8	observatoriochirilu.ana.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

**REDUCCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LAS AGUAS
RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE SUPE, MEDIANTE
PLANTAS FITORREMEDIADORAS A ESCALA PILOTO**

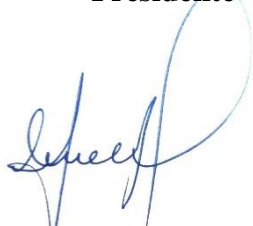
Jurado evaluador



Ing. Luis Miguel Chávez Barbery
Presidente



Mg. María Del Rosario Grados Olivera
Secretario



Mg. Hellen Yahaira Huertas Pomasoncco
Vocal



Dr. Segundo Rolando Alvites Vigo
Asesor

HUACHO – PERÚ

2023



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental

ACTA DE SUSTENTACIÓN N°028-2023-FIAIAyA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En la ciudad de Huacho, el día 04 de abril del 2023, siendo las ocho y treinta horas, en la Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador integrado por:

Presidente	Ing. LUIS MIGUEL CHÁVEZ BARBERY	DNI N°15759159
Secretario	Mg. MARIA DEL ROSARIO GRADOS OLIVERA	DNI N°15736587
Vocal	Mg. HELLEN YAHAIRA HUERTAS POMASONCCO	DNI N°46741141
Asesor	Dr. SEGUNDO ROLANDO ALVITES VIGO	DNI N°26620605

Para evaluar la sustentación de la tesis titulada: "REDUCCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE SUPE, MEDIANTE PLANTAS FITORREMIADORAS A ESCALA PILOTO". Los postulantes al Título Profesional de Ingeniero Ambiental doña: **JAVIER HARO JAENETH CARMEN** identificada con DNI N°75356197, y don: **TOSCANO JUSTINO REYDER EDMUNDO** con DNI N°70755026, procedieron a la sustentación de Tesis, autorizada mediante Resolución de Decanato N°0206-2023-FIAIAyA, de fecha 23/03/2023 de conformidad con las disposiciones vigentes, los postulantes Si absolviéron las interrogantes que le formularon los miembros del Jurado.

Concluida la sustentación de Tesis, se procedió a la votación correspondiente resultando los candidatos APROBADOS por UNANIMIDAD con la nota de:

CALIFICACIÓN		EQUIVALENCIA	CONDICIÓN
NÚMERO	LETRAS		
18	DIECIOCHO	EXCELENTE	APROBADO

Siendo las Nueve y cincuenta y seis minutos del día 04 de abril del 2023 se dio por concluido el ACTO DE SUSTENTACIÓN de Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental inscrito en el folio N°368 del Libro de Actas



[Signature]

Ing. LUIS MIGUEL CHAVEZ BARBERY
Presidente



[Signature]

Mg. MARIA DEL ROSARIO GRADOS OLIVERA
Secretario



[Signature]

Mg. HELLEN YAHAIRA HUERTAS POMASONCCO
Vocal



[Signature]

Dr. SEGUNDO ROLANDO ALVITES VIGO
Asesor

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mis queridos padres Carmen María y Edén Rodrigo, por la oportunidad que me dieron de estudiar una carrera para ser una profesional de bien que brinde aportes y soluciones para la mejora de la sociedad, por enseñarme a mantenerme leal a mis convicciones, gracias totales a su apoyo inmensurable. A mi abuelito Alfonso, que desde el cielo me brinda las fuerzas necesarias para no abdicar ante las dificultades y continuar cumpliendo mis metas. A todo el pueblo peruano que continua en pie de lucha y manifestándose de manera justa por un mejor Perú para todas y todos. A las víctimas de la represión del gobierno de turno y a los familiares de las víctimas que puedan encontrar consuelo y justicia, aunque sea un camino largo y arduo.

Jaeneth Carmen Javier Haro

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mi adorada madre, Deyanira quien hizo posible que este sueño se convierta en realidad a pesar de tantas adversidades que se nos presentaron en el trayecto, de igual forma se la dedico a cada uno de mis familiares que me apoyaron en todo momento y en especial a mi abuelo Edmundo, quien siempre fue un padre para mí y sé que desde lo alto está orgulloso de este logro.

Reyder Edmundo Toscano Justino

AGRADECIMIENTO

Manifestamos nuestro sincero agradecimiento principalmente a Dios, por habernos permitido lograr esta meta de vida, a cada uno de nuestros docentes por contribuir con su granito de arena en nuestro proceso de formación profesional, un especial agradecimiento a nuestro asesor Dr. Alvites, por apoyarnos activamente en el desarrollo de esta investigación y por ser nuestro guía en todo momento.

Jaeneth y Reyder

ÍNDICE

DEDICATORIA	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE ANEXOS	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT	XIII
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 Problema general	2
1.2.2 Problemas específicos	2
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.5 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	5
2.1.2 Antecedentes nacionales	6
2.2 BASE TEÓRICA	7
2.2.1 Camal o matadero	7
2.2.2 Aguas residuales	9
2.2.3 Tratamientos de las aguas residuales	11
2.2.4 Etapas del tratamiento de aguas residuales.....	11
2.2.5 Fitorremediación de las aguas residuales.....	13
2.2.6 Plantas fitorremediadoras.....	17
2.2.7 Base legal	19

2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	19
2.4	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	22
2.4.1	Hipótesis general.....	22
2.4.2	Hipótesis específicas	22
2.5	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	23
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....		24
3.1	GESTIÓN DEL EXPERIMENTO	24
3.1.1	Ubicación	24
3.1.2	Características del área experimental.....	24
3.1.3	Tratamientos	24
3.1.4	Diseño experimental	25
3.1.5	Variables a evaluar.....	25
3.1.6	Conducción del experimento	26
3.2	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS		30
4.1	RESULTADOS DE PARÁMETROS DE CONTROL PH Y TEMPERATURA	30
4.2	RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO	32
4.2.1	Resultados iniciales.....	32
4.2.2	Resultados finales	34
4.3	DETERMINACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE REDUCCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA (DBO ₅ Y DQO)	36
4.3.1	Determinación de los porcentajes de reducción de DBO ₅	37
4.3.2	Determinación de los porcentajes de reducción de DQO	38
4.3.3	Determinación de Promedios de reducción de DBO ₅ y DQO	39
4.4	DETERMINACIÓN DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS Y LA MAYOR EFICIENCIA ENTRE LOS PORCENTAJES DE REDUCCIÓN DE DBO ₅ Y DQO	41
4.4.1	Análisis de Varianza de los resultados de la DBO ₅	41
4.4.2	Análisis de Varianza de los resultados de la DQO	42
4.5	COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE LA MATERIA ORGÁNICA (DBO ₅ Y DQO) CON LOS VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES.....	43
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....		48
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		50
6.1	CONCLUSIONES.....	50
6.2	RECOMENDACIONES	51

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS	52
ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica del Nasturtium Officinale	17
Tabla 2 Clasificación taxonómica de la Eichornia crassipes	18
Tabla 3 Clasificación taxonómica de laThypa latifolia.....	19
Tabla 4 Valores Maximos Admisibles	21
Tabla 5 Cuadro de operacionalización de variables.....	23
Tabla 6 Tratamientos.....	25
Tabla 7 Distribución al azar de los tratamientos	25
Tabla 8 Niveles de valoración del porcentaje de reducción de la materia orgánica (DQO y DBO ₅).....	29
Tabla 9 Resultados de pH.....	30
Tabla 10 Resultados de temperatura	31
Tabla 11 Resultados de laboratorio de la muestra inicial (CMS - 01).....	33
Tabla 12. Comparación de los resultados de DBO ₅ y DQO iniciales con los VMA.	33
Tabla 13 Resultados de laboratorio transcurrido los 14 días de tratamiento con Nasturtium officinale.....	35
Tabla 14 Resultados de laboratorio transcurrido los 14 días de tratamiento Eichhornia crassipes.	35
Tabla 15 Resultados de laboratorio transcurrido los 14 días de tratamiento con Thypa latifolia.	35
Tabla 16 Porcentajes de reducción del parámetro DBO ₅	37
Tabla 17 Porcentajes de reducción del parámetro DQO	38
Tabla 18 Promedio de reducción de la DBO ₅ y DQO.....	39
Tabla 19 Analisis de varianza del la DBO ₅	42
Tabla 20 Medias de reducción de DBO ₅ por tratamiento	42
Tabla 22 Analisis de varianza del la DQO	42
Tabla 23 Medias de reducción de DQO por tratamiento	42
Tabla 24 Prueba de Tukey al 95% de confianza para el parámetro DQO.	43
Tabla 25 Comparación de los valores del DBO ₅ y DQO final con el VMA.....	44
Tabla 26 Comparación de los promedios DBO ₅ y DQO final con los VMA.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de las operaciones de un matadero.	9
Figura 2. Tecnologías utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales.	13
Figura 3. Clasificación de los humedales artificiales con macrófitas.	14
Figura 4. Estructura del humedal artificial superficial.	15
Figura 5. Estructura del humedal artificial de tipo horizontal.	15
Figura 6. Estructura del humedal artificial de tipo vertical.	16
Figura 7. Grafico de pH.	31
Figura 8. Grafico de temperatura.	32
Figura 9. Comparación de la DBO ₅ inicial con el VMA.	34
Figura 10. Comparación de la DQO inicial con el VMA.	34
Figura 11. Concentración de la DBO ₅ final de cada unidad experimental.	36
Figura 12. Concentración de la DQO final de cada unidad experimental.	36
Figura 13. Porcentajes de reducción de la DBO ₅ en cada unidad experimental.	37
Figura 14. Porcentajes de reducción de la DQO en cada unidad experimental.	38
Figura 15. Comparación de los promedios de la DBO ₅ final con la DBO ₅ inicial.	39
Figura 16. Comparación de los promedios de la DQO final con la DQO inicial.	40
Figura 17. Promedios de los porcentajes de reducción de la DBO ₅	40
Figura 18. Promedios de los porcentajes de reducción de la DQO.	41
Figura 19. Grafico de comparación de Tukey para los tratamientos en el %R-DQO.	43
Figura 20. Grafica comparativa de la DBO ₅ final de cada unidad experimental con el VMA.	45
Figura 21. Grafica comparativa de la DQO final de cada unidad experimental con el VMA.	45
Figura 22. Grafica comparativa de los promedios DBO ₅ final con el VMA.	46
Figura 23. Grafica comparativa de los promedios de la DQO final con el VMA.	47
Figura 24. Mapa de ubicación del proyecto de investigación.	58
Figura 25. Plano de ubicación de los puntos de muestro.	59
Figura 26. Plano de distribución de las unidades experimentales.	60
Figura 27. Análisis de varianza de la DBO ₅ con P<0.05 en Minitab.	61
Figura 28. Análisis de varianza de la DQO con P<0.05 en Minitab.	61

Figura 29. Gráfica de normalidad de los datos para la DBO5	62
Figura 30. Gráfica de normalidad de los datos para la DQO	62
Figura 31. Adquisición y periodo de adaptación de la planta Eichornia Crasipess.	63
Figura 32. Adquisición y periodo de adaptación de la planta Nasturtium officinale.	63
Figura 33. Adquisición y periodo de adaptación de la planta Thypha latifolia.	63
Figura 34. Recolección de las aguas residuales del punto de descarga del camal municipal de Supe.	64
Figura 35. Toma de muestra inicial de las aguas residuales homogenizadas	64
Figura 36. Filtrado de las aguas residuales (proceso unitario de desbaste).....	64
Figura 37. Periodo de sedimentación de las aguas residuales.....	65
Figura 38. Toma de datos de pH y Temperatura inicial de las aguas residuales	65
Figura 39. Lavado de la grava que se utilizará en el tratamiento con Thypha latifolia	65
Figura 40. Lavado con agua destilada de los envases de plástico rectangulares	66
Figura 41. Distribución de las aguas residuales en los recipientes.....	66
Figura 42. Incorporación de la capa grava y la planta fitorremediadora Thypha latifolia en el recipiente.	66
Figura 43. Instalación de especies Nasturtium officinale,Eichhornia crassipes y Thypha latifolia.	67
Figura 44. Muestras finales transcurridos los 14 días de periodo de retención de todas las unidades experimentales.	67
Figura 44. Unidades experimentales instaladas	67
Figura 45. Cadena de custodia de la muestra inicial	68
Figura 46. Cadena de custodia de las muestras finales (1de 3).....	69
Figura 47. Cadena de custodia de las muestras finales (2 de 3).....	70
Figura 48. Cadena de custodia de las muestras finales (3 de 3).....	71

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Planos y Mapas	58
Anexo 2. Evidencias de pruebas estadísticas en Minitab.....	61
Anexo 3. Evidencia fotográfica del desarrollo del experimento	63
Anexo 4. Cadenas de custodia.....	68
Anexo 5. Informe de Ensayo Inicial (FQ N° 221118-011)	72
Anexo 6. Informe de Ensayo final (FQ N° 221202-007).....	74

RESUMEN

Objetivo: Evaluar los porcentajes de reducción de materia orgánica (DQO y DBO₅) que se obtendrá en los tratamientos con *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto. **Metodología:** El área donde se instalaron las unidades experimentales fue en la azotea de una vivienda perteneciente al Distrito de Supe, Provincia de Barranca y Región Lima. Las aguas residuales fueron recolectadas en el punto de descarga durante el periodo de beneficio, de las cuales se tomó una muestra inicial compuesta, para el análisis en laboratorio de la DBO₅ y DQO, posteriormente las aguas pasaron por los procesos unitarios de pretratamiento (desbaste y sedimentación), luego fueron distribuidas en cantidades iguales de 15 litros en cada unidad experimental. El periodo de retención hidráulica fue de 14 días, culminado el periodo se tomaron muestras finales de cada unidad experimental para su análisis en laboratorio, finalmente el procesamiento de la información se realizó mediante estadística inferencial (Análisis de varianza y prueba de Tukey). **Resultados:** El primer tratamiento con *Nasturtium officinale* obtuvo 48.1 % de reducción para DQO y 84% para DBO₅, el segundo tratamiento con *Eichhornia crassipes* obtuvo 64.9% de reducción para DQO y 89.2% para DBO₅ y el último tratamiento con *Thypha latifolia* obtuvo 70% de reducción para DQO y 89.1% para DBO₅. **Conclusiones:** Se concluye que en función a los niveles de valoración el tratamiento con *Thypha latifolia* presenta alto porcentaje de reducción de la materia orgánica (DQO y DBO₅), mientras que los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale* presentan porcentajes altos de reducción para la DBO₅, y medios para DQO.

Palabras clave: Materia orgánica, fitorremediación, aguas residuales, camal, VMA.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the percentages of reduction of organic matter (COD and BOD₅) that will be obtained in the treatments with *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* and *Thypha latifolia* of the wastewater from the municipal slaughterhouse of Supe on a pilot scale.

Methodology: The area where the experimental units were installed was on the roof of a house belonging to the Supe District, Barranca Province and Lima Region. The wastewater was collected at the point of discharge during the benefit period, from which an initial composite sample was taken for laboratory analysis of BOD₅ and COD, then the water went through unitary pretreatment processes (roughing and sedimentation), then they were distributed in equal quantities of 15 liters in each experimental unit. The hydraulic retention period was 14 days. At the end of the period, final samples were taken from each experimental unit for analysis in the laboratory. Finally, the processing of the information was carried out using inferential statistics (Analysis of variance and Tukey's test).

Results: The first treatment with *Nasturtium officinale* obtained 48.1% reduction for COD and 84% for BOD₅, the second treatment with *Eichhornia crassipes* obtained 64.9% reduction for COD and 89.2% for BOD₅ and the last treatment with *Thypha latifolia* obtained 70% reduction for COD and 89.1% for BOD₅. **Conclusions:** It is concluded that depending on the valuation levels, the treatment with *Thypha latifolia* presents a high percentage of reduction of organic matter (COD and BOD₅), while the treatments with *Eichhornia crassipes* and *Nasturtium officinale* present high percentages of reduction for BOD₅, and media for COD.

Keywords: Organic matter, phytoremediation, wastewater, slaughterhouse, VMA.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En los últimos años las diferentes ciudades del mundo han experimentado un acelerado crecimiento poblacional que conlleva al incremento de la demanda alimentaria, siendo ejemplo de ello la industria de producción cárnica y sus derivados que al igual que otras industrias alimentarias han tenido que incrementar su producción para poder abastecer a la población. Cabe resaltar que, en ese contexto mundial, las ciudades del Perú siguen el mismo patrón de crecimiento poblacional acelerado, un claro ejemplo de ello es el Distrito de Supe, cuya creciente demanda alimentaria exige una mayor oferta, es así que el camal municipal de Supe incrementó su producción para poder abastecer a los mercados del distrito.

Esto conlleva a una mayor generación de aguas residuales, las mismas que deben ser tratadas previa a su disposición final, sin embargo, la actual instalación del camal municipal de Supe no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), pese a que esta industria genera volúmenes significativos de efluente debido a sus diferentes procesos. Salas y Condorhuamán (2008) afirman que: “El proceso de matanza se caracteriza por el elevado número de operaciones de lavado que deben realizarse, así como parte de las operaciones del mantenimiento de las condiciones de higiene que se exige a una empresa alimenticia en esta área. Los efluentes líquidos constituyen uno de los principales problemas debido al alto contenido de carga orgánica” (p.32).

Siendo los principales contaminantes visibles: sangre, bazofia, grasas, pelos, entre otros; estas aguas residuales del camal municipal de Supe actualmente son vertidas directamente a un canal de irrigación adyacente a las instalaciones del mismo. Esta acción puede generar impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana, debido a que se estaría afectando la calidad del agua del canal de regadío que posteriormente es utilizado para regar las áreas de cultivo, por otro lado, es un foco infeccioso que atrae vectores que podrían transmitir patógenos.

Una solución eficiente y eco amigable ante esta problemática es la fitorremediación, que es una alternativa de tratamiento debido a que se atribuye a la capacidad de las plantas de asimilar o refrenar los contaminantes como resultado de las acciones microbiológicas que se desarrollan en la zona radicular o en el cuerpo de la planta. Es preciso mencionar que la eficiencia de esta tecnología se basa en la interacción de las raíces de las plantas, el suelo y los microorganismos para descomponer, inmovilizar, transferir y desactivar contaminantes del medio ambiente. Azadeh et al. (como se citó en Mebemba, Kayath, Madiélé, Diélé y Ouamba, 2019).

En respuesta a esta problemática que aqueja al país entero, la presente investigación pretende reducir la materia orgánica de las aguas residuales del camal Municipal de Supe, mediante las plantas *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia*, estableciendo de este modo un sistema de tratamiento accesible económicamente y capaz de proporcionar aguas residuales cuyas características orgánicas, se encuentren a niveles aceptables según el Decreto Supremo N° 010 – 2019 VIVIENDA, que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, de esta manera se reduce el impacto negativo al medio ambiente y los posibles daños a la salud humana.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ✓ ¿Cuáles son los porcentajes de reducción de materia orgánica (DBO₅ y DQO) que se obtendrán en los tratamientos con *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto?

1.2.2 Problemas específicos

- ✓ ¿Existirán diferencias significativas entre los porcentajes de reducción de la materia orgánica (DBO₅ y DQO) de los tratamientos con *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto?
- ✓ ¿Cuál será el tratamiento más eficiente en la reducción de la materia orgánica (DBO₅ y DQO) de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto?
- ✓ ¿Las concentraciones finales de la materia orgánica (DBO₅ y DQO) obtenidas en los tratamientos con *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* cumplirán con los Valores Máximos Admisibles, de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo general

- ✓ Evaluar los porcentajes de reducción de materia orgánica (DBO₅ y DQO) que se obtendrá en los tratamientos con *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar si existen diferencias significativas entre los porcentajes de reducción de la materia orgánica (DBO5 y DQO) de los tratamientos con *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto.
- ✓ Determinar el tratamiento más eficiente para la reducción de la materia orgánica (DQO y DBO5) en las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto.
- ✓ Evaluar si las concentraciones finales de la materia orgánica (DBO5 y DQO) obtenidas de los tratamientos con *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* cumplen con los Valores Máximos Admisibles.

1.4 Justificación de la investigación

A nivel mundial y en el Perú los procesos que se llevan a cabo en los camales generan niveles altos de contaminantes que al ser descargados a cuerpos de agua modifican su calidad negativamente. “Esta situación es especialmente difícil de manejar en los municipios pequeños, donde las limitaciones técnicas y económicas no permiten poner en funcionamiento medidas de manejo ambiental, que solucionen el problema de forma definitiva” (Berrios y Urquiza, 2020, p.2).

En el caso de las aguas residuales del camal municipal de Supe se considera el tratamiento mediante plantas fitorremediadoras como una tecnología de fácil acceso, eficiente, amigable con el medio ambiente y económica, por lo que no existirían muchas barreras para que este sea implementado en todos los camales municipales que no cuenten con adecuados sistemas de tratamiento, incluso en zonas rurales de bajo presupuesto económico. El hecho de que los camales cuenten con una planta de tratamientos de aguas residuales es sumamente necesario e importante, para que a través de ellos se reduzcan los contaminantes y de esa manera poder mantener niveles tolerables de calidad de agua antes de ser vertidos a sistemas de alcantarillado sanitario, es por ello que la normativa peruana cuenta con Valores Máximos Admisibles para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, de esta manera se busca conservar el medio ambiente y la salud humana, sin embargo, todo sistema de tratamiento implementado debe ser diseñado considerando las características del lugar (clima, topografía, etc.), para que este funcione correctamente.

La investigación que se ha realizado tiene antecedentes en algunos lugares del país y el mundo, pero en el distrito de Supe no hay ninguna investigación sobre las aguas residuales del camal municipal de supe a la actualidad, por lo que será un aporte significativo a futuras

investigaciones ya que dará a conocer el estado real de las aguas residuales que se vierten sin tratar, además de dar alternativas de solución viables, eficientes y económicas para poder ser aplicadas en la realidad logrando de esa manera mitigar los posibles impactos negativos que la materia orgánica podría generar en el canal de regadío, los cultivos y la población, asimismo se estaría mejorando la calidad de vida de la población y la calidad de los componentes ambientales que estarían siendo afectados por estas aguas residuales.

En ese contexto, se ha realizado el tratamiento de las aguas residuales del camal municipal de Supe mediante las plantas *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* a escala piloto para evaluar si estas son capaces de reducir la materia orgánica, cuantificando porcentualmente dicha reducción, de esta manera determinar el tratamiento con mayor eficiencia, asimismo, conocer si después de los tratamientos estas aguas residuales son aptas para ser descargados al sistema de alcantarillado sanitario.

Esta investigación aportará información científica a la sociedad, a los profesionales y los estudiosos de los temas ambientales, ya que permite conocer la fitorremediación como una alternativa que puede ser aplicada a escala real, además de que ayuda a conocer mejor las características de las aguas residuales del camal municipal de Supe y así sentar las bases para que se puedan realizar más investigaciones y/o estudios sobre las mismas.

