



Esta obra está bajo una [Licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú.](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/)

Vea una copia de esta licencia en
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



Humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* para la remoción de aguas residuales domésticas en el Distrito de Habana – Moyobamba, 2018

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario

AUTORES:

Danny Deyby Córdova Agreda

Telésforo Huamán García

ASESOR:

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

Código N° 6053918

Moyobamba - Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



Humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* para la remoción de aguas residuales domésticas en el Distrito de Habana – Moyobamba, 2018

AUTORES:

Danny Deyby Córdova Agreda

Telésforo Huamán García

Sustentada y aprobada el 13 de noviembre del 2019, ante el honorable jurado:

.....
Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna

Presidente

.....
Ing. M. Sc. Mirtha Felicita Valverde Vera

Secretario

.....
Blgo. M. Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación

Miembro

.....
Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

Asesor

Declaratoria de autenticidad

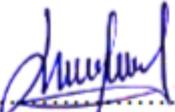
Danny Deyby Córdova Agreda, con DNI N° 74746565 y **Telésforo Huamán García**, con DNI N° 75453332, egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología de la de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, autor de la tesis titulada: **Humedal artificial con Chrysopogon zizanioides para la remoción de aguas residuales domésticas en el Distrito de Habana – Moyobamba, 2018.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 13 de noviembre del 2019.


.....
Bach. Danny Deyby Córdova Agreda

DNI N° 74746565


.....
Bach. Telésforo Huamán García

DNI N° 75453332

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: CORDOVA AEREDA DANNY DEYBY	
Código de alumno : 74746565	Teléfono: 942995566
Correo electrónico : deybycordova96@gmail.com	DNI: 74746565

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: ECOLOGÍA
Escuela Profesional de: INGENIERIA SANITARIA

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título: Humedal artificial con <i>Chrysopogón zizanioides</i> para la remoción de aguas residuales domésticas en el Distrito de Habana - Moyobamba, 2018.
Año de publicación: 2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, una licencia No Exclusiva, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

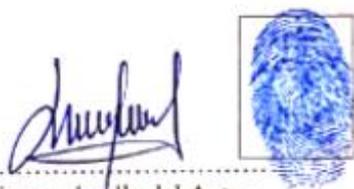
7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma y huella del Autor

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

07 / 04 / 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - I.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: HUAMÁN GARCÍA TELÉSFORO	
Código de alumno : 75453332	Teléfono: 955909609
Correo electrónico : tellportocarterogarcia@gmail.com DNI: 75453332	

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: ECOLOGIA
Escuela Profesional de: INGENIERIA SANITARIA

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título : Humedal artificial con <i>Chrysopogon zizanioides</i> para la remoción de aguas residuales domésticas en el Distrito de Habana - Hoyobamba, 2018.
Año de publicación: 2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".


Firma y huella del Autor

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

07 / 04 / 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A mis queridos padres Telmo Huamán Portocarrero y Dominga García García por su amor, por su apoyo incondicional que siempre me han brindado.

A mis hermanos Jhon Fredy, Yoirani y Claribel por estar siempre conmigo.

Telésforo Huamán García

A mis padres Andrés Córdova López y Domitila Agreda López por su invaluable apoyo, ternura y cariño que siempre me han ofrecido.

A mis hermanos Telésforo, Paul, Wilmer y Olinder por el apoyo incondicional y por guiarme en mi formación personal y profesional.

Danny Deyby Córdova Agreda

Agradecimiento

A Dios por darnos la vida, por brindarnos la salud, por cuidar a nuestras familias y por permitirnos estar presentes.

A nuestros padres por estar con nosotros y apoyarnos en el desarrollo de nuestra vida profesional y personal, por el apoyo incondicional que nos brindan día a día.

A nuestros amigos y compañeros de clase por las anécdotas vividas y por llenarnos la vida de alegrías.

A la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín por acogernos en sus aulas, a los docentes por compartir e implantar sus conocimientos, ayudando a nuestra formación profesional.

Al Ing. Dr. Yrwin Azabache Liza por el conocimiento brindado en este proceso de investigación.

Los autores

Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	vii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
Índice de fotografías	xi
Resumen	xii
Abstract.....	xiii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1. Antecedentes de la investigación	3
1.2. Bases teóricas	5
1.2.1. Agua residual.....	5
1.2.2. Humedales.....	8
1.2.3. Diseño del humedal artificial subsuperficial de flujo vertical.....	13
1.2.4. La planta de vetiver	17
1.2.5. Normativa peruana	18
1.3. Definición de términos básicos	19
CAPÍTULO II MATERIAL Y MÉTODOS	22
2.1. Materiales	22
2.2. Métodos.....	23
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1. Diseño hidráulico del humedal artificial subsuperficial de flujo vertical	32
3.2. Caracterización física, química y biológica (coliformes termotolerantes, DBO5, DQO, sólidos totales en suspensión, pH, temperatura, turbiedad).....	35
3.3. Comparación de los resultados del efluente del humedal artificial con los LMP	40
3.4. Eficiencia de remoción del humedal artificial.....	44
3.5. Contrastación de hipótesis.....	48
3.6. Discusiones.....	53
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXOS	61