1.5 Delimitación del estudio

Delimitación espacial

El estudio se ha realizado en la Región Lima Provincias, Provincia de Barranca y Distrito de Supe, siendo el lugar específico una vivienda ubicada a doce cuadras del camal municipal de Supe, cuyas coordenadas UTM son Este: 203169 y Norte: 8804419; de este modo se facilitaron los trabajos para acondicionar e implementar las unidades experimentales con las aguas residuales que fueron tomadas y recolectadas del camal Municipal de Supe.

Delimitación temporal

La investigación ha sido realizada entre los meses de octubre y noviembre del año 2022 en un lapso de 29 días en total, de las cuales 3 días se han utilizado para la compra de materiales y adquisición de las plantas; 10 días para el aclimatamiento de las plantas; 2 días para la recolección de las aguas residuales del camal, la toma de muestra inicial para el análisis en laboratorio, los pretratamientos (desbaste y sedimentación) y finalmente la implementación de las unidades experimentales; los 14 días restantes son los que ha transcurrido el experimento y la toma de muestras finales de cada unidad experimental para enviarlo a análisis en laboratorio.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Alam, Ullah , Basheer y Haq (2021) realizaron su investigación en la India donde evaluaron tres plantas acuáticas jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), lentejas de agua (*Lemna minor*) y algas filamentosas, para reducir los nutrientes y la materia orgánica de las aguas residuales de los mataderos, para el cual cultivaron las tres plantas en recipientes idénticos de 12 litros y evaluaron los parámetros de crecimiento de las plantas y parámetros de calidad de aguas residuales durante 30 días, así obtuvieron resultados de reducción de DQO para las algas 49,36%, jacinto de agua 36,70% y lentejas 18,98% .

Ramdani, Prasetya y Purnomo (2019) realizaron un estudio en el distrito de Berbah, Indonesia para determinar la capacidad de las plantas para reducir el contenido de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el contenido de amoníaco de las aguas residuales de un matadero de pollos, usando un sistema de humedales artificiales con las especies: totora (*Thypha latifolia*), planta paraguas (*Cyperus alternifolius*) y vetiver (*Vetiveria zizanioides L. Nash*). Con el fin de evaluar los parámetros de estudio, realizaron la observación en tres tiempos de acuerdo al ciclo de vida de la planta, la primera cuando las plantas fueron recién sembradas (early), durante el crecimiento óptimo (optimum) y la última cuando las plantas fueron cortadas (Harvest), de esta manera concluyen que el mejor porcentaje de remoción fue en la etapa denominada Harvest y el consumo de DQO por planta fue de: 773g, 3741g y 3450g, para la totora, planta paraguas y vetiver, respectivamente.

Kerthana y Thivyatharsan (2018) en su investigación realizada en Sri Lanka, evaluaron la eficiencia de la totora (*Thypha latifolia*) en humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales de mataderos, los parámetros estudiados fueron: DQO, DBO₅, STD, SST, entre otros, para lo cual construyeron un humedal con capas de fibra de coco, arena y grava y tomaron 20 litros de agua residual, analizaron los parámetros en periodos de retención de 3, 6 y 9 días, en el cual obtuvieron las mejores eficiencias de remoción en el mayor periodo de retención hidráulica de 9 días, cuyos valores fueron de: 77.5% para DQO y 93.29% para DBO₅.

Oktorina, Achmad y María (2019) en su estudio realizado en Indonesia, evaluaron la efectividad de la fitorremediación utilizando *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de las aguas residuales de industrias del Tofu, donde evaluaron los parámetros DBO₅, DQO, SST y Amoniaco; para el cual utilizaron dos sistemas de reactores paralelos uno con aireación y el segundo sin aireación, cada reactor contaba con siete compartimientos que contenían 70

litros de agua cada uno, el compartimiento número uno fue utilizado como depósito mientras que los demás compartimentos para la remediación, y utilizaron una bomba para hacer que el flujo retorne al compartimiento número 1, es decir el sistema tenía un flujo circular y el periodo de retención hidráulica fue de 10 días, en donde obtuvieron tasas de remediación para el tratamiento sin aireación : DBO₅ 59,84%, DQO 58,95%, SST 86,79% y amoníaco 25,43%, y para el tratamiento con aireación DBO 80,67%, DQO 78,28%, SST 65,79% y amoníaco 49,79%.

Oladejo, Olanipekun, Diekola, y Olaniyan (2019) en su investigación realizada en el matadero “Atenda” de la ciudad de Ogbomoso – Nigeria, evaluaron dos plantas macrófitas para eliminar los contaminantes de las aguas residuales de dicho matadero, para el cual utilizaron humedales artificiales de flujo subsuperficial (celdas de tratamiento), uno de ellos sembrado con *Thypha orientalis* y el segundo con *Sorghum arundinaceum* adicional a ello tuvieron una celda testigo es decir sólo el agua residual; el tiempo de retención fue de 10 días, donde sus resultados mostraron que la *Thypha orientalis* elimina mejor los contaminantes: 99% y 99.5% para DQO y DBO₅ respectivamente y la planta *Sorghum arundinaceum* 73.4% y 66% DQO y DBO, sin embargo la celda de tratamiento de control, también tuvo buen porcentaje de reducción de los parámetros antes mencionados con valores de 98.3% para DQO y 99.1% para DBO₅.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Curasma y Sandoval (2019) en su investigación tuvieron como objetivo: “Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos del sistema integrado de biopelícula y fitorremediación con *Nasturtium officinale* (berro) para el tratamiento de agua residual municipal de la localidad de Huancavelica”, donde instalaron una planta piloto que fue compuesto por un sedimentador (que además retenía aceites y grasas), un filtro biológico empleando como material de soporte la toba y un proceso de fitorremediación con *Nasturtium officinale* en donde obtuvieron resultados favorables respecto a la eficiencia en remoción de 44.48% para DBO₅ y 66.67% para DQO en un tiempo de retención de 5.5 horas. Iglesias y Martínez (2020) en su investigación realizada en Trujillo, tuvieron como objetivo: evaluar el porcentaje de remoción de *Thypha latifolia* y *Eichhornia crassipes* en los parámetros de DBO₅, DQO, SST y AYG en las aguas residuales de efluentes industriales. Así obtuvieron valores de remoción para la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) de: 97.16% DBO, 97.31% DQO, 90.60% SST y 89.47% Aceites y grasas. Asimismo, para la especie *Thypha latifolia* (Tototra) valores de: 92.73% DBO₅, 92.86% DQO, 93.55% SST, 71.57% Aceites y grasas.

Valdivia (2019) en su investigación realizado en Celendin, Cajamarca tuvo como objetivo: “Determinar la Eficiencia del jacinto de agua *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms Laub y el “berro” *Nasturtium officinale* W.T. Aiton, en la remoción de DBO₅ y DQO del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín”, para lo cual utilizó un sistema en serie, constituido por dos recipientes, para cada especie vegetal el tiempo de retención fue de 6.88 días por cada sistema de tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale*; en donde obtuvieron resultados de remoción para el Jacinto de agua de 85% y 84.33% para DBO₅ y DQO respectivamente, en el caso del berro obtuvieron 30.62 y 35.44% para DBO₅ y DQO respectivamente.

Mellado (2019) en su estudio realizado en la planta de tratamiento María Reiche del distrito de Miraflores, tuvo como objetivo: “Determinar la eficiencia de la totora, carricillo y junco para el tratamiento de las aguas domesticas por humedales artificiales de flujo superficial”, para el cual tomó el agua de la salida de la unidad de pretratamiento de la PTAR al cual conectó un distribuidor de caudales hacia los contenedores con las especies ya sembradas y el tiempo de retención fue de 2 días, en donde obtuvo eficiencia de remoción de DBO₅ en 86.7 %, 83.4 % y 87 % para la totora, carricillo y junco respectivamente, asimismo se determinó remoción de la DQO en 70.37%, 72.85 % y 70.12 % en el mismo orden, de igual forma analizó fosforo, A y G, entre otros parámetros.

Pari y Sullcaray (2021) en su investigación tuvieron como objetivo: “Evaluar la eficiencia del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con berro (*Nasturtium Officinale*) para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales del distrito de Yauli, Huancavelica”, para el cual establecieron un periodo de retención hidráulica de 5 y 7 días, así obtuvieron una eficiencia máxima de remoción de DQO de 42.20% y 78.10% respectivamente para ambos tiempos de retención evaluados.

2.2 Base teórica

2.2.1 Camal o matadero

El fin que tiene un matadero es el poder producir carne preparada higiénicamente, eso quiere decir el aplicar correctamente técnicas higiénicas y de manipulación adecuada de los animales que serán sacrificados. De esa manera se asegura la trazabilidad para llevar a cabo inspecciones a la carne, además facilita un manejo apropiado de los desechos que se producen en los procesos de este tipo de industrias, con el objetivo de eliminar cualquier tipo de peligro potencial de que carne contaminada sea consumida por el público o genere impactos negativos en el medio ambiente (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO], 1993).

2.2.1.1 Clasificación de los mataderos

Según el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA, 2012), los mataderos se clasifican en tres categorías:

a) Matadero de categoría 1

Estas son las que tienen una capacidad instalada para faenar hasta 10 bovinos, 20 porcinos o camélidos y 30 ovinos o caprinos por jornada diaria, además de que se ubiquen en lugares donde el ganado faenado sea de manera prioritaria para la zona. Asimismo, deben de estar situados en sectores retirados, es decir, que no se encuentren en el área urbana; para su correcto funcionamiento debe cumplir los requisitos generales y el diseño de los mataderos, los procedimientos operativos estandarizados de saneamiento, entre otros (SENASA, 2012).

b) Matadero de categoría 2

“Son los que faenan animales destinados exclusivamente al consumo nacional” (SENASA, 2012, p.6).

c) Matadero de categoría 3

Son aquellos que faenan animales para el consumo nacional, además estos fácilmente pueden o podrán ser exportados (SENASA, 2012).

En el caso de la categoría 2 y 3 para su buen funcionamiento deben de cumplir con los requisitos establecidos en la categoría 1. Además de ello, tienen que cumplir con servicio médico veterinario a cargo de médicos veterinarios del SENASA; ejecutar un programa de vigilancia y control para determinación de residuos químicos y contaminantes biológicos en la carne y menudencias; aplicar buenas prácticas de faenado, Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento (POES), programa de saneamiento (limpieza y desinfección) y programas de control de plagas; plan de análisis de peligro y puntos críticos de control; plan interno de rastreabilidad según lineamientos técnicos del SENASA. (SENASA, 2012, p.6-7)

2.2.1.2 Ubicación de los mataderos

Los mataderos deben construirse en áreas acorde a la zonificación del uso de suelo, es decir requieren la autorización de la autoridad municipal, para ello debe cumplir con las características geográficas necesarias para reducir el riesgo a los peligros naturales, asimismo esta debe ubicarse lejos de centros especiales como hospitales, cementerios, aeropuertos, plantas químicas, plantas procesadoras de minerales, rellenos sanitarios o botaderos, entre otros (SENASA, 2012).

2.2.1.3 Operaciones fundamentales

Dier (2007) afirma: “el proceso de sacrificio en los camales comprende operaciones fundamentales que son” (p.23).

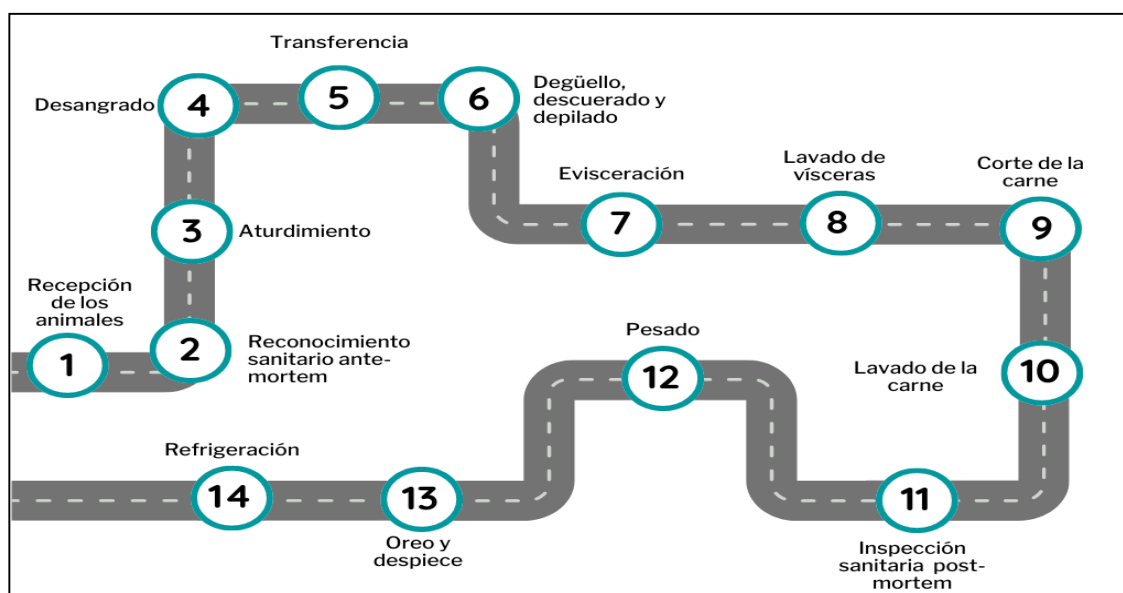


Figura 1. Diagrama de flujo de las operaciones de un matadero.

Nota. Adaptado de proceso de faenamiento y las características de la carne en el ganado vacuno del camal municipal de Ambato (2007).

2.2.2 Aguas residuales

“Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado” (Organismos de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014, p.2).

2.2.2.1 Características

a) Características físicas

Las más trascendentales son el contenido total de sólidos, que van a comprender la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Así también están el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad (Metcalf y Eddy, 1995).

b) Características químicas

Las más importantes son la materia orgánica y la materia inorgánica, los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales son las proteínas, los hidratos de carbono, aceites y grasas y agentes tensoactivos. En el caso de la materia inorgánica tenemos el pH, cloruros, nitrógeno, fósforo, azufre, y metales pesados (níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro, mercurio, otros) que a nivel traza ayudan al correcto funcionamiento de la vida biológica, pero debido a su toxicidad, la existencia de cualquiera

de estos de manera abundante en las aguas puede generar la obstaculización de un número considerable de los usos del agua. Además, los gases que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas residuales brutas son el nitrógeno, el oxígeno, el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno, el amoníaco y el metano, los tres primeros son gases que típicamente están se encuentran en la atmósfera y en las aguas en contacto con ellas, los tres últimos son producto de la descomposición de la materia orgánica que se encuentran en las aguas residuales (Metcalf y Eddy, 1995).

c) Características biológicas

Los principales grupos de organismos que están presentes en aguas superficiales y en aguas residuales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias; hay microorganismo que intervienen en los tratamientos biológicos, organismos patógenos, organismos que son utilizados como indicadores de contaminación. Es así que tenemos a las bacterias, los hongos, las algas, los protozoos, las plantas y animales; además se tiene a los virus que son capaces de invadir las células de un organismo reconduciendo la actividad celular hacia la producción de nuevas partículas virales a costa de las células originales, una vez que muere la célula original, se empieza a liberar una gran cantidad de virus que infectará del mismo modo a otras células adyacentes (Metcalf y Eddy, 1995).

2.2.2.2 Tipos

a) Aguas residuales domésticas:

Son aquellas que se producen en las viviendas, centros comerciales privadas y/o públicas. Que son mezclas de aguas de lavado, restos fecales y limpieza. Debido a ello presentan carga contaminante como gérmenes patógenos, detergentes, sólidos, fósforo, nitrógeno, etc (INNOTECH laboratorios, 2021).

b) Aguas residuales pecuarias:

Son aquellas que se producen en las actividades ganaderas y suelen verterse a los cauces. Poseen características parecidas a las domésticas debido a su procedencia animal. Los marcadores microbiológicos son los mismos que en las domésticas. Estas aguas suelen ser de bajo volumen, por lo que los sólidos suspendidos y la materia orgánica poseen concentraciones elevadas (INNOTECH Laboratorios, 2021).

c) Aguas residuales de origen agrícola:

Estas aguas provienen del arrastre pluvial y de riego, de los productos usados en la agricultura siendo los abonos y pesticidas los principales contaminantes. Finalmente, los cuerpos receptores de estos contaminantes son los ríos, embalses o acuíferos (INNOTECH Laboratorios, 2021).

d) Aguas residuales industriales:

Estas aguas se originan en las distintas actividad industriales existentes. Siendo el resultado de aguas de proceso o aguas de limpieza, aguas parecidas a las domésticas y aguas de refrigeración o calefacción. Cabe precisar que dependiendo del tipo de industria se van a generar unas aguas residuales diferentes debido al arrastre que se produce en las mismas (INNOTEC Laboratorios, 2021).

e) Aguas de escorrentía urbanas:

“Se producen por las precipitaciones de lluvia o nieve sobre un núcleo urbano. Estas aguas suelen acabar en el alcantarillado llevándose consigo materiales del suelo” (INNOTEC Laboratorios, 2021).

2.2.3 Tratamientos de las aguas residuales

A lo largo del desarrollo humano se han inventado una serie de tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales, gracias a los avances de la ingeniería, estos tratamientos son cada vez más eficientes, sin embargo, son muchas las variables que influyen en el éxito o fracaso del tratamiento, una de ellas es el tipo de sistema utilizado.

La complejidad del sistema de tratamiento está en función de los objetivos que se establezca para el efluente resultante de dicho tratamiento. Teniendo en cuenta el gran número de operaciones y procesos disponibles para la depuración de las aguas residuales (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2009).

2.2.4 Etapas del tratamiento de aguas residuales

2.2.4.1 Pretratamiento

El primer procedimiento del tratamiento de las aguas residuales es el pretratamiento cuyo objetivo es. “La retención de sólidos gruesos y sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas, con el fin de facilitar el tratamiento posterior” (MINAM, 2009, p.20). Para cumplir dicho objetivo pueden utilizarse operaciones unitarias. “En las que los cambios en las características y propiedades del agua se realizan mediante la aplicación de las fuerzas físicas”(Metcalf y Eddy, 1995, p.221). Existen un gran número de operaciones unitarias físicas empleadas en los sistemas de tratamiento, a continuación se describen algunos.

a) Desbaste

El desbaste es generalmente el primer componente del sistema de tratamiento de aguas residuales y consta de una rejilla con aberturas que regularmente tienen forma rectangular y su finalidad es capturar sólidos de gran tamaño presentes en el agua residual, estas rejas pueden ser de barras metálicas, alambres, rejillas, telas metálicas, placas con agujeros (Metcalf y Eddy, 1995).

b) Homogeneización de caudales

Esta operación unitaria tiene el propósito de alivianar las cargas discontinuas de los caudales, es decir crear un flujo constante o semiconstante de esta manera evitar los problemas de explotación que ocurren en los sistemas de tratamiento (Metcalf y Eddy, 1995).

c) Sedimentación

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales. Los términos sedimentación y decantación se utilizan indistintamente. (Metcalf y Eddy, 1995, p.271).

2.2.4.2 Tratamiento primario

Se considera como unidad de tratamiento primario a todo sistema que permite remover material en suspensión, excepto material coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua. Así, la remoción del tratamiento primario permite quitar entre el 60 a 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% de la DBO₅ orgánica sedimentable presente en el agua residual. En esta etapa de tratamiento suelen usarse sistemas como: tanque séptico, tanque Imhoff, tanques de flotación, lagunas primarias y Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), entre otros. (MINAM, 2009, p.20)

2.2.4.3 Tratamiento secundario

El fundamento del tratamiento secundario es la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de entre el 50% y el 95% de la DBO. Los sistemas más empleados son: biofiltros, filtros percoladores, biodiscos, lodos activados, lagunas facultativas, coagulación y floculación, entre otros. (MINAM, 2009, p.20)

2.2.4.4 Tratamiento terciario

Tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente indicados para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc. las sustancias o compuestos comúnmente removidos son: fosfatos y nitratos, huevos y quistes de parásitos, sustancias tenso activas, algas, bacterias y virus, radionúclidos, sólidos totales y disueltos. (Rojas, 2002, p.14)

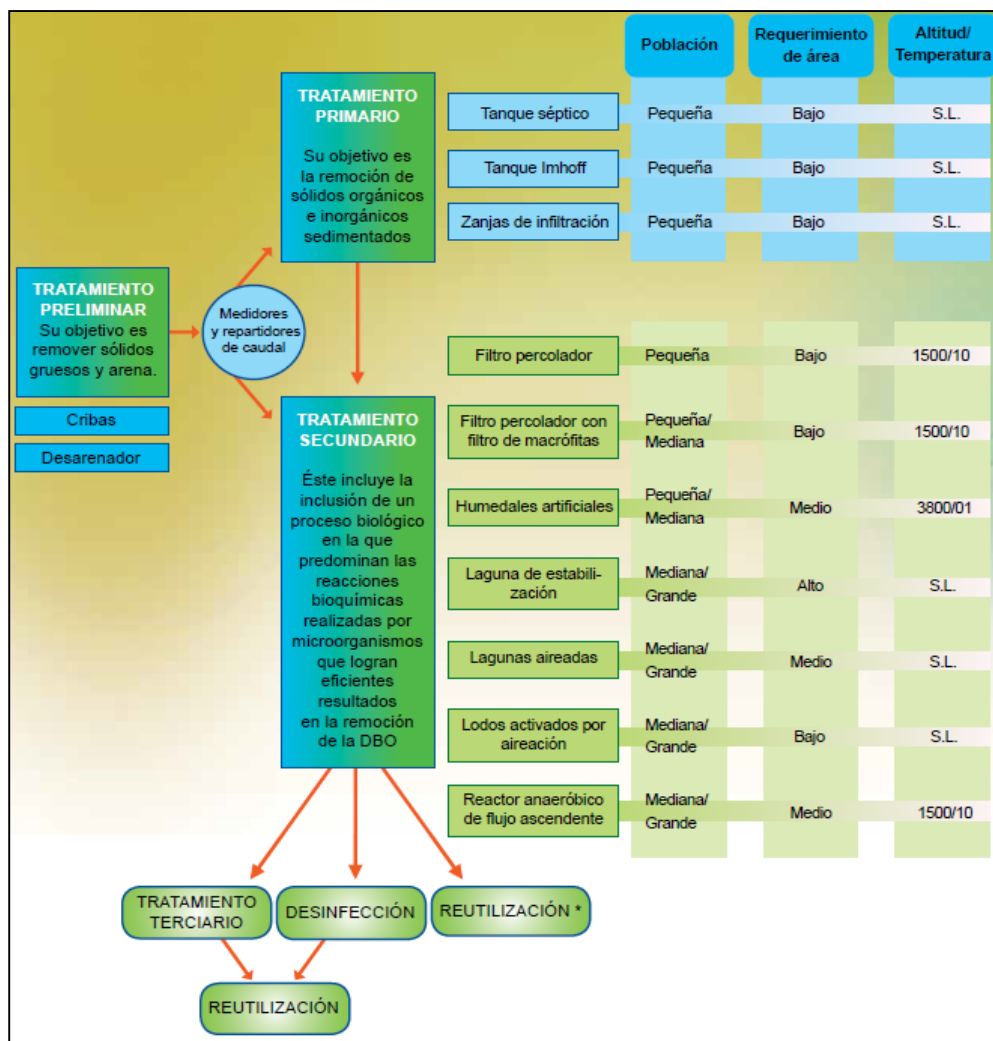


Figura 2. Tecnologías utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales.

Nota. Tomado de Manual para Municipios Ecoeficientes (2009).

2.2.5 Fitorremediación de las aguas residuales

Según Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 1996) la fitorremediación es una técnica que se fundamenta en el uso de especies vegetales para quitar contaminantes del suelo y agua, el hecho de sembrar y cosechar en ciertos casos, plantas en lugares contaminados es una técnica pasiva que permite aprovechar la energía solar; en ciertos casos esta técnica puede combinarse con técnicas convencionales o incluso las puede reemplazar.

Delgadillo, Prieto, Villagómez, Acevedo y González (2011) describe a la fitorremediación como un conjunto de tecnologías que reducen la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas, que permite remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes.

El éxito del tratamiento de las aguas residuales mediante fitorremediación está en función a varios factores, uno de ellos es el diseño y/o configuración de las operaciones unitarias. Este sistema se caracteriza por el cultivo de plantas macrófitas enraizadas en un sustrato de grava, donde se desarrollan un conjunto procesos físicos, químicos y biológicos que posibilitan la depuración de aguas residuales (Delgadillo, Camacho, Pérez, y Andrade, 2010). Este sistema se denomina comúnmente como humedales artificiales por las características similares a un humedal natural.

Cooper et al. (Como se citó en Delgadillo et al., 2010) menciona. “Estos sistemas purifican el agua mediante remoción del material orgánico (DBO), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo fósforo. Los mecanismos son complejos e involucran oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación química” (p.7). Por ello este sistema es utilizado ampliamente para tratar aguas con altas concentraciones de materia orgánica.

2.2.5.1 Clasificación de humedales artificiales

Los humedales artificiales se pueden clasificar de acuerdo a especie macrófita que utiliza, estas pueden ser especies enraizadas en el sustrato o especies flotantes. Además, se les puede subclasificar de acuerdo al modo de vida de las macrófitas. Teniendo así: humedales emergentes, sumergido y flotantes. Adicionalmente también pueden ser clasificados por el tipo de flujo de entrada del agua residual (Delgadillo et al., 2010).

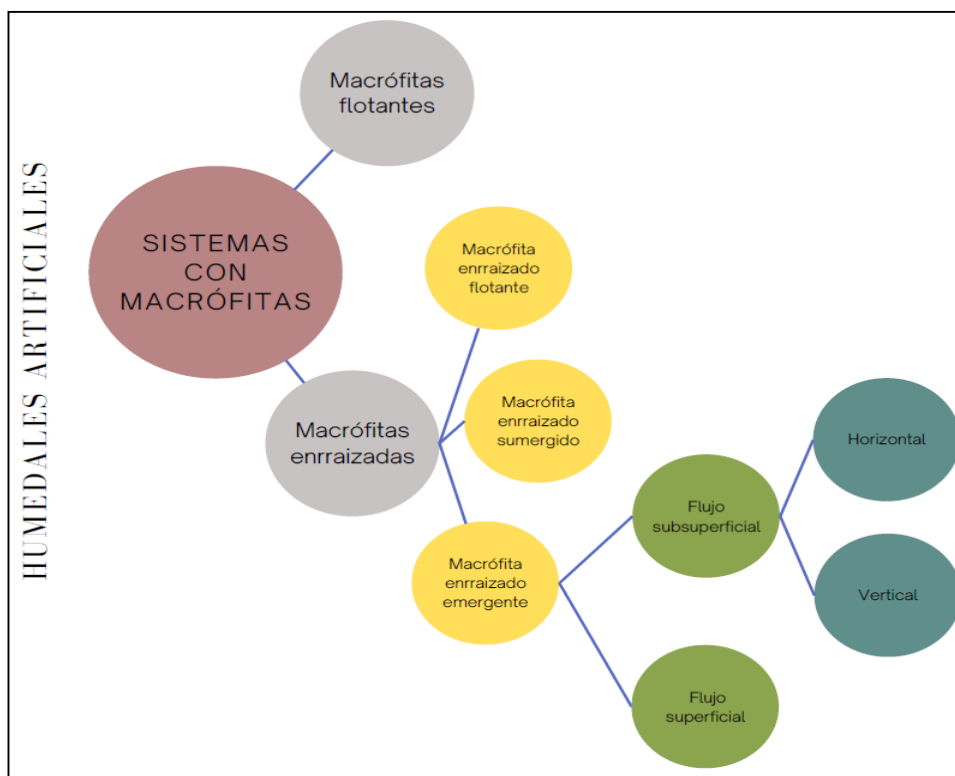


Figura 3. Clasificación de los humedales artificiales con macrófitas.

Nota. Adaptado de Depuración de aguas residuales por humedales artificiales (2010).

a) Humedales de flujo superficial

Este sistema se caracteriza por que las aguas residuales discurren por los tallos, los mismos que están en contacto con la atmosfera y sus medidas de profundidad no deben ser mayor a 60cm (Delgadillo et al., 2010).

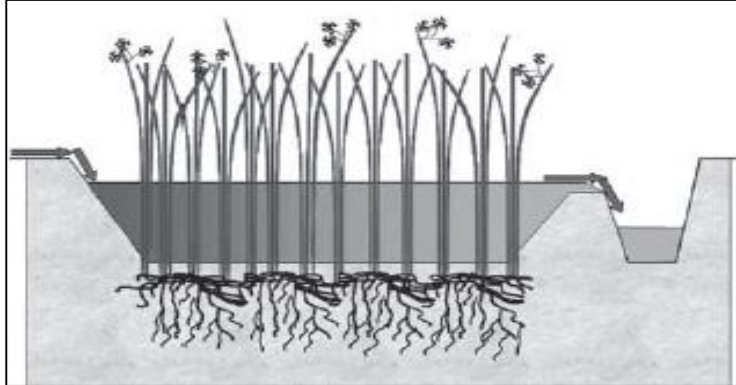


Figura 4. Estructura del humedal artificial superficial.

Nota. Tomado de Depuración de aguas residuales por humedales artificiales (2010).

b) Humedales de flujo subsuperficial

Este sistema consiste en que las aguas residuales discurren por la zona radicular, es decir a nivel del sustrato, y de acuerdo al tipo de entrada del agua residual, estas se dividen en dos, los humedales subsuperficiales de tipo horizontal y vertical (Delgadillo et al., 2010).

Horizontal:

En este sistema el agua ingresa en un extremo superior y avanza horizontalmente con un flujo lento pero constante a través del sustrato poroso (zona radicular) hasta que es depurado por el extremo opuesto, cabe mencionar que antes del contacto con la zona radicular tiene un sistema de amortiguamiento y su profundidad comprende entre los 0.45 a 1 m con pendientes de 0.5% a 1% (Delgadillo et al., 2010).

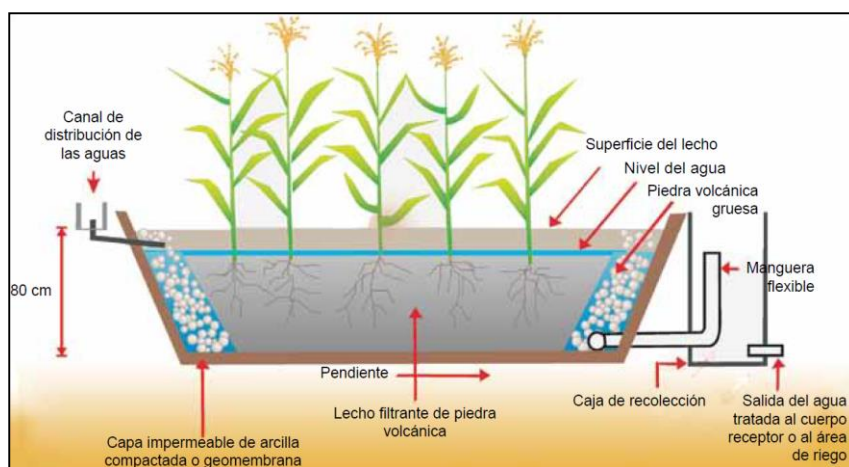


Figura 5. Estructura del humedal artificial de tipo horizontal.

Nota. Tomado de Manual para municipios ecoeficientes (2009).

Vertical:

En este sistema el agua ingresa verticalmente de arriba hacia abajo de manera intermitente con el fin de mantener un suministro de oxígeno, finalmente el agua es depurada por un extremo que se compilan con una red de drenaje en el inferior y también posee un sistema de ventilación que son chimeneas de tubos (Delgadillo et al., 2010).

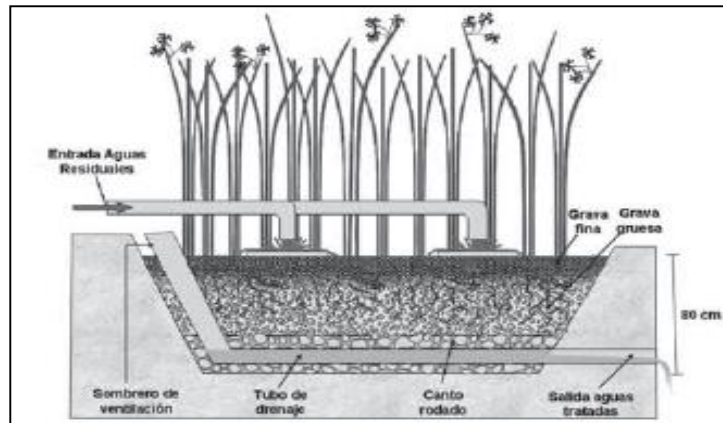


Figura 6. Estructura del humedal artificial de tipo vertical.

Nota. Tomado de Depuración de aguas residuales por humedales artificiales (2010).

2.2.5.2 Mecanismos para reducir la materia orgánica de las aguas residuales.

En los humedales artificiales se llevan a cabo un conjunto de reacciones que permiten la remoción de los contaminantes presentes en las aguas residuales.

a) Reducción de la materia orgánica

Kolb (como se citó en Delgadillo et al., 2010) refiere que la reducción de la materia orgánica de las aguas residuales se realiza en gran medida a través del mecanismo de biodegradación aeróbica y anaeróbica, mientras que otra fracción menor es reducida mediante procesos físicos de sedimentación y filtración. En el momento que la materia orgánica es fijada a los sólidos suspendidos los microorganismos que están en las raíces de las plantas realizan la biodegradación.

Para llevar a cabo el tratamiento se requiere de energía, carbono y otros elementos que son indispensables para el proceso biológico que realizan los microorganismos. Estos pueden ser heterótrofos, aquellos utilizan material orgánico como fuente de energía para sintetizar nuevas células. Por otro lado, están los autótrofos que utilizan CO_2 para suministro de carbono Kolb (como se citó en Delgadillo et al., 2010).

En el proceso de degradación aeróbica intervienen dos grupos: los llamados quimioheterótrofos, que oxidan los compuestos orgánicos y liberan amonio. y aeróbicos quimioautótrofos, los cuales oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrito y nitrato (Delgadillo et al., 2010).

Formula que resume la degradación anaerobia según Delgadillo et al. 2010.

Orgánicos → alcohol, ácidos + nuevas células → CH₄, H₂S, NH₃, H₂, nuevas células

Formula que resume la degradación aerobia según Delgadillo et al. 2010.

Orgánicos + O₂ → Microorganismos aeróbicos + CO₂+ H₂O + energía.

2.2.6 Plantas fitorremediadoras

Las plantas fitorremediadoras son utilizados en los humedales artificiales debido a que se trata de organismos autótrofos que captan la energía luminosa para transformar el carbono inorgánico atmosférico en carbono orgánico (Arias, 2004).

2.2.6.1 *Nasturtium Officinale*

Saavedra (como se citó en Pari y Sullcaray, 2021) menciona que el Berro tiene mejor aclimatación en zonas templadas, pero tolera una extensa gama de temperaturas que pueden ir desde los 5 °C a los 23 °C; además de poseer una necesidad hídrica rigurosa en cantidad y calidad, debido a que la planta obtiene el nitrógeno que necesita del agua; tolera niveles de pH del agua entre 5.5 a 8, la temperatura optima oscila entre 10 a 11°C. Respecto a su floración Herrera et al. (como se citó en Huamán y Rumaja, 2017) indica que su época es en los meses de setiembre a noviembre y produce sus frutos en los meses de octubre a diciembre, su hábitat son los cursos de agua de baja profundidad y de caudales bajos donde puede alcanzar el sustrato arenoso.

Tabla 1

Clasificación taxonómica del Nasturtium Officinale

<i>Nasturtium Officinale</i> (Berro)	
Reino	Plantae
Clase	Equisetopsida C. Agardh
Subclase	Magnoliidae Novák ex Takht
Superorden	Rosanae Takh
Orden	Brassicales Bromhead
Familia	Brassicaceae Burnett
Género	<i>Nasturtium</i> W. T. Aiton
Especie	<i>Nasturtium officinale</i> W. T. Aiton

Nota. Adaptado de Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies vegetales *Nasturtium officinale* W.T Aiton (Berro) e *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. (Mateccllo) en relación con la contaminación con mercurio a diferentes concentraciones, 2017.

2.2.6.2 *Eichornia crassipes*

Novelo y Ramos (como se citó en Iglesias y Martínez, 2020) También llamada comúnmente como jacinto de agua, huachinango, lagunera, lirio acuático, entre otros, es una especie acuática flotante, el tamaño de sus tallos y hojas está en función al hábitat en que se desarrolla; apreciada en gran medida por su uso ornamental, algunas veces como forraje y últimamente para la depuración de las aguas residuales. Su necesidad luminosa es alta, se acondiciona a temperatura entre 25 y 30 °C y a niveles óptimos de pH de 6.5 a 7.5, su exigencia hídrica es de aguas cargadas con nutrientes en especial nitrógeno y potasio.

Tabla 2

Clasificación taxonómica de la Eichornia crassipes

<i>Eichornia crassipes</i> (Jacinto de agua)	
Reino	Plantae
Clase	Liliopsida
Orden	Pontederiales
Familia	Pontederiaceae
Género	Eichhornia
Especie	<i>Eichhornia crassipes</i>

Nota. Adaptado de Thypha Latifolia y Eichhornia Crassipes en el tratamiento de aguas residuales de efluentes industriales, 2020.

2.2.6.3 *Thypha Latifolia*

Iglesias y Martínez (2020) refiere es una especie acuática que habita en climas templados o templados-fríos en rango de temperatura de 10-30°C, es una especie ampliamente utilizada para manualidades, por lo que es un recurso ampliamente aprovechado por la población.

Su propiedad fundamental reside en que, mediante su sistema de geomembranas, (como cañerías huecas por dentro) inyectan naturalmente la cantidad de oxígeno que el agua y los fangos circundantes necesitan para no degradarse, y también segregan ácidos que matan a las bacterias patógenas del agua. De este modo, consiguen eliminar los residuos orgánicos mientras que los materiales pesados, nitratos, fosfatos y otros contaminantes inorgánicos, son absorbidos directamente por la planta. (Lloclla y Maxe, 2016, p.13)

Tabla 3

Clasificación taxonómica de la Thypha latifolia

<i>Thypha latifolia</i> (Totora)	
Reino	Plantae
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Thypaceae
Género	Thypha
Especie	Thypha. latifolia

Nota. Adaptado de *Thypha Latifolia* y *Eichhornia Crassipes* en el tratamiento de aguas residuales de efluentes industriales, 2020.

2.2.7 Base legal

- ✓ Ley N° 28611 – Ley General del Ambiente.
- ✓ Ley N° 29338.- Ley de Recursos Hídricos
- ✓ Reglamento de la Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG
- ✓ Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

2.3 Definición de términos básicos

Aguas residuales

“Aguas cuyas características han sido modificadas por actividades antropogénicas, requieren de tratamiento previo y pueden ser vertidas a un cuerpo natural de agua o ser reutilizadas” (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012, p.45).

Materia orgánica biodegradable

Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas animales. La materia orgánica biodegradable se mide en la mayoría de las ocasiones en función de la DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno) y la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2018, p.9).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO se usa como una medida del oxígeno equivalente del contenido de materia orgánica. Es una variable importante que puede medirse rápidamente para determinar la contaminación de los cuerpos naturales de agua superficiales por las aguas servidas, desechos industriales de tipo orgánico y efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales con alto contenido de materia orgánica (ANA, 2018, p.11).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ es un parámetro relacionado como aporte de la materia orgánica, mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para oxidar, degradar o estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas, su determinación es en base a la oxidación natural de degradación (ANA, 2018, p.11).

Fitorremediación

“La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas” Delgadillo et al. (2011).

Contaminación ambiental

“Acción y estado que resulta de la introducción por el hombre de contaminantes al ambiente por encima de las cantidades y/o concentraciones máximas permitidas tomando en consideración el carácter acumulativo o sinérgico de los contaminantes en el ambiente” (MINAM, 2012, p.61).

Valores Máximos Admisibles (VMA)

Es la concentración parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido en sus parámetros aprobados causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, tratamiento de aguas residuales y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de aguas residuales. (Ministerio de vivienda construcción y saneamiento [VIVIENDA], 2019, p.19)

Tabla 4

Valores Maximos Admisibles

Parámetro	Unidad	VMA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	1000

Nota. Adaptado de Decreto Supremo N° 010-2019- VIVIENDA que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (2019).

Camal

“Es un establecimiento destinado al beneficio de ganado (vacuno, ovino, etc.) y aves (pollo) para consumo humano y donde se realiza la clasificación, por el médico veterinario, de la carne” (Nuñez y Bustamante, 2012, p. 20).

Impacto Ambiental

“Alteración, positiva o negativa, de uno o más de los componentes del ambiente, provocada por la acción de un proyecto. El “impacto” es la diferencia entre qué habría pasado con la acción y que habría pasado sin ésta” (MINAM, 2012, p.80).

Berro (Nasturtium officinale)

“Es una planta herbácea perenne con tallo rastrero de hasta 80 cm, de altura y hojas de color verde claro acorazonadas, con flores de color blanco en forma de racimo y crece en lugares húmedos”. (Agencia del Gobierno de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID], 2010, p. 10)

Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)

También conocido como lirio de agua, camalote o lechugin es una planta acuática perenne, vascular de flotación libre con raíces sumergibles, fibrosas y comúnmente coloreadas, de climas cálidos y fríos, con flores lilas y azuladas. Es la octava planta con crecimiento más rápido en el mundo por lo que permite extenderse y sobrevivir en muchos sitios. (Jaramillo y Flores, 2012, p. 40)

Thypha latifolia (Totora)

“Es una planta de raíz acuática que crece en lagos y humedales, con una longitud promedio de 3.5m y diámetro de 2.5cm, su crecimiento es muy rápido y por lo tanto su capacidad de renovación” (Hidalgo, 2007, p.16).

2.4 Hipótesis de investigación

2.4.1 Hipótesis general

- ✓ H_{Nula} : Los tratamientos con *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* presentarán bajos o medios porcentajes de reducción de materia orgánica (DBO₅ y DQO) de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto.
- ✓ $H_{Alternativa}$: Los tratamientos con *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* presentarán altos porcentajes de reducción de materia orgánica (DBO₅ y DQO) de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto.

2.4.2 Hipótesis específicas

- ✓ Existirán diferencias significativas entre los porcentajes de reducción de la materia orgánica (DBO₅ y DQO) de los tratamientos con *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto.
- ✓ El tratamiento con la especie vegetal *Eichhornia crassipes* será la más eficiente para la reducción de la materia orgánica (DBO₅ y DQO) de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto.
- ✓ Las concentraciones finales de la materia orgánica (DBO₅ y DQO) obtenidas en los tratamientos con *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto, cumplirán con los Valores Máximos Admisibles.

2.5 Operacionalización de las variables

Tabla 5

Cuadro de operacionalización de variables

Variables	Definición operacional	Dimensiones	Técnicas de análisis de datos	Indicadores	Unidad
<p>X: Variable independiente</p> <p>Las plantas fitorremediadoras son tratamientos que se usan en las aguas residuales para reducir contaminantes, en este caso para reducir la concentración de materia orgánica (DBO₅ y DQO) en las aguas residuales del camal municipal de Supe.</p> <p><i>Nasturtium officinale</i>, <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Thypha latifolia</i></p>	<p>Las plantas fitorremediadoras son tratamientos que se usan en las aguas residuales para reducir contaminantes, en este caso para reducir la concentración de materia orgánica (DBO₅ y DQO) en las aguas residuales del camal municipal de Supe.</p>	<p><i>Nasturtium officinale</i></p> <hr/> <p><i>Eichhornia crassipes</i></p> <hr/> <p><i>Thypha latifolia</i></p>	<p>Técnicas: Análisis estadístico de los porcentajes de reducción de la materia orgánica</p> <p>Instrumentos: - Niveles de valoración del porcentaje de reducción de la materia orgánica (alto, medio, bajo). - ANOVA, prueba de Tukey</p>	$\%RMO = \frac{(MO_i - MO_f)}{MO_i} * 100$	%
<p>Y: Variable dependiente</p> <p>Concentración de materia orgánica Y1: DQO y Y2: DBO₅</p>	<p>Es la cuantificación de la materia orgánica expresada en concentración de DQO y DBO₅ de las aguas residuales del camal municipal de Supe antes y después del experimento con los tratamientos.</p>	<p>Parámetros orgánicos (DBO₅ y DQO)</p>	<p>Técnicas: - Muestreo y análisis en laboratorio acreditado.</p> <p>Instrumentos: - Cadena de custodia - Informes de ensayo del laboratorio acreditado. - Cuadro comparativo de los resultados finales con los VMA.</p>	[DBO ₅] y [DQO]	mg/L

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Gestión del experimento

3.1.1 Ubicación

El estudio se realizó en el Distrito de Supe, Provincia de Barranca, Región Lima, siendo el lugar específico una vivienda cuyas coordenadas UTM son: 203169 E y 8804419 N, donde se acondicionó a escala piloto las unidades experimentales (envases con aguas residuales, grava y la planta fitorremediadora correspondiente). Cabe añadir, que las muestras de aguas residuales sometidas a tratamiento provienen del camal Municipal de Supe que se ubica en la Av. Rafael Changa, cuadra 1 del Distrito de Supe (ver Anexo 1).

3.1.2 Características del área experimental

El área donde se instalaron las unidades experimentales fue la superficie de la azotea de una vivienda, que fue acondicionada para cumplir con las características similares de un área de tratamiento real, el cual cumple con factores como: cielo abierto para que las plantas puedan tener contacto directo con la radiación solar logrando propiciar condiciones favorables para realizar actividades fotosintéticas, por otro lado brinda seguridad ante posible intervención de factores ajenos a la investigación. Asimismo, la ubicación y dimensiones (46.5 cm x 33.7 cm x 25.8 cm) de las unidades experimentales a escala piloto fueron diseñadas de manera similar a lo que sería un sistema real.

3.1.3 Tratamientos

En la presente investigación los tratamientos empleados son las especies fitorremediadoras para la reducción de la concentración de materia orgánica (DBO₅ y DQO) de las aguas residuales del camal municipal de Supe, en tal sentido la configuración de los tratamientos es el siguiente: *Nasturtium officinale* (T1), *Eichhornia crassipes* (T2) y *Thypha latifolia* (T3), cabe añadir que cada uno de los tratamientos posee 5 réplicas, por lo que en total se tuvieron 15 unidades experimentales (ver Figura 26).