Índice de tablas

Tabla 1. Características del sustrato usado en humedales artificiales	14
Tabla 2. Parámetros de diseño de humedal subsuperficial de flujo vertical.....	16
Tabla 3. Taxonomía del <i>Chrysopogon zizanioides</i>	17
Tabla 4. Fórmulas realizadas para el dimensionamiento del sistema.....	24
Tabla 5. Método de análisis	28
Tabla 6. Eficiencia de remoción a los 20 días de sembrado el <i>Chrysopogon zizanioides</i> ..	35
Tabla 7. Eficiencia de remoción a los 40 días de sembrado el <i>Chrysopogon zizanioides</i> ..	36
Tabla 8. Eficiencia de remoción a los 60 días de sembrado el <i>Chrysopogon zizanioides</i> ..	36
Tabla 9. Eficiencia de remoción a los 80 días de sembrado el <i>Chrysopogon zizanioides</i> ..	37
Tabla 10. Eficiencia de remoción a los 100 días de sembrado el <i>Chrysopogon</i> <i>zizanioides</i>	38
Tabla 11. Eficiencia de remoción a los 120 días de sembrado el <i>Chrysopogon</i> <i>zizanioides</i>	38
Tabla 12. Eficiencia de remoción a los 140 días de sembrado el <i>Chrysopogon</i> <i>zizanioides</i>	39
Tabla 13. Prueba “t” para diferencias de medias con respecto a coliformes termotolerantes.....	48
Tabla 14. Prueba “t” para diferencias de medias de sólidos totales en suspensión	49
Tabla 15. Prueba “t” para diferencias de medias de la demanda química de oxígeno	50
Tabla 16. Prueba “t” para diferencias de medias de la demanda bioquímica de oxígeno ..	51
Tabla 17. Prueba “t” para diferencias de medias de turbiedad	52

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de clasificación de humedales artificiales	10
Figura 2. Humedal artificial de flujo superficial	11
Figura 3. Humedal artificial de flujo subsuperficial.....	11
Figura 4. Sección transversal de un humedal artificial.....	12
Figura 5. Esquema en corte de un humedal de flujo vertical	13
Figura 6. Distribución del <i>Chrysopogon zizanioides</i> (pasto vetiver).....	27
Figura 7. Diseño general del humedal artificial	34
Figura 8. Comparación de los coliformes termotolerantes con los LMP	40
Figura 9. Comparación de SST con los LMP	41
Figura 10. Comparación de la DQO con los LMP	41
Figura 11. Comparación de la DBO ₅ con los LMP	42
Figura 12. Comparación de la temperatura con los LMP.....	43
Figura 13. Comparación del pH con los LMP.....	43
Figura 14. Eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes.....	44
Figura 15. Eficiencia de remoción de sólidos totales en suspensión.....	45
Figura 16. Eficiencia de remoción de DQO.	46
Figura 17. Eficiencia de remoción de DBO ₅	46
Figura 18. Eficiencia de remoción de la turbiedad.....	47
Figura 19. Prueba de hipótesis de diferencia de medias con muestras relacionadas para coliformes termotolerantes.	49
Figura 20. Prueba de hipótesis de diferencia de medias con muestras relacionadas para sólidos totales en suspensión.	50
Figura 21. Prueba de hipótesis de diferencia de medias con muestras relacionadas para DQO.....	51
Figura 22. Prueba de hipótesis de diferencia de medias con muestras relacionadas para DBO ₅	52
Figura 23. Prueba de hipótesis de diferencia de medias con muestras relacionadas para turbiedad	53

Índice de fotografías

Fotografía 1. Selección y limpieza del terreno.....	76
Fotografía 2. Nivelación de terreno.....	76
Fotografía 3. Solado de 10 cm	76
Fotografía 4. Construcción de la caja de registro.....	77
Fotografía 5. Construcción del humedal artificial.....	77
Fotografía 6. Colocación de la grava gruesa	77
Fotografía 7. Colocación de la grava fina.	78
Fotografía 8. Colocación de arena gruesa.	78
Fotografía 9. Sembrío de los esquejes de <i>Chrysopogon zizanioides</i>	78
Fotografía 10. Crecimiento del pasto vetiver al tercer mes.....	79
Fotografía 11. Pasto vetiver a los cuatro meses y 20 días de sembrado	79
Fotografía 12. Toma de muestras a la entrada del humedal artificial.	79
Fotografía 13. Toma de muestras a la salida del humedal artificial.....	80
Fotografía 14. Muestras tomadas pre-post tratamiento del humedal artificial.....	80
Fotografía 15. Medición de los parámetros en el laboratorio	80