Por fines prácticos se codificó cada tratamiento con las siglas iniciales del nombre de la planta fitorremediadora utilizada como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Tratamientos

Tratamiento	Código	Planta fitorremediadora	Réplicas	Periodo de retención hidráulica
T1	TNO	<i>Nasturtium officinale</i>	5	
T2	TEC	<i>Eichhornia crassipes</i>	5	14 días
T3	TTL	<i>Thypa latifolia</i>	5	

3.1.4 Diseño experimental

El diseño estadístico del experimento utilizado corresponde a un Diseño Completamente al Azar (DCA), en ese sentido se tienen tres tratamientos y cinco réplicas por cada tratamiento, por lo que se tienen un total de 15 unidades experimentales. El modelo matemático del DCA es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Es la medición de la materia orgánica en el j-ésimo recipiente con la i-ésima planta fitorremediadora

μ = Es el promedio general de la materia orgánica

T_i = Denota el efecto de la i-ésimo planta fitorremediadora.

E_{ij} = Es el error experimental en el j-esima recipiente con la i-esimo planta fitorremediadora

Tabla 7

Distribución al azar de los tratamientos

Columna 1	Columna 2	Columna 3
TTL-01	TNO-02	TEC-05
TNO-05	TTL-05	TEC-01
TEC-04	TTL-04	TTL-03
TEC-02	TNO-03	TNO-01
TTL-02	TEC-03	TNO-04

3.1.5 Variables a evaluar

Las variables independientes evaluadas en esta investigación son los tratamientos: *Nasturtium officinale* (TNO), TEC (*Eichhornia crassipes*) y TTL (*Thypa latifolia*), en función del porcentaje de reducción de la materia orgánica (DBO₅ y DQO).

La variable dependiente es la concentración de materia orgánica (DBO₅ y DQO) que tiene el agua residual del camal municipal de Supe antes y después de los tratamientos con cada una de las plantas fitorremediadoras.

Por tal motivo se cuantifica porcentualmente la reducción de la concentración de materia orgánica del agua residual del camal municipal de Supe luego de terminado el periodo de fitorremediación, de esta manera se determina la eficiencia de cada una de las plantas, demostrando cuál de ellas es más eficiente y hasta qué punto lo es, para ello se utilizó análisis de laboratorio y estadística inferencial.

3.1.6 Conducción del experimento

La investigación se desarrolló en 6 etapas:

3.1.6.1 Adquisición de materiales y plantas fitorremediadoras

Los materiales utilizados en la investigación fueron comprados en centros comerciales de la ciudad de Barranca y Lima en algunos casos, siendo estos: termómetro, papel indicador de pH panpeha, agua destilada, recipientes rectangulares de plástico, guantes de nitrilo, jarra con medida, balde con medida, tamiz, frascos de muestreo, cooler, cadena de custodia, tablero, lapicero, plumón indeleble, cintas, etiquetas y grava.

Las plantas fitorremediadoras fueron adquiridas directa e indirectamente de distintos cuerpos hídricos, a continuación, se da mayor detalle:

La especie *Eichhornia crassipes* conocida comúnmente como Jacinto de agua, fue comprada en un puesto del mercado las Flores de Acho con coordenadas UTM WGS84 280440E y 8668216 N, el cual se encuentra ubicado en la Av. 9 de octubre 15093, distrito del Rímac, Provincia de Lima, región Lima. Cabe mencionar que el vendedor indicó que las plantas procedían de un lago ubicado en Huachipa. Luego de ser adquiridas se lavaron las raíces de las plantas para quitar tierra, piedras y otras impurezas que contienen, finalmente para su periodo de adaptación fueron instalados en agua limpia durante 10 días previo al inicio del tratamiento con el objetivo de que las plantas asimilen las nuevas condiciones de vida y de esta manera evitar que el cambio drástico de hábitat los marchite y fenezcan.

La especie *Nasturtium officinale* conocida comúnmente como Berro, se obtuvo de un canal de irrigación sin recubrimiento adyacente al ovalo que une la antigua con la nueva panamericano norte, ubicada en el Distrito de Supe cuyas coordenadas UTM WGS84 son: 204562E y 8802201N, del mismo modo se lavaron la raíces y se sometieron a periodo de adaptación de 10 días.

La especie *Thypha latifolia* conocida comúnmente como Totora fue obtenida de un curso de agua proveniente de infiltraciones llamado “Bandurria” el cual se encuentra ubicado en la

playa “El colorado” del distrito de Barranca cuyas coordenadas UTM WGS84 son: 198749E y 8807570 N, asimismo se lavaron las raíces y se sometieron al periodo de adaptación de 10 días.

3.1.6.2 Acondicionamiento del área experimental

Para el establecimiento de las unidades experimentales se acondicionó un espacio en la azotea de una vivienda, donde se realizaron actividades de limpieza, preparación y ubicación de los recipientes, para lo cual se lavaron con agua destilada cada uno de los envases con el fin obtener una mayor trazabilidad y evitar interferencias en el tratamiento de las aguas residuales; posteriormente se etiquetó cada envase para identificar y ordenar cada replica de tratamiento.

3.1.6.3 Recolección de las aguas residuales

Para la presente investigación se recolectaron 230 litros de las aguas residuales del camal municipal de Supe directamente del punto de descarga, para lo cual se utilizaron envases de plástico rectangulares y baldes, las muestras fueron tomadas durante todo el periodo de beneficio desde las 8:00 hasta las 13:00 horas para de esta manera tener una muestra representativa, cabe mencionar que todos los recipientes utilizados para la toma de muestra inicial, fueron lavados previamente con agua destilada con el fin evitar la contaminación cruzada, asimismo la toma de muestras de agua residual se realizó con los equipos de protección personal correspondiente.

3.1.6.4 Instalación de los sistemas de tratamiento

En esta etapa, todas las aguas residuales recolectadas del camal municipal de Supe fueron homogenizadas en un recipiente de mayor tamaño y capacidad, de allí se extrajeron 1.1 litros aproximadamente como muestras para el análisis inicial en laboratorio de la materia orgánica ((DQO y DBO₅), cuyas muestras se codificaron como CMS-01.

Las aguas residuales homogenizadas fueron filtradas con un colador fino, con lo que se emuló el proceso unitario de pretratamiento denominado desbaste de esta forma se logró disgregar grasas, vísceras y otros sólidos de gran tamaño contenidos en el agua residual del camal. Luego las aguas residuales filtradas fueron dejadas en reposo por aproximadamente un día (16 horas), para que las partículas más pequeñas se sedimenten, emulando en este caso al proceso unitario de pretratamiento denominado sedimentación.

Pasado el tiempo de sedimentación, se empezó a instalar las unidades experimentales, en el caso de las réplicas del tratamiento con *Thypha latifolia* primero se agregó una capa de grava previamente lavada en la base de los recipientes que sirven como soporte radicular debido a que las plantas tienen un tamaño considerable y es imprescindible esta capa de grava, luego

se colocaron las plantas y finalmente se distribuyeron 15 litros en cada una de las unidades experimentales del tratamiento con *Thypha latifolia*. Mientras que para las especies *Nasturtium officinale* y *Eichhornia crassipes* no se agregó la capa de grava debido a que ambas especies se acomodan como plantas flotantes, por lo que primero se distribuyeron los 15 litros de aguas residuales para cada una y por último se colocaron las plantas con delicadeza.

3.1.6.5 Observaciones durante todo el experimento

El experimento tuvo una duración de 14 días durante el cual se tomaron datos de pH y temperatura en tres tiempos: el día 1, a los 7 días y a los 14 días. Asimismo, se revisaron diariamente las plantas para conocer su estado (vigoroso, marchito o muerto).

3.1.6.6 Monitoreo y análisis de muestras.

Para el análisis de laboratorio se tomaron muestras en dos tiempos, la primera antes del tratamiento con las plantas fitorremediadoras y la segunda después de transcurrido los 14 días de tratamiento. Todas las muestras fueron tomadas por los tesisistas y el análisis de laboratorio fue realizado por el laboratorio CERTIFICAD S.A.C, acreditado por INACAL, por lo que los resultados cumplen con un nivel de calidad óptimo y fidedigno.

a) Toma de muestra inicial

Para el análisis inicial se tomó dos muestras compuestas del total de las aguas residuales recolectadas, es decir de los 230 litros, para ello se extrajo 1 litro de agua residual en un envase de color blanco para el parámetro DBO₅ y 100 ml para el parámetro DQO. Es importante mencionar que el volumen de muestra recolectado en los muestreos está definido por el laboratorio.

b) Toma de muestra final

Para el análisis final se tomó un total de 30 muestras simples, es decir dos (2) muestras por cada unidad experimental, cabe precisar que 15 muestras fueron para el parámetro DBO₅ cuyo frasco utilizado fue de un litro y 15 muestras para el parámetro DQO cuyo frasco es de 100ml.

c) Procedimiento de muestro para DBO₅

Paso 1: Etiquetado y rotulado de los frascos de muestro.

Paso 2: Toma de muestra sin dejar burbujas.

Paso 3: Sellado y conservado a temperatura < 4°C

Paso 4: Llenado de la cadena de custodia.

d) Procedimiento de muestro para DQO.

Paso 1: Etiquetado y rotulado de los frascos de muestro.

Paso 2: Toma de muestra dejando un espacio vacío.

Paso 3: Preservado con H₂SO₄, sellado y conservado a temperatura < 4°C

Paso 4: Llenado de la cadena de custodia.

e) Ensayo de laboratorio

Para el ensayo de laboratorio se utilizó el servicio de laboratorio CETIFICAL S.A.C el cual utilizó los métodos de ensayo exigidos por normativa peruana e internacional.

3.2 Técnicas para el procesamiento de la información

Los resultados y/o datos obtenidos en el experimento fueron analizados con el Análisis de la Varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 5% ($p < 0.05$) con el que es posible establecer la existencia de las diferencias significativas entre las medias de las variables de cada uno de los tratamientos, se realizó la prueba de Tukey para comparar las medias, adicionalmente se elaboraron gráficos y tablas mediante los softwares Minitab y Microsoft Excel. Asimismo, para poder evaluar los porcentajes de reducción de la materia orgánica se definieron niveles de valoración que se muestra a continuación.

Tabla 8

Niveles de valoración del porcentaje de reducción de la materia orgánica (DQO y DBO₅)

Bajo	Medio	Alto
0 % - 33 %	34 % - 67 %	68 % - 100 %

Nota. Los niveles de valoración fueron establecidos por criterio profesional de los tesisistas.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Resultados de parámetros de control pH y temperatura

En esta sección se presentan los resultados de los parámetros de control de los tratamientos los cuales son pH y temperatura, los mismos que se evaluaron durante los 14 días de periodo de retención hidráulica en intervalos específicos. Para ambos parámetros la evaluación se realizó en tres tiempos, los días 1, 7 y 14.

Tabla 9

Resultados de pH

Unidades Experimentales	Resultados de pH		
	Día 1	Día 7	Día 14
TNO - 01	6.5	7.5	7.0
TNO - 02	7.0	6.0	6.0
TNO - 03	6.5	7.0	6.5
TNO - 04	6.5	7.0	7.0
TNO - 05	7.0	7.5	6.5
TEC - 01	6.5	7.5	8.0
TEC - 02	7.5	6.5	8.0
TEC - 03	6.5	8.0	7.5
TEC - 04	7.0	7.0	7.5
TEC - 05	7.5	7.5	7.0
TTL - 01	7.0	8.0	6.5
TTL - 02	6.5	6.5	7.0
TTL - 03	6.5	6.0	7.5
TTL - 04	7.0	7.0	7.5
TTL - 05	7.0	6.5	7.0

Como se puede observar en la Tabla 9 los valores de pH durante los 14 días de tratamiento no variaron significativamente manteniéndose valores de 6.5 a 8 en algunos casos, por lo tanto, se puede asumir que los procesos de fitorremediación no alteran en gran medida los valores del pH de las aguas residuales.

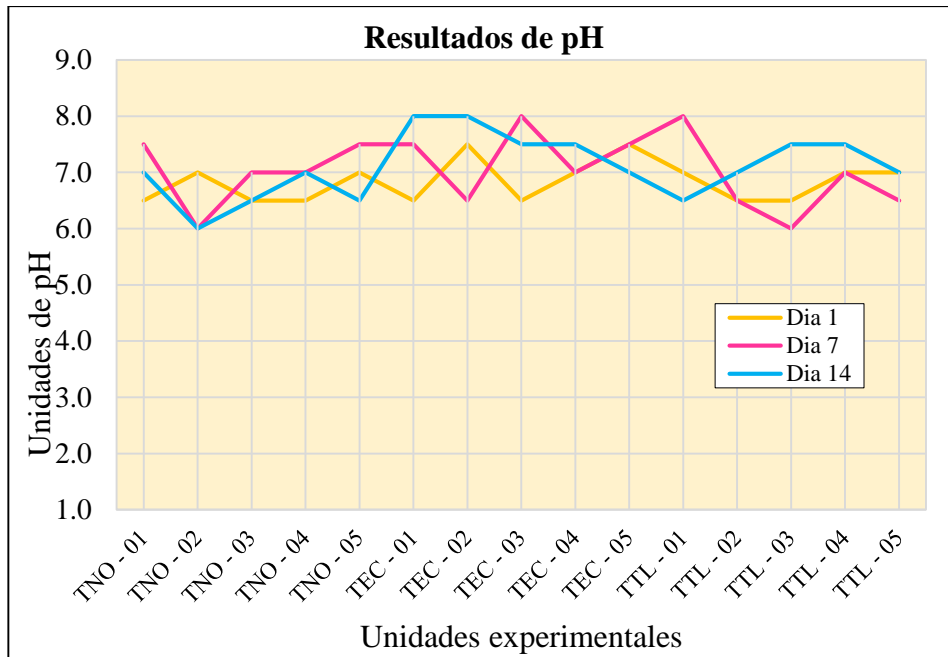


Figura 7. Grafico de pH

Tabla 10

Resultados de temperatura

Unidades Experimentales	Resultados de temperatura (°C)		
	Dia 1	Dia 7	Dia 14
TNO - 01	23.8	23.9	24.9
TNO - 02	24.5	25.2	25.3
TNO - 03	23.9	24.9	25.4
TNO - 04	23.4	24.5	23.7
TNO - 05	25.9	24.1	24.2
TEC - 01	23.5	24.6	25.5
TEC - 02	24.3	23.3	25.5
TEC - 03	23.9	24.8	23.6
TEC - 04	25.8	25.3	24.8
TEC - 05	25.6	24.8	25.2
TTL - 01	24.4	25.7	23.1
TTL - 02	23.4	25.6	25.4
TTL - 03	23.5	24.9	24.6
TTL - 04	25.8	24.4	25.2
TTL - 05	25.2	24.7	23.6

En la Tabla 10 se observa que los valores de temperatura se han mantenido cercanos a la temperatura ambiente, este comportamiento puede sustentar el correcto desenvolvimiento de las plantas fitorremediadoras, permitiendo que estas se desarrollen en condiciones habituales a su ecosistema natural.

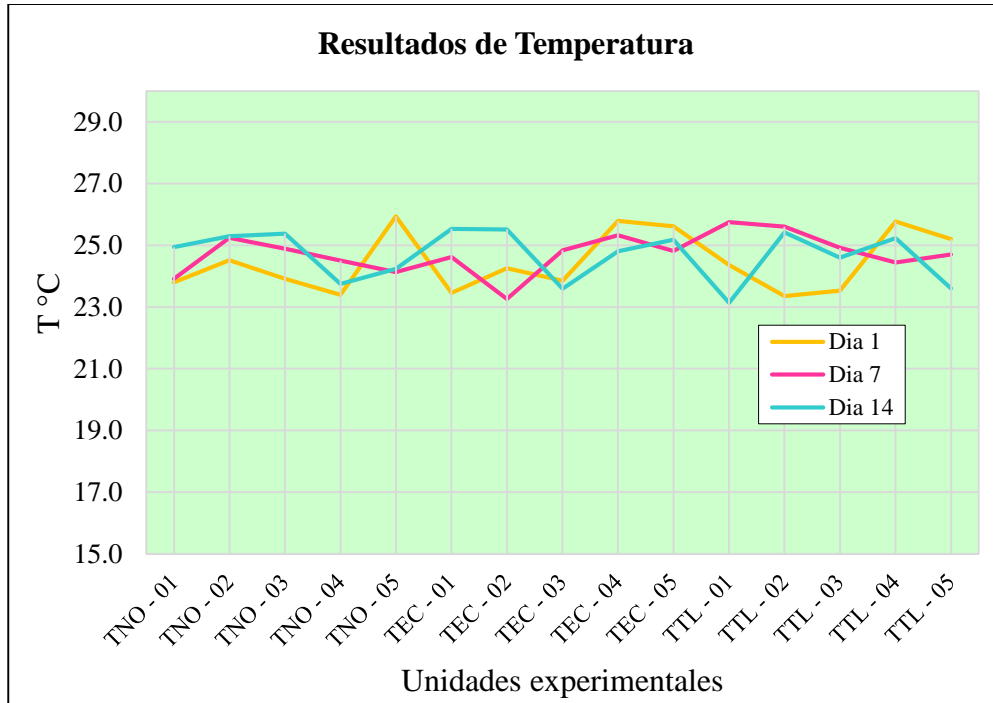


Figura 8. Grafico de temperatura.

4.2 Resultados de ensayos de laboratorio

4.2.1 Resultados iniciales

En este ítem se presentan los resultados del análisis de laboratorio de las aguas residuales antes de ser sometidos a tratamiento con cada una de las plantas fitorremediadoras, por lo tanto, se muestra un resultado para el parámetro DBO_5 y para el parámetro de DQO, es preciso indicar que el resultado proviene de una muestra compuesta cuya codificación es CMS-01 que son las iniciales de Camal Municipal de Supe.

Tabla 11

Resultados de laboratorio de la muestra inicial (CMS - 01)

Código	Parámetro	Resultados (mg/l)	LCM ¹ (mg/l)	Método de ensayo
CMS - 01	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	1466	2	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017.
	Demanda química de oxígeno (DQO)	3069.1	10	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017.

Nota. Los resultados fueron obtenidos del Informe de ensayo FQ N° 221118-011.

Como se puede observar en la Tabla 11 las concentraciones de los parámetros DBO₅ y DQO son relativamente altos; sin embargo, para que un proceso de tratamiento de aguas residuales tenga razón de ser, los resultados iniciales deben ser comparables con valores establecidos en una norma, el mismo que determinará si efectivamente las concentraciones pueden causar impactos al medio ambiente, infraestructura o procesos, es por eso que en la Tabla 12 se realiza la comparación con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario, aprobado por el Decreto Supremos 010-2019-VIVIENDA.

Tabla 12

Comparación de los resultados de DBO₅ y DQO iniciales con los VMA.

Código	Parámetro	Resultados	VMA	Unidad
CMS - 01	DBO ₅	1466	500	mg/l
	DQO	3069.1	100	mg/l

Nota. Los resultados proceden del Informe de ensayo FQ N° 221118-011, y los VMA proceden del D.S 010-2019 Vivienda.

En la Tabla 12 se puede apreciar claramente que las concentraciones de la muestra inicial (CMS- 01) sobrepasan significativamente los Valores Máximos Admisibles establecidos por la norma antes citada, para apreciar mejor esta diferencia a continuación se ilustra mediante gráficos los valores del resultado inicial de las concentraciones de los parámetros de materia

¹ LCM: límite de cuantificación del método

orgánica (DBO₅ y DQO) de la investigación con respecto al valor de la norma que tienen dichos parámetros (ver Figura 9 y Figura 10).

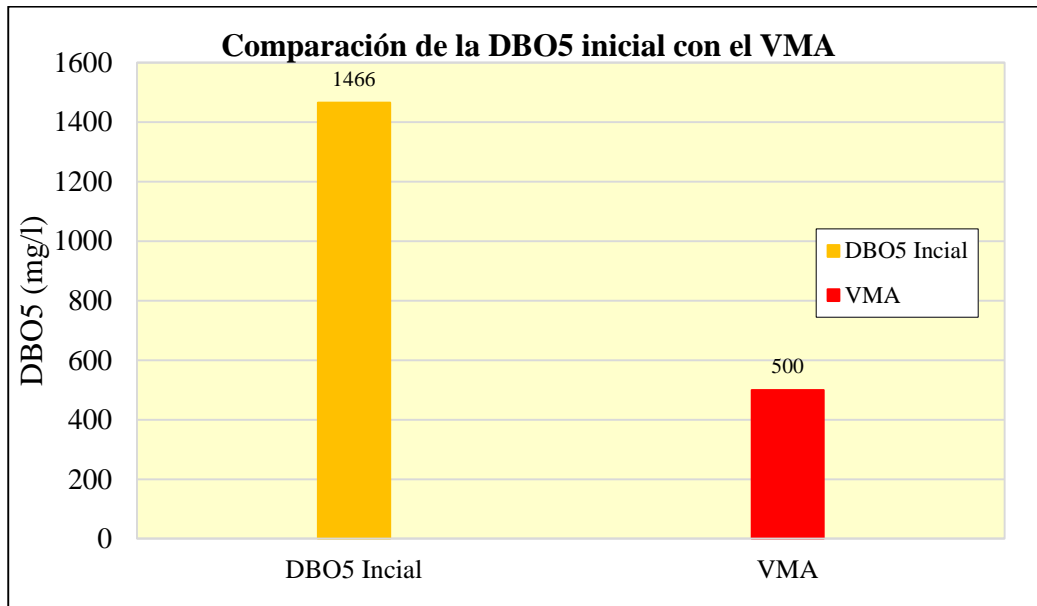


Figura 9. Comparación de la DBO₅ inicial con el VMA.

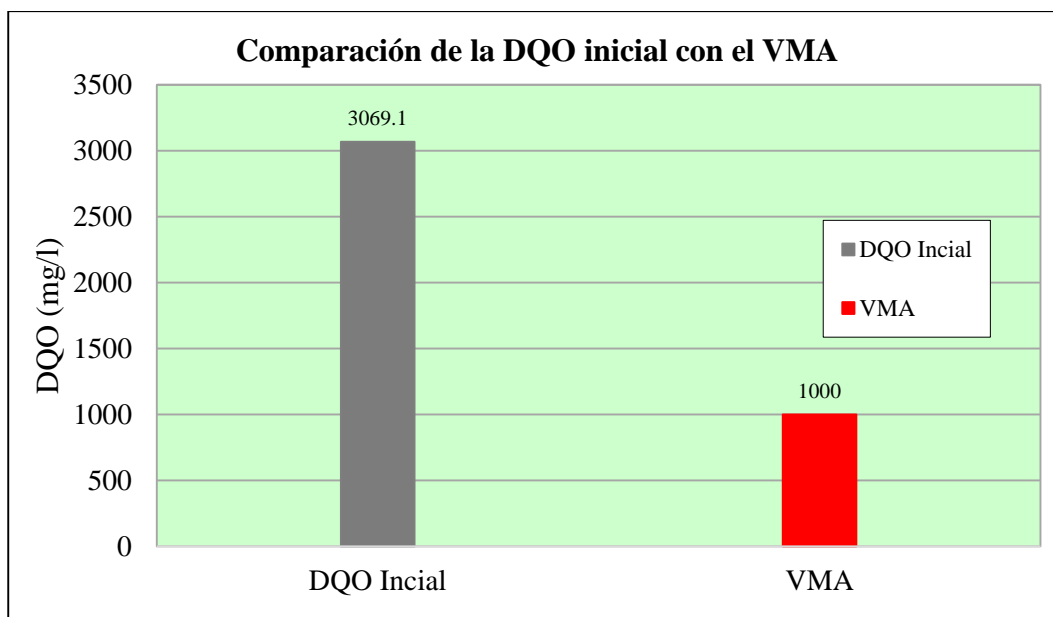


Figura 10. Comparación de la DQO inicial con el VMA

En ambos gráficos se observa claramente que los valores de las concentraciones iniciales de los parámetros de materia orgánica (DBO₅ y DQO) son más del doble de los valores establecidos en los Valores Máximos Admisibles (VMA).

4.2.2 Resultados finales

En el presente ítem se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio de las aguas residuales proveniente de las 15 unidades experimentales, luego de haber transcurrido los 14

días del periodo de retención hidráulica del tratamiento con plantas fitorremediadoras; los resultados están clasificados por tipo de tratamiento y su codificación está en función de las iniciales de cada tratamiento y número de réplica.

Tabla 13

Resultados de laboratorio transcurrido los 14 días de tratamiento con Nasturtium officinale.

Unidad experimental	Resultados finales (mg/l)	
	DBO₅	DQO
TNO - 01	233	2059.2
TNO - 02	215	2014.5
TNO - 03	242	1506.6
TNO - 04	234	1292.8
TNO - 05	247	1095.4

Nota. Los resultados proceden del Informe de ensayo FQ N° 221202-007

Tabla 14

Resultados de laboratorio transcurrido los 14 días de tratamiento Eichhornia crassipes.

Unidad experimental	Resultados (mg/l)	
	DBO₅	DQO
TEC - 01	76	1117.6
TEC - 02	160	733.6
TEC - 03	88	1111.8
TEC - 04	236	1095.4
TEC - 05	234	1325.7

Nota. Los resultados proceden del Informe de ensayo FQ N° 221202-007

Tabla 15

Resultados de laboratorio transcurrido los 14 días de tratamiento con Thypa latifolia.

Unidad experimental	Resultados (mg/l)	
	DBO₅	DQO
TTL - 01	140	848.7
TTL - 02	164	1128.3
TTL - 03	129	617.1
TTL - 04	115	947.4
TTL - 05	248	1062.5

Nota. Los resultados proceden del Informe de ensayo FQ N° 221202-007

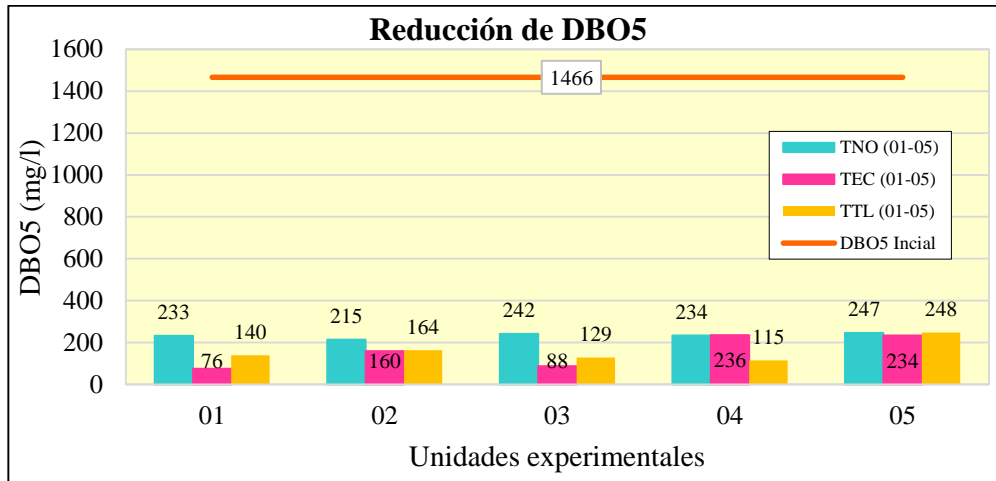


Figura 11. Concentración de la DBO5 final de cada unidad experimental.

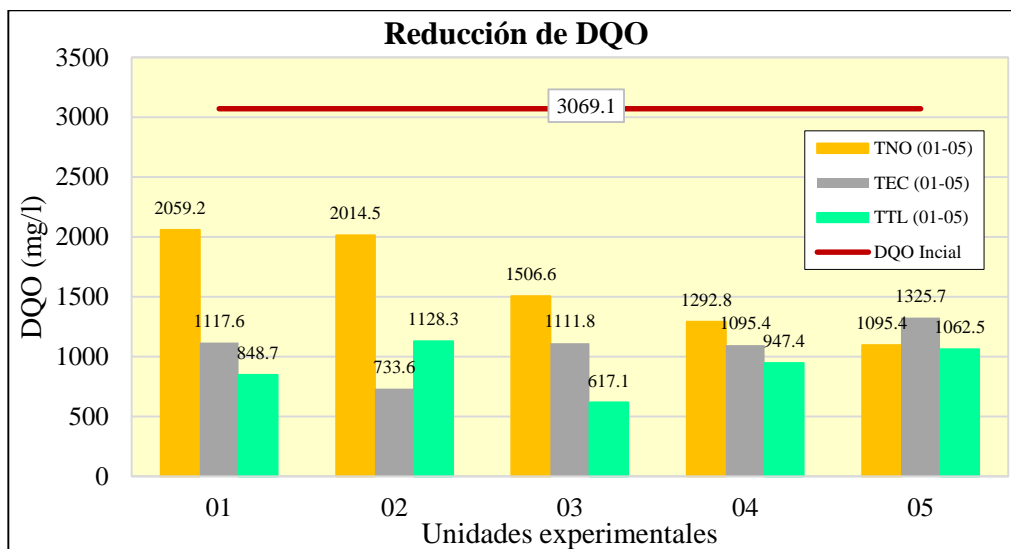


Figura 12. Concentración de la DQO final de cada unidad experimental.

4.3 Determinación de los porcentajes de reducción de la materia orgánica (DBO₅ y DQO)

En esta sección se presentan los porcentajes de reducción de la materia orgánica (DBO₅ y DQO) para el cual se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$\%RMO = \frac{(MO_i - MO_f)}{MO_i} * 100$$

Donde:

%RMO = Porcentaje de reducción de materia orgánica

MO_i= Materia orgánica inicial

MO_f= Materia orgánica final

Esta expresión es resultado de la combinación de la diferencia de la concentración inicial y final de la materia orgánica y la regla de tres simples para determinación del porcentaje.

4.3.1 Determinación de los porcentajes de reducción de DBO₅

Tabla 16

Porcentajes de reducción del parámetro DBO₅.

Unidad	Resultados (mg/l)		DBO ₅ Reducida (mg/l)	% Reducción
	DBO ₅ Inicial	DBO ₅ Final		
TNO - 01		233	1233	84.1 %
TNO - 02		215	1251	85.3 %
TNO - 03		242	1224	83.5 %
TNO - 04		234	1232	84.0 %
TNO - 05		247	1219	83.2 %
TEC - 01		76	1390	94.8 %
TEC - 02		160	1306	89.1 %
TEC - 03	1466	88	1378	94.0 %
TEC - 04		236	1230	83.9 %
TEC - 05		234	1232	84.0 %
TTL - 01		140	1326	90.5 %
TTL - 02		164	1302	88.8 %
TTL - 03		129	1337	91.2 %
TTL - 04		115	1351	92.2 %
TTL - 05		248	1218	83.1 %

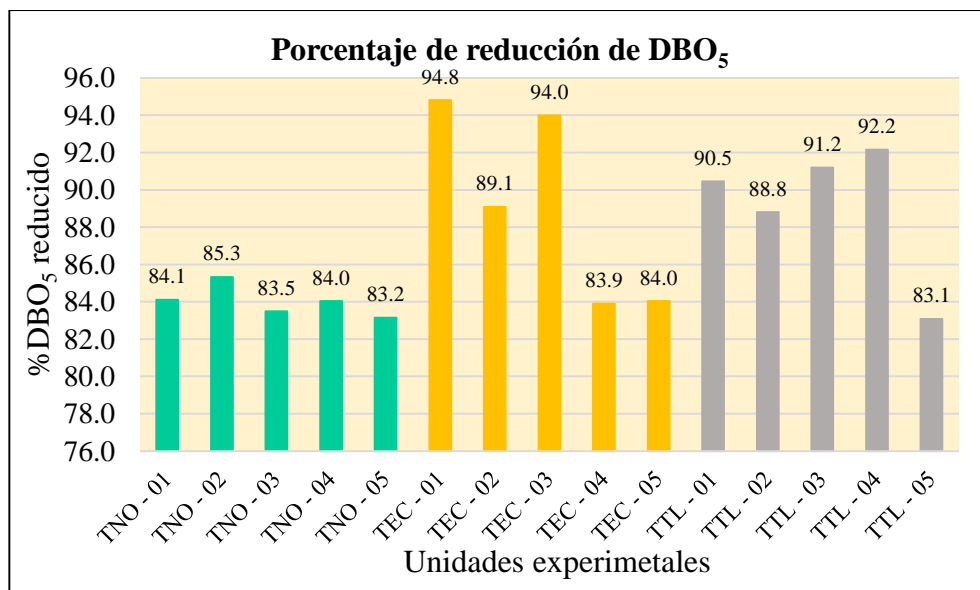


Figura 13. Porcentajes de reducción de la DBO₅ en cada unidad experimental.

4.3.2 Determinación de los porcentajes de reducción de DQO

Tabla 17

Porcentajes de reducción del parámetro DQO

Unidad Experimental	Resultados (mg/l)		DQO Reducida (mg/l)	% Reducción
	DQO Inicial	DQO Final		
TNO - 01		2059.2	1009.9	32.9 %
TNO - 02		2014.5	1054.6	34.4 %
TNO - 03		1506.6	1562.5	50.9 %
TNO - 04		1292.8	1776.3	57.9 %
TNO - 05		1095.4	1973.7	64.3 %
TEC - 01		1117.6	1951.5	63.6 %
TEC - 02		733.6	2335.5	76.1 %
TEC - 03	3069.1	1111.8	1957.3	63.8 %
TEC - 04		1095.4	1973.7	64.3 %
TEC - 05		1325.7	1743.4	56.8 %
TTL - 01		848.7	2220.4	72.3 %
TTL - 02		1128.3	1940.8	63.2 %
TTL - 03		617.1	2452	79.9 %
TTL - 04		947.4	2121.7	69.1 %
TTL - 05		1062.5	2006.6	65.4 %

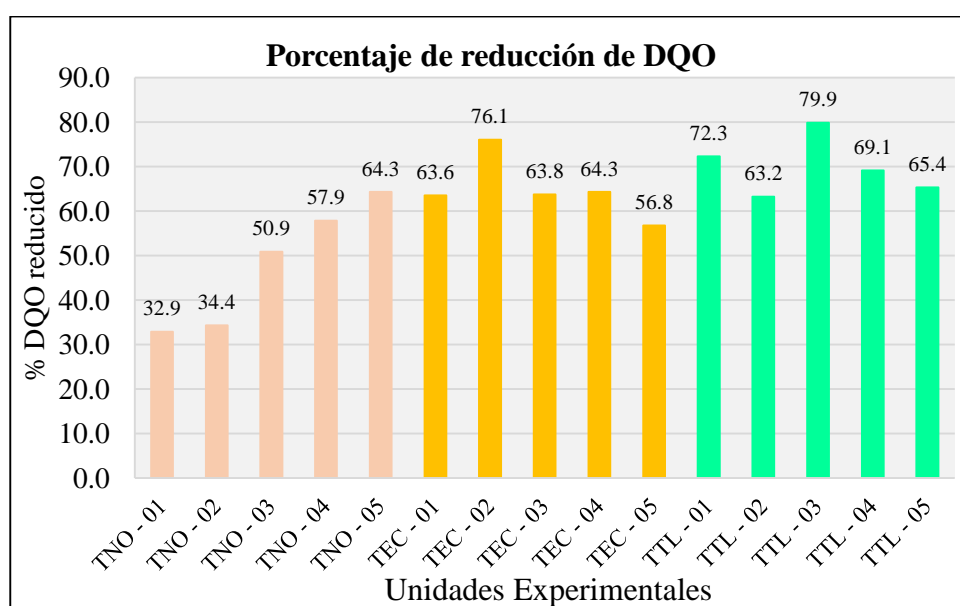


Figura 14. Porcentajes de reducción de la DQO en cada unidad experimental.

En la Figura 13 y Figura 14 se aprecia claramente una diferencia entre los porcentajes de reducción del parámetro DBO₅ y los porcentajes de reducción del parámetro DQO. Siendo evidente que esta última tiene menores porcentajes de reducción.

4.3.3 Determinación de Promedios de reducción de DBO₅ y DQO

Si bien las tablas y gráficos anteriores muestran una notable diferencia en los porcentajes de reducción entre los parámetros DBO₅ y DQO, estadísticamente fue necesario determinar los promedios de cada tratamiento para ver si persistía dicha diferencia.

Tabla 18

Promedio de reducción de la DBO₅ y DQO.

Tratamiento	Promedio de resultados finales (mg/l)		Promedio del porcentaje de reducción (%)	
	DBO ₅	DQO	DBO ₅	DQO
<i>Nasturtium officinale</i>	234.2	1593.7	84.0	48.1
<i>Eichhornia crassipes</i>	158.8	1076.8	89.2	64.9
<i>Thypha latifolia</i>	159.2	920.8	89.1	70.0

Como se puede observar en la Tabla 18, los porcentajes de reducción del parámetro DBO₅ son mayores al 68 % por lo que se acepta la hipótesis general alterna (H₁), es decir que los porcentajes de reducción de la DBO₅ de los tres tratamientos son altos. Por otro lado, los porcentajes de reducción del parámetro DQO para el primer y segundo tratamiento son menores al 68% por lo que se acepta la hipótesis nula (H₀), mientras que para el tercer tratamiento se acepta hipótesis alterna, es decir su porcentaje de reducción es alto.

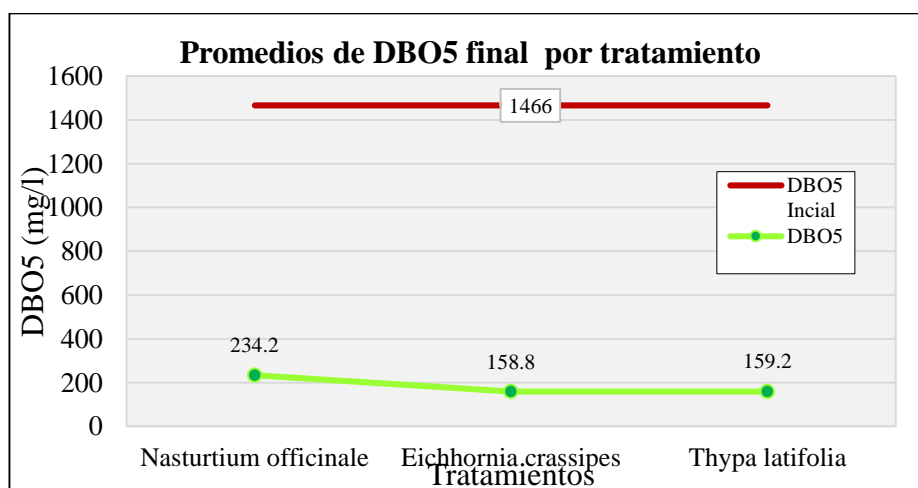


Figura 15. Comparación de los promedios de la DBO₅ final con la DBO₅ inicial.

En la Figura 15 se muestra un gráfico comparativo entre los valores promedio de los resultados finales de cada tratamiento y la concentración inicial del parámetro DBO₅, donde

se puede apreciar que los tres tratamientos han reducido en gran medida la concentración del parámetro antes mencionado, por tal motivo la curva promedio de reducción es casi lineal.

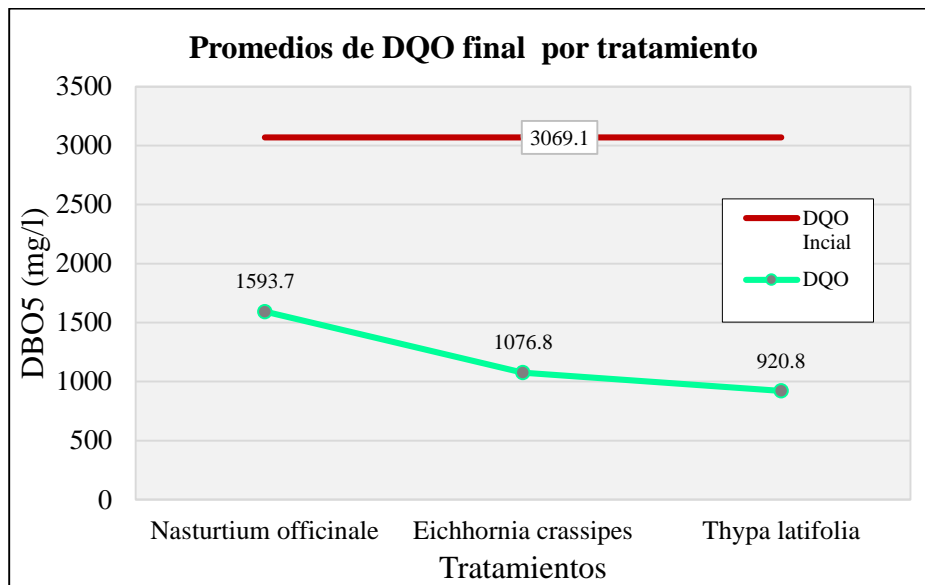


Figura 16. Comparación de los promedios de la DQO final con la DQO inicial.

En la figura 16 se muestra un esquema comparativo entre los valores promedio de los resultados finales de cada tratamiento y la concentración inicial del parámetro DQO, en el cual se aprecia que los tres tratamientos han reducido en gran medida la concentración del parámetro antes mencionado, sin embargo, los promedios son variables y la curva de reducción tiene una pendiente pronunciada.

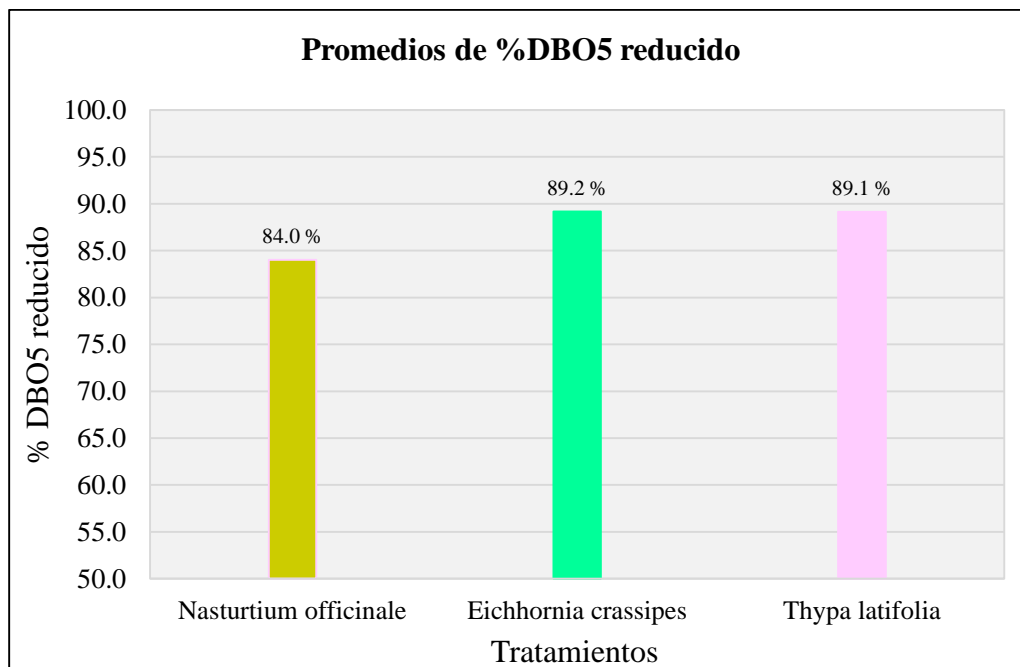


Figura 17. Promedios de los porcentajes de reducción de la DBO₅.

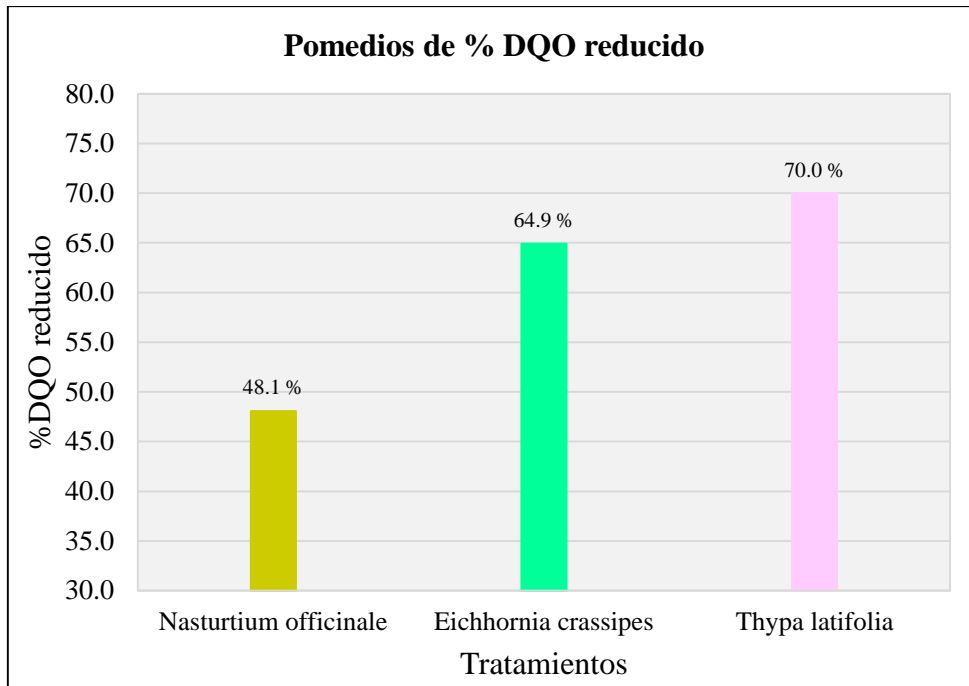


Figura 18. Promedios de los porcentajes de reducción de la DQO.

En las tablas y gráficos anteriores muestran a simple vista las eficiencias de cada tratamiento en el proceso de fitorremediación de la materia orgánica presente en las aguas residuales del camal de Supe, sin embargo, la estadística inferencial expresa mejor este resultado aparentemente conocido.

4.4 Determinación de diferencias significativas y la mayor eficiencia entre los porcentajes de reducción de DBO₅ y DQO

Para determinar la existencia o no de diferencia entre los tratamientos se aplicó la prueba estadística de análisis de varianza conocido como ANOVA, en este caso corresponde un diseño completamente al azar (DCA) con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ debido a que se compararon más de dos tratamientos, cuyas unidades experimentales son semejantes; luego de ello se utilizó la prueba de Tukey para la comparación entre las medias de los porcentajes de reducción de la materia orgánica y lograr determinar el tratamiento con mayor eficiencia, cabe mencionar que los datos fueron procesados con el software Minitab.

4.4.1 Análisis de Varianza de los resultados de la DBO₅

Para determinar si existen diferencias significativas entre tratamientos se tuvieron las siguientes hipótesis estadísticas.

H₀: Todos los tratamientos son iguales en la reducción de la DBO₅ ($u_1 = u_2 = u_3$)

H₁: No todos los tratamientos son iguales en la reducción de la DBO₅ ($u_1 \neq u_2 \neq u_3$)

Tabla 19

Análisis de varianza de la DBO₅

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	87.71	43.86	3.21	0.076
Error	12	163.89	13.66		
Total	14	251.60			

Nota. Como se puede observar en el ANOVA el valor de p es $0.076 > \alpha=0.05$ por lo tanto se acepta la hipótesis nula ($H_0: u_1 = u_2 = u_3$).

Tabla 20

Medias de reducción de DBO₅ por tratamiento

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
TNO	5	84.025	0.832	(80.424, 87.626)
TEC	5	89.17	5.23	(85.57, 92.77)
TTL	5	89.14	3.60	(85.54, 92.74)

Nota. Se observan las medias y desviaciones estandar de los tratamientos con un intervalo de confianza del 95 % obtenidos del software Minitab.

4.4.2 Análisis de Varianza de los resultados de la DQO

Las hipótesis estadísticas a demostrar con el ANOVA fueron los siguientes.

H_0 : Todos los tratamientos son iguales en la reducción de la DQO ($u_1 = u_2 = u_3$)

H_1 : No todos los tratamientos son iguales en la reducción de la DQO ($u_1 \neq u_2 \neq u_3$)

Tabla 21

Análisis de varianza de la DQO

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	1317	658.48	6.86	0.010
Error	12	1151	95.94		
Total	14	2468			

Tabla 22

Medias de reducción de DQO por tratamiento

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
TNO	5	48.07	14.02	(38.53, 57.62)
TEC	5	64.91	6.97	(55.37, 74.46)
TTL	5	70.00	6.54	(60.45, 79.54)

De la prueba de análisis de varianza se aprecias que el valor de p es: $0.010 < 0.05$ por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna ($H_1: u_1 \neq u_2 \neq u_3$), es decir si existen diferencias significativas entre los tratamientos en el porcentaje de reducción del parámetro DQO.

Tabla 23

Prueba de Tukey al 95% de confianza para el parámetro DQO.

Factor	N	Media
TEC	5	70.00 ^A
TTL	5	64.91 ^A
TNO	5	48.07 ^B

Nota. Los datos fueron procesados en el software Minitab y su principal asunción es que los datos que no comparten la misma letra son significativamente diferentes.

Como se puede observar en la prueba de Tukey, los tratamientos: TEC y TTL son iguales mientras que el tratamiento TNO son diferentes, del mismo modo se ilustra en la siguiente figura.

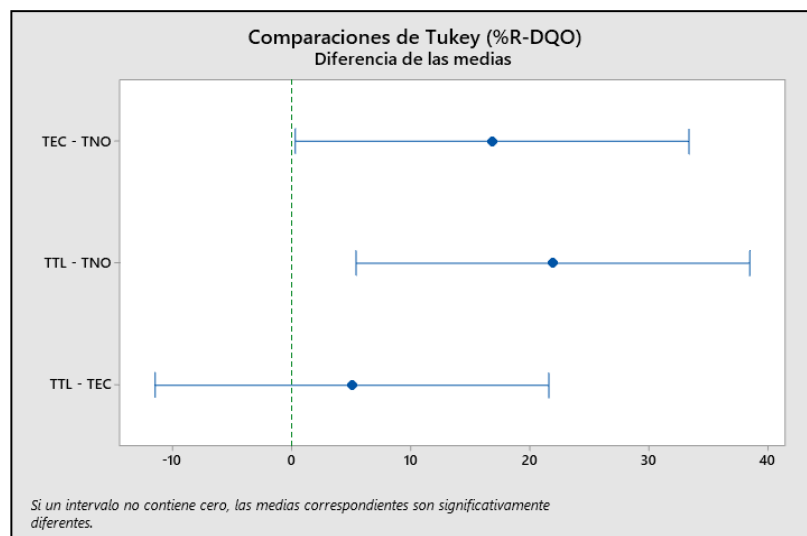


Figura 19. Grafico de comparación de Tukey para los tratamientos en el %R-DQO.

4.5 Comparación de las concentraciones de la materia orgánica (DBO₅ y DQO) con los Valores Máximos Admisibles.

Para establecer si los tratamientos podrían ser utilizados en sistemas reales bajo las condiciones específicas para la reducción de la materia orgánica (DBO₅ y DQO), se comparó con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario, aprobado por el D.S 010-2019 VIVIENDA.

En ese sentido se presentan tablas y gráficas comparativas de las concentraciones finales de los parámetros DBO₅ y DQO de cada unidad experimental, así como también las concentraciones promedio de cada tratamiento.

Tabla 24

Comparación de los valores del DBO₅ y DQO final con el VMA

Tratamiento	Unidad Experimental	Resultados finales (mg/l)		VMA (mg/l)	
		DBO₅	DQO	DBO₅	DQO
T1 <i>Nasturtium officinale,</i>	TNO - 01	233	2059.2		
	TNO - 02	215	2014.5		
	TNO - 03	242	1506.6		
	TNO - 04	234	1292.8		
	TNO - 05	247	1095.4		
T2 <i>Eichhornia crassipes</i>	TEC - 01	76	1117.6		
	TEC - 02	160	733.6		
	TEC - 03	88	1111.8	500	1000
	TEC - 04	236	1095.4		
	TEC - 05	234	1325.7		
T3 <i>Thypa latifolia</i>	TTL - 01	140	848.7		
	TTL - 02	164	1128.3		
	TTL - 03	129	617.1		
	TTL - 04	115	947.4		
	TTL - 05	248	1062.5		

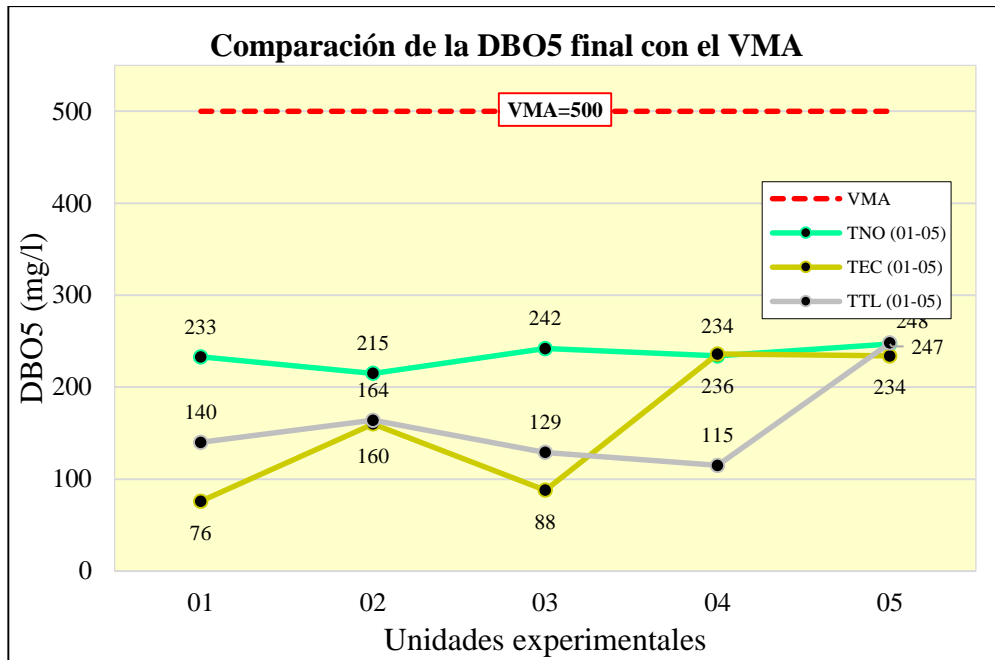


Figura 20. Grafica comparativa de la DBO₅ final de cada unidad experimental con el VMA.

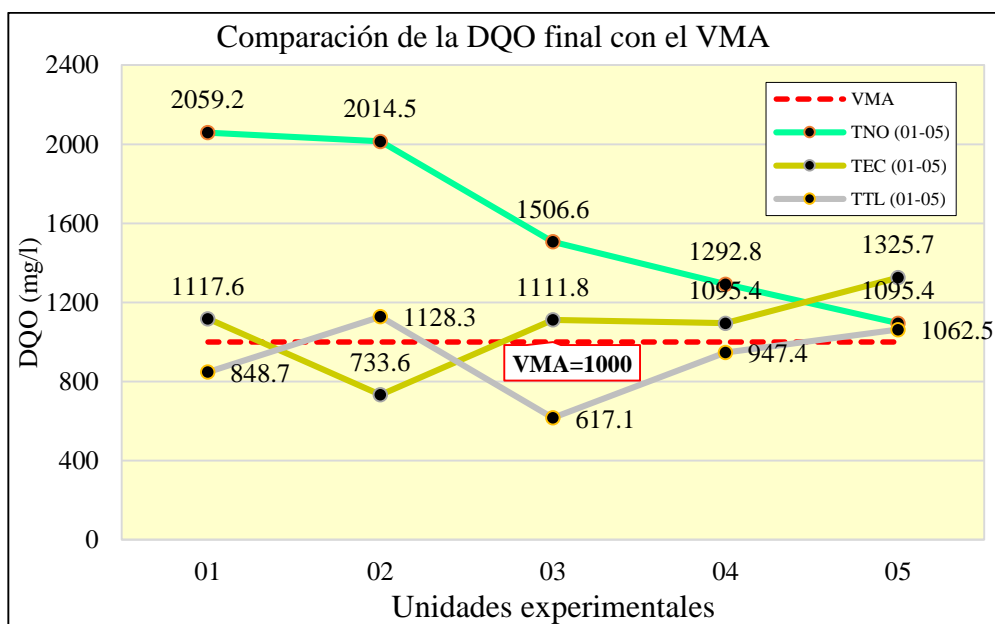


Figura 21. Grafica comparativa de la DQO final de cada unidad experimental con el VMA.

Como se aprecia en la Tabla 24, Figura 20 y Figura 21, las concentraciones finales de la DBO₅ en todas las réplicas de los tres tratamientos están por debajo de los Valores Máximos Admisibles (500 mg/l), en el caso de la DQO la mayoría de las réplicas de los tratamientos están por encima de los VMA (1000 mg/l). Asimismo, para tener mejor detalle se realizó la misma comparación, pero esta vez con promedios de cada tratamiento.

Tabla 25

Comparación de los promedios DBO₅ y DQO final con los VMA.

Tratamiento	Promedio de los resultados finales		VMA (mg/l)	
	Día 14 (mg/l)		DBO ₅	DQO
	DBO ₅	DQO		
<i>Nasturtium officinale</i>	234.2	1593.7		
<i>Eichhornia crassipes</i>	158.8	1076.8	500	1000
<i>Thypa latifolia</i>	159.2	920.8		

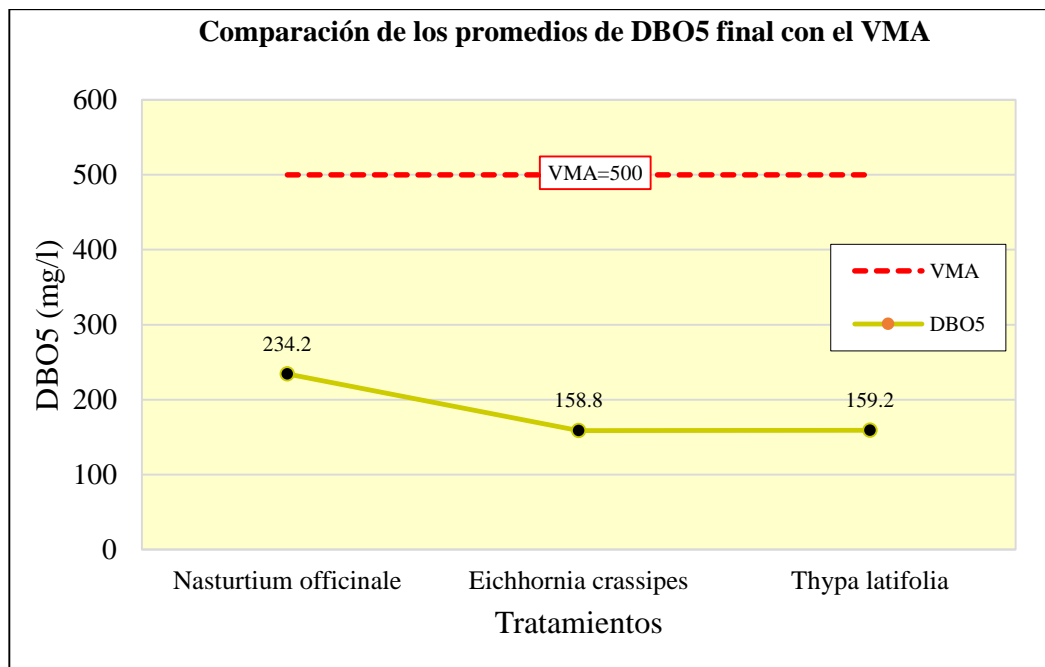


Figura 22. Grafica comparativa de los promedios DBO₅ final con el VMA.

En la figura 22 se observa que los valores promedio de DBO₅ final por tratamiento se encuentran por debajo de los valores máximos admisibles.

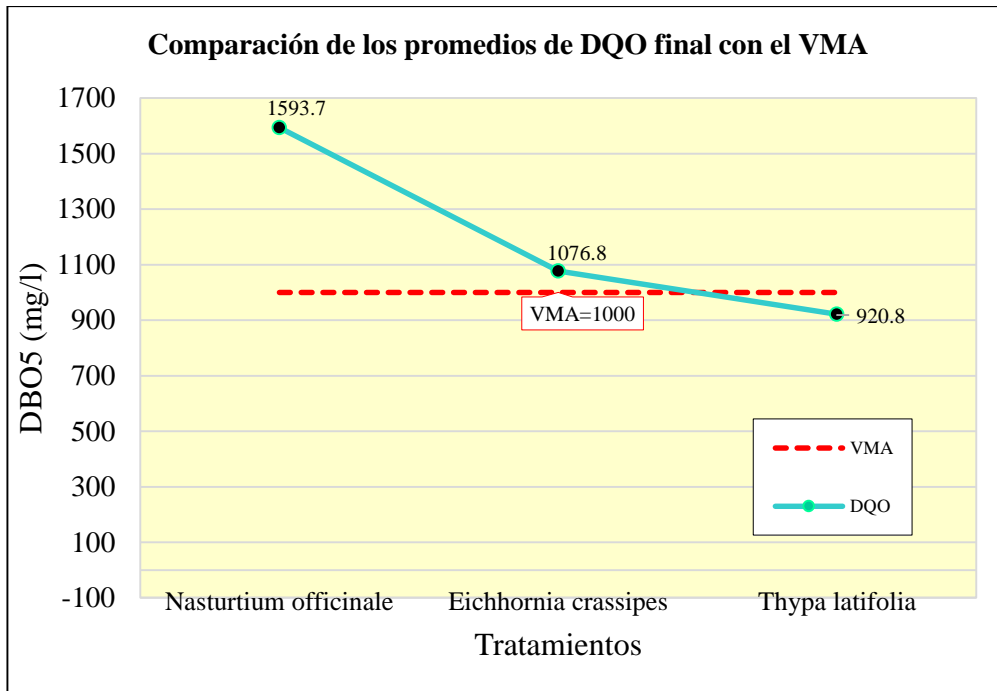


Figura 23. Grafica comparativa de los promedios de la DQO final con el VMA.

En la Figura 23 se aprecia que los promedios de DQO final por tratamiento con las plantas de fitorremedadoras *Nasturtium officinale* (1593.7 mg/l) y *Eichhornia crassipes* (1076.8 mg/l) se encuentran por encima de los VMA (1000 mg/l), mientras que el promedio de reducción de la planta *Thypa latifolia* (920.8) se encuentra por debajo de los VMA.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

Los resultados de los porcentajes de reducción de la materia orgánica (DBO₅ y DQO) que se obtuvieron en los tratamientos con *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto fueron en su mayoría favorables y eficientes por lo que a continuación se muestran las comparaciones de los resultados con los de otros autores.

Los resultados del porcentaje de reducción de materia orgánica (DBO₅ y DQO) para el primer tratamiento con *Nasturtium officinale* fueron de 48.1% para DQO y 84.0 % para DBO₅ que son notoriamente diferentes a los resultados obtenidos por Curasma y Sandoval (2019) en su investigación de tipo aplicada donde obtuvieron una eficiencia de remoción de 66.67% para DQO y 44.48% para DBO₅ en la localidad de Huancavelica. En cambio, se asemeja más a los resultados obtenidos por Pari y Sullcaray (2021) quienes sólo evaluaron el parámetro de DQO de aguas residuales domesticas logrando una eficiencia de remoción promedio del 52.5% en el mayor periodo de retención hidráulica que fue de 7 días habiendo superado su resultado del día 5 donde obtuvieron 36.80% de remoción de DQO, por lo que se evidencia que a mayor periodo de retención hidráulica se obtienen mejores resultados de remoción de DQO.

En el caso del segundo tratamiento con *Eichhornia crassipes* el resultado del porcentaje de reducción de materia orgánica para DQO fue de 64.9% y para DBO₅ fue de 89.2% estos porcentajes son ligeramente altos a comparación de los resultados obtenidos por Oktorina, Achmad y María (2019) en su estudio experimental en Indonesia para el tratamiento sin aireación con un periodo de retención hidráulica de 10 días, donde obtuvieron resultados para DQO de 58,95% y para DBO₅ de 59,84%, es así que se podría inferir que si Achmad y María hubieran utilizado el mismo periodo de retención hidráulica que esta investigación los resultados serían mayores y se podrían asemejar más, además con estos resultados se revela la importancia que tiene el periodo de retención hidráulica para que las plantas y los microorganismos actúen eficazmente en la reducción de materia orgánica.

Para el tercer y último tratamiento con *Thypha latifolia* el resultado del porcentaje de reducción de materia orgánica para DQO fue de 70% y para DBO₅ de 89.1% lo que la hace la más eficiente de los tres tratamientos, además estos resultados se asemejan con los resultados obtenidos por Kerthana y Thivyatharsan (2018) en su estudio experimental realizado en Sri Lanka donde obtuvieron las mejores eficiencias de remoción en el mayor periodo de retención hidráulica que fue de 9 días el cual fue de 77.5% para el DQO y 93.29% para DBO₅, la diferencia podría deberse a que los autores utilizaron mayores

dimensiones para el diseño de sus humedales (unidades experimentales), además de que estas poseían capas de fibra de coco, grava y arena que favorecieron a los microorganismos de las plantas por lo que al final lograron altos porcentajes de la remoción de los contaminantes.

Las concentraciones finales de DBO_5 de los tratamientos de las aguas residuales del camal municipal de Supe con *Nasturtium officinale* y *Eichhornia crassipes* cumplen con los Valores Máximos Admisibles (500 mg/l) establecido por el D.S 010-2019-VIVIENDA, los cuales se asemejan a los resultados obtenidos por Valdivia (2019), en su estudio de tipo experimental realizado en Cajamarca donde utilizó las especies *Nasturtium officinale* y *Eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas, obteniendo concentraciones finales de DBO_5 que cumplen con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (100mg/l) establecido por el D.S N° 003-2010 MINAM; pese a que ambas normativas tienen diferente propósito y sus valores máximos de concentración son diferentes, las dos se miden en el efluente, en ese contexto se puede decir que los resultados varían de acuerdo al tipo de agua residual tratada. Por otro lado, las concentraciones finales de la DQO no cumplen con el VMA (1000 mg/l), de tal manera que son diferentes a los resultados de Valdivia (2019), que, si cumple con el LMP (200 mg/l), esto podría deberse a que el valor de concentración inicial de DQO de la presente investigación (3069.1 mg/l) es mucho mayor que la concentración inicial utilizada por Valdivia (2019) que fue de 230 mg/l.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Los niveles de valoración de los porcentajes de reducción de la materia orgánica que conforman los parámetros de DQO y DBO₅ para los tratamientos de la investigación se evaluaron de acuerdo a la Tabla 8 que se encuentra en el ítem 3.2.

El primer tratamiento con *Nasturtium officinale* obtuvo una reducción de 48.1 % para DQO y 84.0 % para DBO₅ por lo que les corresponde el nivel medio (se acepta la hipótesis nula) y alto (se acepta la hipótesis alterna) respectivamente. El segundo tratamiento con *Eichhornia crassipes* obtuvo una reducción de 64.9% para DQO y 89.2% para DBO₅, por lo tanto, les corresponde el nivel medio (se acepta la hipótesis nula) y alto (se acepta la hipótesis alterna) respectivamente. Finalmente, el tercer tratamiento con *Thypha latifolia* obtuvo la reducción de 70.0% para DQO y 89.1% para DBO₅ por lo tanto les corresponde el nivel alto y se acepta la hipótesis alterna en ambos parámetros.

A través de las pruebas estadísticas (ANOVA y Tukey) se demostró la existencia de diferencias significativas entre los porcentajes reducción de DQO de los tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis estadística alterna. Mientras que para el parámetro de DBO₅ no se demostró existencia de diferencias significativas, es decir que todos los tratamientos son estadísticamente iguales y se acepta la hipótesis estadística nula.

Se concluye que el tratamiento más eficiente en la reducción de la materia orgánica de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto es con la planta fitorremediadora *Thypha latifolia*, debido a que fue el tratamiento que obtuvo mejores porcentajes de reducción en ambos parámetros DBO₅ y DQO, esto podría verse influenciado por la capa de grava que tuvo como medio de soporte para que las plantas fitorremediadoras pudieran mantenerse erguidas en las unidades experimentales ya que son plantas grandes.

Al comparar los resultados finales de las concentraciones de materia orgánica de cada tratamiento con los Valores Máximos Admisibles para descargas de aguas residuales no domesticas al sistema de alcantarillado sanitario (DQO = 1000 mg/l y DBO₅ = 500 mg/l) se demostró que el tratamiento con *Nasturtium officinale* no cumple en la DQO con 1593.7 mg/l, pero en la DBO₅ si cumple con 234.2 mg/l. El tratamiento con *Eichhornia crassipes* no cumple en la DQO con 1076.8 mg/l y en la DBO₅ si cumple con 158.8 mg/l. Finalmente, el tratamiento con *Thypha latifolia* cumple en ambos parámetros con concentraciones de 920.8 mg/l y 159.2 mg/l de DQO y DBO₅ respectivamente.

6.2 Recomendaciones

En función a los resultados de la presente investigación, se detallan las siguientes recomendaciones:

El presente estudio evidencia una reducción considerable de la materia orgánica de las aguas residuales del camal municipal de Supe con los tres tratamientos empleados, sin embargo, se recomienda para futuras investigaciones o tratamientos a escala real utilizar las especies *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* debido a que sus resultados fueron mejores, además estos podrían ser repotenciados añadiendo otros sistemas de pretratamiento o sistemas en serie.

Se recomienda diseñar las unidades experimentales a escala piloto con tamaños mayores para poder tratar volúmenes más grandes, debido a que permiten mejor maniobrabilidad al momento de colocar las plantas y a la vez provee mayor espacio para el intercambio gaseoso del agua con la atmósfera.

Para tratamientos a escala real se recomienda que las aguas residuales pasen por sistemas de pretratamiento y tratamiento primario previo a la instalación de las plantas fitorremediadoras como sistemas de tratamiento secundario donde se obtendrán mejores resultados.

En sistemas de tratamientos con plantas fitorremediadoras se recomienda que estas pasen por un periodo de adaptación para que el cambio drástico de hábitat no afecte su supervivencia y rendimiento en el proceso de fitorremediación.

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (1996). *Guía del ciudadano: Medidas fitocorrectivas*. Recuperado de <https://studylib.es/doc/5956079/guia-del-ciudadano--medidas-fitocorrectivas---clu-in>
- Agencia del Gobierno de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID]. (2010). *Plantas medicinales y aromáticas una alternativa de producción comercial*. Recuperado de <https://issuu.com/m-comunicaciones/docs/hierbas>
- Alam, R., Ullah Khan, S., Basheer, F., & Haq Farooqi, I. (2021). Nutrients and organics removal from slaughterhouse wastewater using phytoremediation: A comparative study on different aquatic plant species. *IOPscience*, 1058(012068), 1-6. doi: [10.1088/1757-899X/1058/1/012068](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1058/1/012068)
- Arias Triguero, Ó. (2004). *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial*. (Tesis de pregrado). Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech, Barcelona, España. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2099.1/3339>
- Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA.PE, aplicada a cuerpos de agua continentales superficiales*. (R.J. N° 068-2018-ANA). Recuperado de: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/655052/442368721894580723720200426-24009-4kh0r.pdf?v=1633047660>
- Berrios, L., & Urquiza, E. (2020). *Tratamiento de aguas residuales del camal de la Colina - Pedregal usando el método de reactor UASB* (tesis de pregrado). Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/11295/ISurques%26beccla.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Curasma, M., & Sandoval, E. (2019). *Evaluación de la eficiencia de un sistema integrado de biopelícula y fitorremediación *Nasturtium officinale* (Berro) para el tratamiento de agua residual municipal en Huancavelica* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú. Recuperado de

<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3072>

- Delgadillo, A., Prieto, F., Villagómez, J., Acevedo, O., y González, C. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597-612. Recuperado de <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/814/565>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua.
- Dier, C. (2007). *El proceso de faenamiento y las características de la carne en el ganado vacuno del camal municipal de Ambato* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3415/3/PAL127.pdf>
- Hidalgo, J (2007). *Aprovechamiento de la Titora como Material de construcción* (tesis de pregrado), Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/6180>
- Huamán, J., y Rumaja, A. (2017). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies vegetales Nasturtium officinale W.T Aiton (Berro) e Hydrocotyle ranunculoides L. f. (Mateccllo) en relación con la contaminación con mercurio a diferentes concentraciones* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12918/1705>
- Iglesias, A., y Martínez, N. (2020). *Thypha Llatifolia y Eichornia Crassipes en el tratamiento de aguas residuales de efluentes industriales* (tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/23954>
- INNOTEC Laboratorios. (2021). *La importancia y características de las aguas residuales*. Obtenido de <https://www.innotec-laboratorios.es/la-importancia-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales/>
- Jaramillo, M., y Flores, E. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichornia crassipes (Jacinto de agua) en

- aguas residuales producto de la actividad minera (tesis de pregrado). Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>
- Kerthana, K., y Thivyatharsan, R. (2018). Constructed wetland for slaughterhouse wastewater treatment. *AGRIEAST: Journal of Agricultural Sciences*, 12(1), 7-15. doi: <http://doi.org/10.4038/agrieast.v12i1.47>
- Maxe, M., y LLoella, M. (2016). Microorganismos depuradores asociados con enneas (*Thypha latifolia*) en la depuración de aguas residuales. *UCV - HACER. Revista de Investigación y Cultura*, 5(1), 10-15. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5681736>
- Mebemba, K. M., Kayath, A. C., Madiélé, A. B., Diélé, G. R., y Ouamba, J. M. (2019). Phytoremediation of Industrial Waste Leachates by Planted Filters Composed of *Phragmites australis* (Cav) Trin ex Steud, *Thypha latifolia* L. and *Cyperus papyrus* L. *International Journal of Environment and Climate Change*, 9(9), 523-532. Doi: <10.9734/ijecc/2019/v9i930137>
- Mellado, G. (2019). *Determinación de la eficiencia de tres especies macrófitas para el tratamiento de aguas residuales domésticas* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2729>
- Metcalf y Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales Tratamiento, vertidos y reutilización* (Vol. I). Madrid, España: McGraw-Hill.
- Ministerio de vivienda construcción y saneamiento VIVIENDA (2019). *Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domesticas en sistema de alcantarillado sanitario*. Lima, Perú. Obtenido de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-valores-maximos-decreto-supremo-n-010-2019-vivienda-1748339-3/>
- Ministerio del Ambiente MINAM (2009). *Manual para Municipios Ecoeficientes*. Lima, Perú. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp->

content/uploads/sites/22/2013/10/manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf

Ministerio del Ambiente MINAM (2012). *Glosario de Términos para la gestión ambiental peruana*. Lima, Perú. Recuperado de <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/504.pdf>

Núñez, A., y Bustamante, V. (2012). *Evaluación y propuesta de tratamiento de efluentes residuales del camal municipal de la ciudad de Moyobamba* (tesis de pregrado) Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba. Moyobamba, Perú. Recuperado de <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/129>

Oktorina, A. N., Achmad, Z., & María, S. (2019). Phytoremediation of tofu wastewater using *Eichhornia crassipes*. *IOPscience*, 1341(5), 1-6. doi:[10.1088/1742-6596/1341/5/052009](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1341/5/052009)

Oladejo, O. S., Olanipekun, A. A., Diekola, O. A., y Olaniyan, O. H. (2019). Sub-surface constructed wetland system as alternative treatment for effluent discharge from Atenda abattoir, Ogbomoso Southwestern Nigeria. *International Journal of Environmental Engineerin*, 10(2), 118-129. doi:[10.1504/IJEE.2019.10024023](https://doi.org/10.1504/IJEE.2019.10024023)

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental OEFA. (2015). *Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental*. Lima, Perú. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978.8

Organismos de Evaluación y Fiscalización Ambiental OEFA (2014). *Fiscalización en Aguas Residuales*. Lima, Perú. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación FAO (1993). *Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo*. Roma, Italia. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=BRX_LNjXre8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Pari, L., y Sullcary, R. (2021). *Evaluación del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con berros (nasturtium officinale) en la remoción de materia orgánica a escala piloto de las aguas residuales del distrito de Yauli-Huancavelica* (tesis de

- pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3878>
- Ramdani, F., Prasetya, A., y Purnomo, C. (2019). Removal of pollutants from chickens slaughterhouse wastewater using constructed wetland system. *IOPscience*, 399(012085), 1-6. doi:[10.1088/1755-1315/399/1/012085](https://doi.org/10.1088/1755-1315/399/1/012085)
- Rojas, R. (2002). *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Obtenido de https://www.academia.edu/download/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR.pdf
- Salas, G., y Condorhuamán, C. (2008). Tratamiento de las aguas residuales de un centro de beneficio o matadero de ganado. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 11(1), 29-35. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4885>
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria SENASA (2012). *Decreto Supremo N° 015-2012-AG Aprueban el Reglamento Sanitario del Faenado de Animales de Abasto*. Lima, Perú. Obtenido de https://www.peru.gob.pe/normas/docs/ds_015_2012_ag.pdf
- Valdivia, C. (2019). *Eficiencia de Eichhornia crassipes (Mart.) Solms Laub - Pontederiaceae y Nasturtium officinale W.T. Aiton - Brassicaceae en la remoción de DB5 y DQO y del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Recuperado de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3458>

ANEXOS

Anexo 1. Planos y Mapas

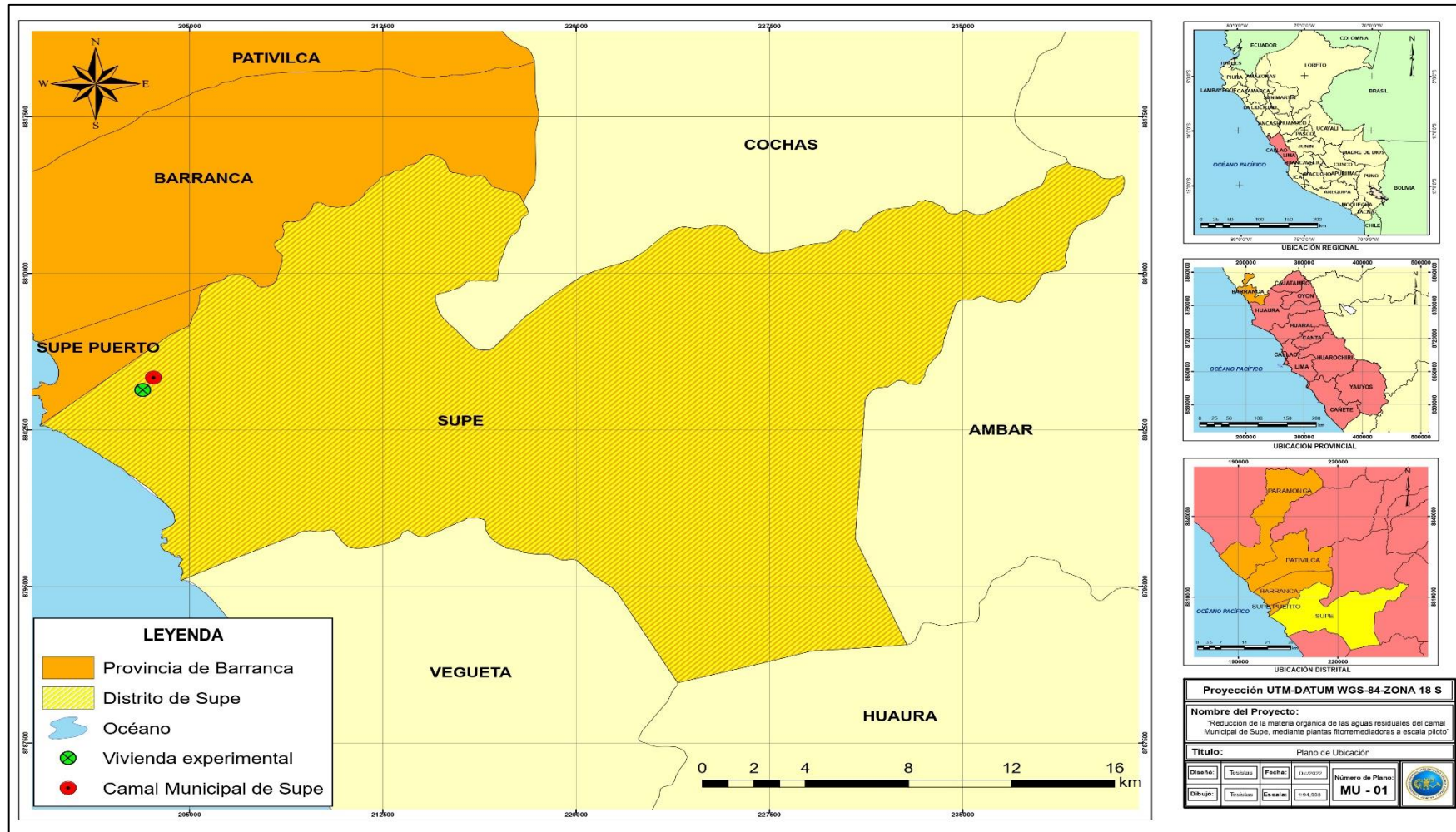


Figura 24. Mapa de ubicación del proyecto de investigación



Figura 25. Plano de ubicación de los puntos de muestro.

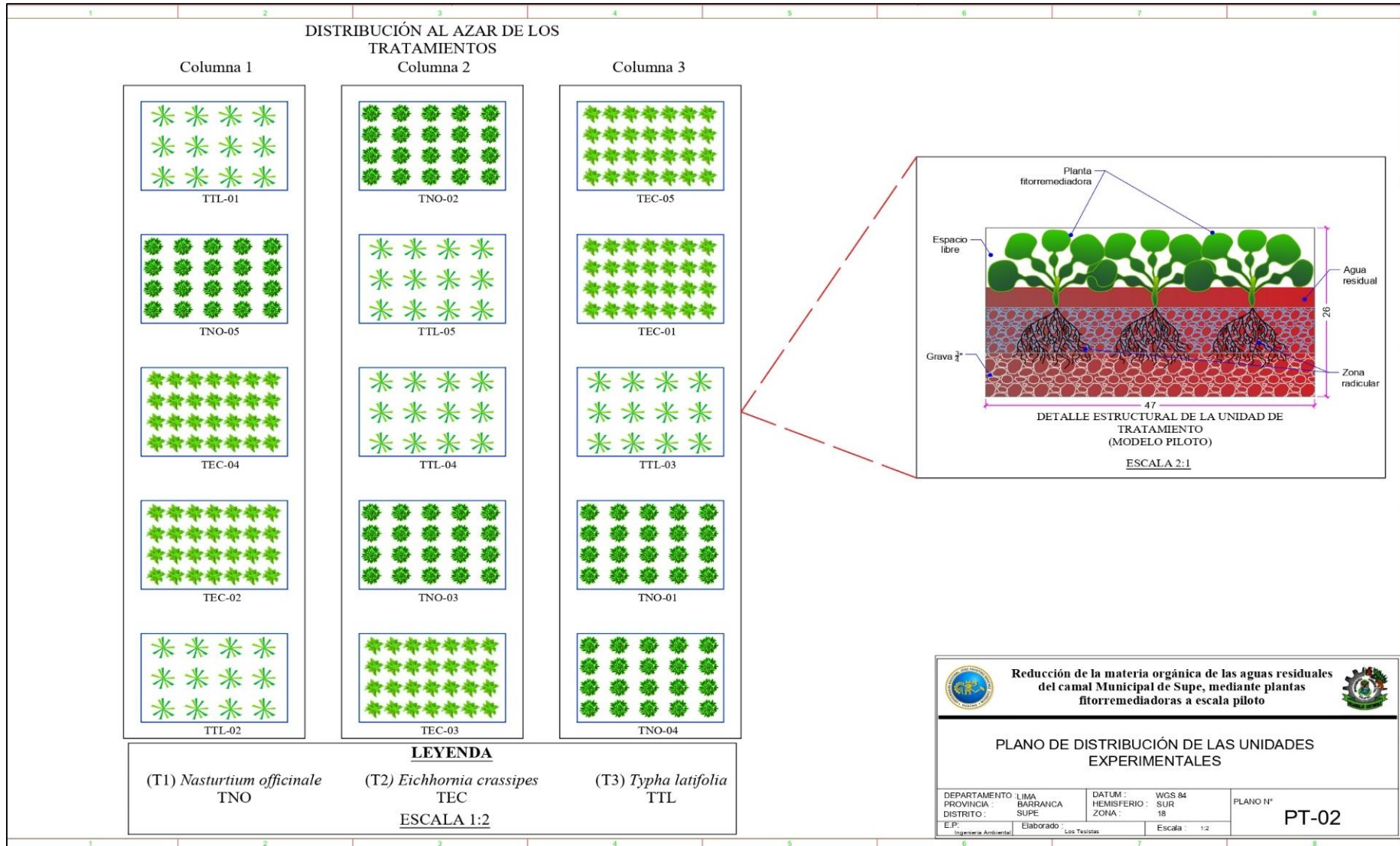


Figura 26. Plano de distribución de las unidades experimentales

Anexo 2. Evidencias de pruebas estadísticas en Minitab

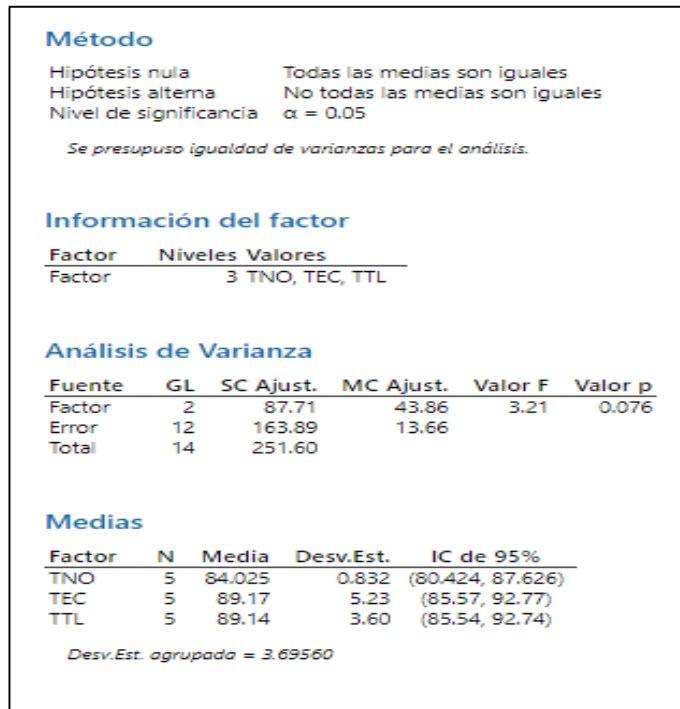


Figura 27. Análisis de varianza de la DBO₅ con P<0.05 en Minitab



Figura 28. Análisis de varianza de la DQO con P<0.05 en Minitab

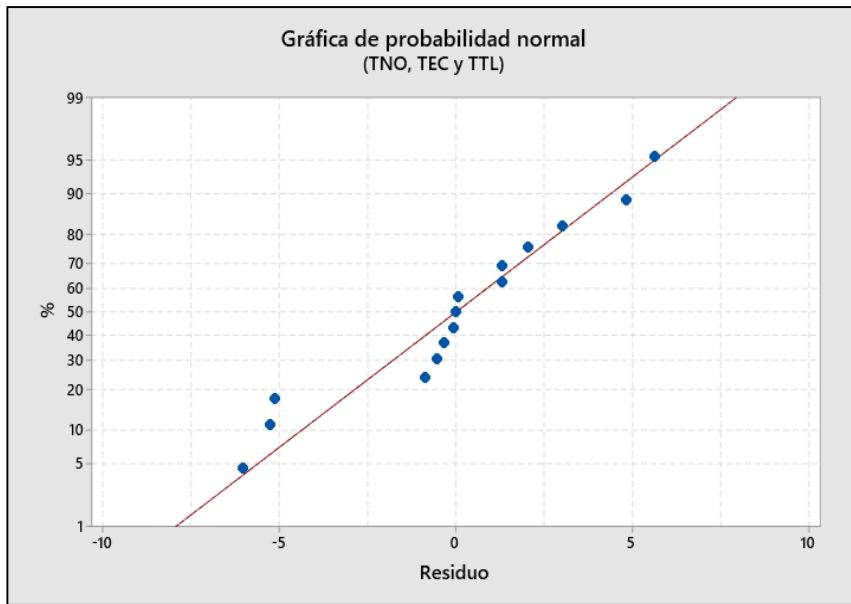


Figura 29. Gráfica de normalidad de los datos para la DBO5

Nota. La prueba de normalidad de los datos muestra que no existe ningún dato anómalo entre los quince valores de concentración final de la DBO5.

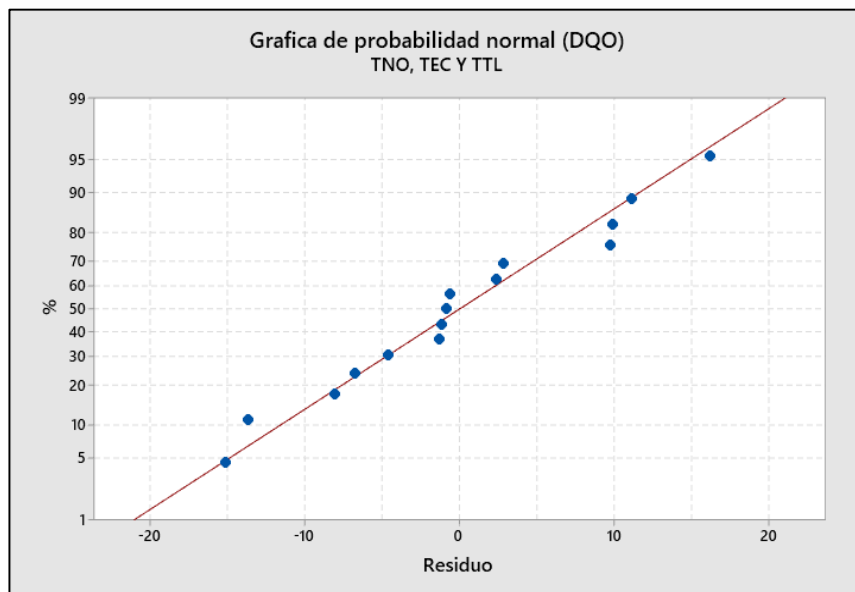


Figura 30. Gráfica de normalidad de los datos para la DQO

Nota. La prueba de normalidad de los datos muestra que no existe ningún dato anómalo entre los quince valores de concentración final de la DQO.

Anexo 3. Evidencia fotográfica del desarrollo del experimento



Figura 31. Adquisición y periodo de adaptación de la planta *Eichornia crassipes*.



Figura 32. Adquisición y periodo de adaptación de la planta *Nasturtium officinale*.



Figura 33. Adquisición y periodo de adaptación de la planta *Thypha latifolia*.



Figura 34. Recolección de las aguas residuales del punto de descarga del camal municipal de Supe.



Figura 35. Toma de muestra inicial de las aguas residuales homogenizadas



Figura 36. Filtrado de las aguas residuales (proceso unitario de desbaste)



Figura 37. Periodo de sedimentación de las aguas residuales.



Figura 38. Toma de datos de pH y Temperatura inicial de las aguas residuales



Figura 39. Lavado de la grava que se utilizará en el tratamiento con *Thypha latifolia*



Figura 40. Lavado con agua destilada de los envases de plástico rectangulares



Figura 41. Distribución de las aguas residuales en los recipientes



Figura 42. Incorporación de la capa grava y la planta fitorremediadora *Thypha latifolia* en el recipiente.



Figura 43. Instalación de especies *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia*.




Figura 44. Muestras finales transcurridos los 14 días de periodo de retención de todas las unidades experimentales.



Figura 45. Unidades experimentales instaladas

Anexo 4 Cadenas de custodia

DATOS DEL SOLICITANTE		PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS		NS		22016816		
CLIENTE O RAZÓN SOCIAL	JAVIER HARO JAENETH, TOSCANO JUSTINO REYDER			LUGAR DE MUESTREO	CAMAL MUNICIPAL DE SUPE			Hoja : 01 de 01
DIRECCIÓN:	CALLE LOS NARANJOS MZ L LT 8 - SUPE			NOMBRE DEL PROYECTO	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES			TOMA DE MUESTRA POR
CONTACTO:	JAVIER HARO JAENETH, TOSCANO JUSTINO REYDER			DISTRITO / PROVINCIA / DPTO.	SUPE / BARRANCA / LIMA PROVINCIAS			CERTIFICACIONES Y CALIDAD S.A.C. <input type="checkbox"/>
CORREO ELECTRÓNICO:	JAENETH.16.1999@gmail.com			ENSAYOS SOLICITADOS	PLAN DE MUESTREO			CLIENTE <input checked="" type="checkbox"/>
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA								OBSERVACIONES
ITEM	ESTACIÓN	Fecha	HORA INICIO	HORA FINAL	TIPO DE MATRIZ (1)	GEOREFERENCIA	ALTIMITUD (m.s.n.m.)	
1	CMS-01	11-11-22	09:50	09:52	AR	203546 8805009	54 182	DBO DQO / /
2								
3								
4								
5								
6								



TIPO DE MATRIZ (1)

AN: AGUA NATURAL
 1. Subterránea 1.1. Manantial 1.2. Termal 2. Superficial 2.1 Río 2.2 Laguna / Lago
 AR: AGUA RESIDUAL
 3. Doméstica 4. Industrial 5. Municipal 6. No Doméstica
 ACH: AGUAS PARA USO Y CONSUMO HUMANO
 7. Agua de bebida (Agua Potable/Agua de Mesa/Agua Envasada)
 8. Agua de Piscina 9. Agua de Laguna Artificial
 AS: AGUA SALINA
 10. Agua de Mar 11. Aguas Salobres 12. Salmuera 13. Agua de Inyección y Reiny.
 APR: AGUA DE PROCESO
 14. Agua de circulación o enfriamiento 15. Agua de alimentación para calderas
 16. Agua de alimentación para calderas 17. Agua de calderas
 18. Agua de Lixiviación 19. Agua purificada 20. Agua de Inyección y Reinyección.

ANALISTA DE CAMPO / RESPONSABLE DEL MUESTREO

Nombre: JAENETH CARMEN JAVIER HARO
 Fecha: 11/11/2022 Hora: 09:50
 FIRMA: *[Firma]*

RECEPCION DE MUESTRA

Nombre: REYDER TOSCANO JUSTINO
 Fecha: 11/11/2022 Hora: 09:55
 FIRMA: *[Firma]*

RECEPCION DE MUESTRA

Nombre: David Cellas De
 Fecha: 12/11/22 Hora: 14:00
 FIRMA: *[Firma]*

CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS

CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	C	NC
ENVASES ADECUADOS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MUESTRAS DENTRO TIEMPO MAXIMO DE CONSERVACION	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CONDICIONES DE PRESERVACION VALOR DE PH =	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CONDICIONES DE CONSERVACION DEL COOLER 1°C =	5.0	<input checked="" type="checkbox"/>


C: conforme NC: no conforme

OBSERVACIONES

Temperatura ELA-26

INFORME

Figura 46. Cadena de custodia de la muestra inicial




CADENA DE CUSTODIA - CALIDAD DE AGUA

Nº 100913

FR-550
Versión 02
2022-09-10

DATOS DEL SOLICITANTE				PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS				NS		22016816	
CLIENTE O RAZÓN SOCIAL: JAVIER HARO JAENETH, TOSCANO JUSTINO REYDER				LUGAR DE MUESTREO: AREA EXPERIMENTAL				Hoja: 1 de 3		TOMA DE MUESTRA POR:	
DIRECCIÓN: Calle los Nararajos MzL Lt 8				NOMBRE DEL PROYECTO: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES				CERTIFICACIONES Y CALIDAD S.A.C.		<input type="checkbox"/>	
CONTACTO: JAVIER HARO JAENETH, TOSCANO JUSTINO REYDER				DISTRITO / PROVINCIA / DPTO.: SUPE / BARRANCA / LIMA PROVINCIAS				CLIENTE		<input checked="" type="checkbox"/>	
CORREO ELECTRÓNICO: JAENETH.16.1999@gmail.com				ENSAYOS SOLICITADOS				PLAN DE MUESTREO			

ITEM	ESTACIÓN	Fecha	HORA INICIO	HORA FINAL	TIPO DE MATRIZ (1)	GEOREFERENCIA	ALTITUD (m.c.nm)	ZONA (1,2,3,4,5,6)	DBO	DQO	PARÁMETROS INSITU										OBSERVACIONES				
											TR mtr. (°C)	pH (unl. de pH)	OD (mg/L)	ORP (mV)	CD µS/cm	Cl. Libre (mg/L)	TURBIDEZ (NTU)	CAUDAL Lt/s	TR Am. (°C)	SALINIDAD ‰		Cl. Total (mg/L)			
1	TEC-01	25/11/22	17:48		AR 5	203167 8804423	59 18L		X	X															
2	TEC-02	25/11/22	17:50	17:51	AR 5	203166 8804420	59 18L		X	X															
3	TEC-03	25/11/22	17:52	17:53	AR 5	203165 8804422	59 18L		X	X															
4	TEC-04	25/11/22	17:54	17:55	AR 5	203167 8804320	59 18L		X	X															
5	TEC-05	25/11/22	17:56	17:57	AR 5	203169 8804422	59 18L		X	X															
6	TNO-01	25/11/22	17:58	17:59	AR 5	203165 8804423	59 18L		X	X															



TIPO DE MATRIZ (1)

AN: AGUA NATURAL
1. Subterránea 1.1. Manantial 1.2. Termal 2. Superficial 2.1 Río 2.2 Laguna / Lago
AR: AGUA RESIDUAL
3. Doméstica 4. Industrial 5. Municipal 6. No Doméstica
ACH: AGUAS PARA USO Y CONSUMO HUMANO
7. Agua de bebida (Agua Potable/Agua de Mesa/Agua Envasada)
8. Agua de Piscina 9. Agua de Laguna Artificial
AS: AGUA SALINA
10. Agua de Mar 11. Aguas Salobres 12. Salmuera 13. Agua de Inyección y Reiny.
APR: AGUA DE PROCESO
14. Agua de circulación o enfriamiento 15. Agua de alimentación para calderas
16. Agua de alimentación para calderas 17. Agua de calderas
18. Agua de Lixiviación 19. Agua purificada 20. Agua de Inyección y Reinyección.

CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS

CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS	C	NC
ENVASES ADECUADOS	/	/
MUESTRAS DENTRO TIEMPO MÁXIMO DE CONSERVACIÓN	/	/
CONDICIONES DE PRESERVACIÓN VALOR DE PH =	/	/
CONDICIONES DE CONSERVACIÓN DEL COOLER T°C =	5	/

C: conforme NC: no conforme

EQUIPOS DE CAMPO UTILIZADOS

NOMBRE	MARCA	CODIGO INTERNO


OBSERVACIONES

Tratamiento ECA-20

DATOS DEL CAMPO / RESPONSABLE DEL MUESTREO

Nombre: **REYDER TOSCANO JUSTINO**


Fecha: **25/11/2022** Hora: _____

FIRMA: 

DATOS DEL CLIENTE / SUPERVISOR

Nombre: **JAENETH JAVIER HARO**


Fecha: **25/11/2022** Hora: _____

FIRMA: 

RECEPCIÓN DE MUESTRAS


Nombre: **David Caban P.**

Fecha: **26/11/22** Hora: **15:00**

FIRMA: 

INFORME

Figura 47. Cadena de custodia de las muestras finales (1de 3).



CADENA DE CUSTODIA - CALIDAD DE AGUA

Nº 100916 FR-550
Versión 02
2022-09-10

DATOS DEL SOLICITANTE

CLIENTE O RAZÓN SOCIAL: **JAVIER HARO JAENETH, TOSCANO JUSTINO REYDER**

DIRECCIÓN: **Calle Los Naranjos Mz L L8**

CONTACTO: **JAVIER HARO JAENETH, TOSCANO JUSTINO REYDER**

CORREO ELECTRÓNICO: **JAENETH.16.1999@gmail.com**

PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS

NS **22016816**

LUGAR DE MUESTREO: **ÁREA EXPERIMENTAL**

NOMBRE DEL PROYECTO: **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

DISTRITO / PROVINCIA / DPTO.: **SUPE / BARRANCA / LIMA PROVINCIAS**

PLAN DE MUESTREO: **NS**

ITEM	ESTACIÓN	Fecha	HORA INICIO	HORA FINAL	TIPO DE MATRIZ (1)	GEOREFERENCIA	ALTITUD (m.s.n.m)	ZONA		OBSERVACIONES
								DBO	DDO	
1	TNO-02	25/11/22	18:00	18:01	AR 5	203169 8804421	59 18L	X	X	
2	TNO-03	25/11/22	18:02	18:03	AR 5	203166 8804423	59 18L	X	X	
3	TNO-04	25/11/22	18:04	18:05	AR 5	203166 8804422	59 18L	X	X	
4	TNO-05	25/11/22	18:06	18:07	AR 5	203168 8804420	59 18L	X	X	
5	TTL-01	25/11/22	18:08	18:10	AR 5	203169 8804419	59 18L	X	X	
6	TTL-02	25/11/22	18:11	18:11	AR 5	203167 8804422	59 18L	X	X	

TIPO DE MATRIZ (1)

AN: AGUA NATURAL
1. Subterránea 1.1. Manantial 1.2. Termal 2. Superficial 2.1 Río 2.2 Laguna / Lago
AR: AGUA RESIDUAL
3. Doméstica 4. Industrial 5. Municipal 6. No Doméstica
ACH: AGUAS PARA USO Y CONSUMO HUMANO
7. Agua de bebida (Agua Potable/Agua de Mesa/Agua Envasada)
8. Agua de Piscina 9. Agua de Laguna Artificial
AS: AGUA SALINA
10. Agua de Mar 11. Aguas Salobres 12. Salmuera 13. Agua de Inyección y Reiny.
APR: AGUA DE PROCESO
14. Agua de circulación o enfriamiento 15. Agua de alimentación para calderas
16. Agua de alimentación para calderas 17. Agua de calderas
18. Agua de Lixiviación 19. Agua purificada 20. Agua de Inyección y Reinyección.

EQUIPOS DE CAMPO UTILIZADOS

NOMBRE	MARCA	CODIGO INTERNO

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

RECEPCIÓN DE MUESTRA

RECEPCIÓN DE MUESTRA
26 NOV 2022
RECIBIDO

Denado por recepción de muestra

CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS	C	NC
ENVASES ADECUADOS	/	
MUESTRAS DENTRO TIEMPO MÁXIMO DE CONSERVACIÓN	/	
CONDICIONES DE PRESERVACIÓN VALOR DE PH =	/	
CONDICIONES DE PRESERVACIÓN DEL COOLER 1°C =	50	/

C: conforme NC: no conforme

OBSERVACIONES

Tomar muestra ELA-26

ANALISTA DE CAMPO / RESPONSABLE DEL MUESTREO

Nombre: **REYDER TOSCANO JUSTINO**

Fecha: **25/11/2022** Hora: **18:14**

FIRMA: *[Firma]*

DATOS DEL CLIENTE / SUPERVISOR

Nombre: **JAENETH JAVIER HARO**

Fecha: **25/11/2022** Hora: **18:14**

FIRMA: *[Firma]*

RECEPCIÓN DE MUESTRAS


Nombre: **David Ceballos**

Fecha: **26/11/22** Hora: **15:00**

FIRMA: *[Firma]*

INFORME

Figura 48. Cadena de custodia de las muestras finales (2 de 3).



CADENA DE CUSTODIA - CALIDAD DE AGUA

Nº 100915

FR-550
Versión 02
2022-09-10

DATOS DEL SOLICITANTE

CLIENTE O RAZÓN SOCIAL: **JAVIER HARO JAENETH, TOSCANO JUSTINO REYDER**

DIRECCIÓN: **Calle los Naranjos Mz L Lt 8**

CONTACTO: **JAVIER HARO JAENETH, TOSCANO JUSTINO REYDER**

CORREO ELECTRÓNICO: **JAENETH.16.1999@gmail.com**

PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS

LUGAR DE MUESTREO: **ÁREA EXPERIMENTAL**

NOMBRE DEL PROYECTO: **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

DISTRITO / PROVINCIA / DPTO.: **SUPE/BARANCA/LIMA PROVINCIAS**


ENSAYOS SOLICITADOS: **NS**

IDENTIFICACIÓN: **22016816**

Hoja: **3** de **3**

TOMA DE MUESTRA POR: CERTIFICAL CLIENTE

ITEM	ESTACIÓN	Fecha	HORA INICIO	HORA FINAL	TIPO DE MATRIZ (1)	GEOREFERENCIA	ALTITUD (m.s.n.m.)	ZONA (1)	PARÁMETROS INSITU										OBSERVACIONES		
									TR mtr. (°C)	pH (uni. de pH)	OD (mg/L)	ORP (mV)	CD (µS/cm / mS/cm)	Cl. Libre (mg/L)	TURBIDEZ (NTU)	CAUDAL (L/s / m³/s)	SALINIDAD (mg/L)	Cl. Total (mg/L)			
1	TTL-03	25/11/22	18:11	18:11	AR 5	203166 8804423	59 msn 18L	DD BB OO	X	X											
2	TTL-04	25/11/22	18:12	18:12	AR 5	203164 8804421	59 18L	X	X												
3	TTL-05	25/11/22	18:13	18:13	AR 5	203163 8804421	59 18L	X	X												
4					A																
5																					
6																					



TIPO DE MATRIZ (1)

AN: AGUA NATURAL
1. Subterránea 1.1. Manantial 1.2. Termal 2. Superficial 2.1 Río 2.2 Laguna / Lago
AR: AGUA RESIDUAL
3. Doméstica 4. Industrial 5. Municipal 6. No Doméstica
ACH: AGUAS PARA USO Y CONSUMO HUMANO
7. Agua de bebida (Agua Potable/Agua de Mesa/Agua Envasada)
8. Agua de Piscina 9. Agua de Laguna Artificial
AS: AGUA SALINA
10. Agua de Mar 11. Aguas Salobres 12. Salmuera 13. Agua de Inyección y Reiny.
APR: AGUA DE PROCESO
14. Agua de circulación o enfriamiento 15. Agua de alimentación para calderas
16. Agua de alimentación para calderas 17. Agua de calderas
18. Agua de Lixiviación 19. Agua purificada 20. Agua de Inyección y Reinyección.

EQUIPOS DE CAMPO UTILIZADOS

NOMBRE	MARCA	CODIGO INTERNO

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS

CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS	C	NC
ENVASES ADECUADOS	//	//
MUESTRAS DENTRO TIEMPO MÁXIMO DE CONSERVACION	//	//
CONDICIONES DE PRESERVACION VALOR DE PH =	5.0	//
CONDICIONES DE CONSERVACION DEL COOLER 1°C =	//	//

C: conforme NC: no conforme

ANALISTA DE CAMPO / RESPONSABLE DEL MUESTREO

Nombre: **REYDER TOSCANO JUSTINO**

Fecha: **25/11/2022** Hora: **18:14**

FIRMA: *[Firma]*

DATOS DEL CLIENTE / SUPERVISOR

Nombre: **JAENETH JAVIER HARO**

Fecha: **25/11/2022** Hora: **18:14**

FIRMA: *[Firma]*

RECEPCIÓN DE MUESTRAS

Nombre: **David Colina P.**

Fecha: **26/11/22** Hora: **15:00**

FIRMA: *[Firma]*

OBSERVACIONES

[Firma] ELA-20

INFORME

Figura 49. Cadena de custodia de las muestras finales (3 de 3).

Anexo 5. Informe de Ensayo Inicial (FQ N° 221118-011)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-045



INFORME DE ENSAYO FQ N° 221118-011

Nombre del Cliente : Reyder Edmundo Toscano Justino y Jaeneth Carmen Javier Haro.
Dirección de la Empresa : ASENT H SEÑOR DE LOS MILAGROS MZ :G LT :17 - DISTRITO DE BARRANCA Y PROVINCIA DE BARRANCA
Solicitado por : Reyder Edmundo Toscano Justino y Jaeneth Carmen Javier Haro.

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : CAMAL MUNICIPAL DE SUPE: Calle Los Naranjos Mz L Lt 8-Supe-Barranca-Barranca
Muestreo : Realizado por el cliente.
Referencia : NS 22016816
Orden de Trabajo : 12474 . 1122
Cantidad de Muestras : 1
Presentación : Botella pet con tapa cerrada
Fecha de Muestreo : 11 de Noviembre de 2022 (Dato proporcionado por el solicitante)
Fecha de Recepción : 12 de Noviembre de 2022
Fecha de Inicio de Ensayos : 12 de Noviembre de 2022
Fecha de Término de Ensayos : 18 de Noviembre de 2022
Condiciones de Recepción : En buen estado a temperatura de refrigeración

Puntos de Muestreo	Hora de Muestreo		Coordenadas		Altitud
	Inicio	Termino	Norte	Este	
CMS-01	09:50	-	8805009	203596	54

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	NORMA
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.
Demanda Química de oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method

Observaciones:

- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.
- Este Informe de Ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia civil como penal.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems de ensayo, bajo las condiciones de las muestras como se recibieron.



Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados 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.
PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME.

FR - 667 Vs - 05
Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYO FQ N° 221118-011

Código del Cliente		CMS-01		
Descripción del Punto		-		
Código de Laboratorio		22016816(1)		
Tipo de Producto		AGUA RESIDUAL		
Fecha de muestreo		11/11/2022		
Hora de muestreo		09:50		
ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	2	-	1466
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	10.0	3069.1

L.D. = Límite de detección / L.C. = Límite de cuantificación

Emitido en Lima, el 18 de Noviembre de 2022

CERTIFICACIONES Y CALIDAD SAC


Terry A. Morales Berrocal
 Laboratorio Físico Químico Ambiental
 COP N° 845

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados 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.

PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME.

Anexo 6. Informe de Ensayo final (FQ N° 221202-007)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-045



INFORME DE ENSAYO FQ N° 221202-007

Nombre del Cliente : Reyder Edmundo Toscano Justino y Jaeneth Carmen Javier Haro.
Dirección de la Empresa : ASENT H SEÑOR DE LOS MILAGROS MZ : G LT : 17 - DISTRITO DE BARRANCA Y PROVINCIA DE BARRANCA
Solicitado por : Reyder Edmundo Toscano Justino y Jaeneth Carmen Javier Haro.

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : CAMAL MUNICIPAL DE SUPE: Calle Los Naranjos Mz L Lt 8-Supe-Barranca-Barranca
Muestreo : Realizado por el cliente.
Referencia : NS 22016816
Orden de Trabajo : 12984 . 1122
Cantidad de Muestras : 15
Presentación : Botella pet con tapa cerrada
Fecha de Muestreo : 25 de Noviembre de 2022 (Dato proporcionado por el solicitante)
Fecha de Recepción : 26 de Noviembre de 2022
Fecha de Inicio de Ensayos : 26 de Noviembre de 2022
Fecha de Término de Ensayos : 02 de Diciembre de 2022
Condiciones de Recepción : En buen estado a temperatura de refrigeración

Puntos de Muestreo	Hora de Muestreo		Coordenadas		Altitud
	Inicio	Termino	Norte	Este	
TEC-01	17:48	-	8804423	203167	59
TEC-02	17:50	-	8804420	203166	59
TEC-03	17:32	-	8804422	203165	59
TEC-04	17:54	-	8804320	203167	59
TEC-05	17:56	-	8804422	203169	59
TNO-01	17:58	-	8804423	203165	59
TNO-02	18:00	-	8804421	203169	59
TNO-03	18:02	-	8804423	203166	59
TNO-04	18:07	-	8804422	203166	59
TNO-05	18:07	-	8804420	203168	59
TTL-01	18:08	-	8804419	203169	59
TTL-02	18:11	-	8804422	203167	59
TTL-03	18:11	-	8804423	203166	59
TTL-04	18:12	-	8804421	203164	59
TTL-05	18:13	-	8804421	203168	59

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	NORMA
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.
Demanda Química de oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method

Observaciones:

- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.
- Este Informe de Ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia civil como penal.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems de ensayo, bajo las condiciones de las muestras como se recibieron.



Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados 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.
PROHIBIDA LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME.

FR - 66 / Vs - 03
Página 1 de 4

INFORME DE ENSAYO FQ N° 221202-007

Código del Cliente	TEC-01	TEC-02	TEC-03	TEC-04	TEC-05
Descripción del Punto	-	-	-	-	-
Código de Laboratorio	22016816(1)	22016816(2)	22016816(3)	22016816(4)	22016816(5)
Tipo de Producto	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)
Fecha de muestreo	25/11/2022	25/11/2022	25/11/2022	25/11/2022	25/11/2022
Hora de muestreo	17:48	17:50	17:32	17:54	17:56

ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS				
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	2	-	76	160	88	236	234
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	10.0	1177.6	733.6	1111.8	1095.4	1325.7

L.D. = Límite de detección / L.C. = Límite de cuantificación



Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados 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.
PROHIBIDA LA MODIFICACION TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME.

INFORME DE ENSAYO FQ N° 221202-007

Código del Cliente	TNO-01	TNO-02	TNO-03	TNO-04	TNO-05
Descripción del Punto	-	-	-	-	-
Código de Laboratorio	22016816(6)	22016816(7)	22016816(8)	22016816(9)	22016816(10)
Tipo de Producto	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)
Fecha de muestreo	25/11/2022	25/11/2022	25/11/2022	25/11/2022	25/11/2022
Hora de muestreo	17:58	18:00	18:02	18:07	18:07

ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS				
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	2	-	233	215	242	234	247
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	10.0	2059.2	2164.5	1506.6	1292.8	1095.4

L.D. = Límite de detección / L.C. = Límite de cuantificación




Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados 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.
PROHIBIDA LA MODIFICACION TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME.

INFORME DE ENSAYO FQ N° 221202-007

Código del Cliente	TTL-01	TTL-02	TTL-03	TTL-04	TTL-05			
Descripción del Punto	-	-	-	-	-			
Código de Laboratorio	22016816(11)	22016816(12)	22016816(13)	22016816(14)	22016816(15)			
Tipo de Producto	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)			
Fecha de muestreo	25/11/2022	25/11/2022	25/11/2022	25/11/2022	25/11/2022			
Hora de muestreo	18:08	18:11	18:11	18:12	18:13			
ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS				
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	2	-	140	164	129	115	248
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	10.0	848.7	1128.3	617.1	947.4	1062.5

L.D. = Límite de detección / L.C. = Límite de cuantificación

Emitido en Lima, el 02 de Diciembre de 2022

CERTIFICACIONES Y CALIDAD SAC


Terry A. Morales Berrocal
 Laboratorio Físico Químico Ambiental
 COP N° 845