Resumen

Las aguas residuales se han convertido en un foco principal de contaminación de fuentes de agua superficiales por el tratamiento inadecuado antes de su vertimiento, en la localidad de Habana se presenta esta problemática, la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se encuentra en estado colapsado, por lo que no es eficiente en el tratamiento, generando que el efluente contamine la fuente receptora (quebrada el Galdín). El humedal artificial subsuperficial de flujo vertical se diseñó para un caudal de $3\text{m}^3/\text{día}$, en el cual se colocó capas de sustrato de grava gruesa, grava fina y arena gruesa, en un área superficial de $3,30\text{m}^2$, dónde se realizó la distribución de los esquejes de pasto vetiver cada $0,50\text{ m}$. La caracterización del agua residual se realizó cada veinte (20) días a la entrada y salida del humedal, durante cuatro (4) meses con veinte (20) días, obteniéndose la máxima eficiencia de remoción del humedal en la séptima muestra, siendo las concentraciones en coliformes termotolerantes de $4\ 352\ \text{NMP}/100\ \text{mL}$ a $94\ \text{NMP}/100\ \text{mL}$, con $97,84\ \%$ de remoción, los sólidos totales en suspensión de $285\ \text{mL}/\text{L}$ a $56\ \text{mL}/\text{L}$, la DQO de $218\ \text{mg}/\text{L}$ a $39\ \text{mg}/\text{L}$ con $82,11\ \%$ de remoción, la DBO_5 varía de $177\ \text{mg}/\text{L}$ a $24\ \text{mg}/\text{L}$ con $86,44\ \%$ de remoción y la turbiedad de $85,54\ \text{UNT}$ a $6,38\ \text{UNT}$. Finalmente se afirma que el humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* logró disminuir significativamente los parámetros evaluados, convirtiéndose en una alternativa de solución viable por ser de bajo costo, tener alta eficiencia de remoción y por cumplir con los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de agua residual según D.S. N°003-2010-MINAN.

Palabras clave: Humedal, agua residual, remoción, DBO, DQO, Gramínea.

Abstract

Wastewater has become a major source of contamination of surface water sources due to inadequate treatment before discharge. In the village of Habana, the wastewater treatment plant (WWTP) is in a collapsed state, that makes the treatment inefficient, causing the effluent to contaminate the receiving source (the Galdín stream). The subsurface artificial wetland with vertical flow was designed for a flow of 3m³/day, in which layers of substrate of coarse gravel, fine gravel and coarse sand were placed in a surface area of 3.30m², where vetiver grass cuttings were distributed every 0.50m. The characterization of the wastewater was performed every twenty (20) days at the inlet and outlet of the wetland, during four (4) months with twenty (20) days, obtaining the maximum removal efficiency of the wetland in the seventh sample, being the concentrations in thermotolerant coliforms from 4 352 NMP/100 mL to 94 NMP/100 mL, with 97.84 % removal, total suspended solids from 285 mL/L to 56 mL/L, COD from 218 mg/L to 39 mg/L with 82.11 % removal, BOD₅ varied from 177 mg/L to 24 mg/L with 86.44 % removal and turbidity from 85.54 UNT to 6.38 UNT. Finally, it is affirmed that the artificial wetland with *Chrysopogon zizanioides* significantly reduced the parameters evaluated, making it a viable alternative solution because of its low cost, high removal efficiency and that it complies with the maximum permissible limits for effluents from wastewater treatment plants according to D.S. N° 003-2010-MINAM.

Key words: Wetland, wastewater, removal, BOD, COD, Graminea.



Introducción

Las aguas residuales domésticas son aquellos desechos líquidos cuyas características originales han sido modificadas por las actividades humanas y que por su elevada contaminación requieren de un tratamiento previo, antes de ser vertidas a un cuerpo receptor. El tratamiento de estas aguas residuales, constituye un factor importante en la protección de la salud pública y del medio ambiente.

Esta problemática se observa en la localidad de Habana, donde cuenta con servicios de agua y saneamiento que funcionan con dificultades. Estos afluentes residuales pasan por una planta de tratamiento, cuyos componentes son rejillas, tanque Imhoff y filtros, que se encuentran colapsados por la falta de operación y mantenimiento, ocasionando así el rebose de estas aguas y su infiltración en el subsuelo, además contaminan la fuente receptora producto del efluente que produce esta planta de tratamiento. Con la problemática descrita anteriormente se formula la siguiente interrogante: ¿Cuál es la eficiencia del humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver), para la remoción de aguas residuales domésticas en el distrito de Habana?

La investigación tuvo como objetivo general: Determinar la eficiencia del humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver) para la remoción de las aguas residuales domésticas en Habana y como objetivos específicos: Diseñar un humedal artificial subsuperficial de flujo vertical con *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver) en Habana, determinar los parámetros físico, químico y biológico del agua residual (coliformes termotolerantes, DBO₅, DQO, sólidos totales en suspensión, pH, temperatura, turbiedad), del afluente y efluente del humedal artificial, comparar los valores del humedal artificial con los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales y determinación de la eficiencia de remoción del humedal artificial.

Para la investigación se consideró como variable independiente al humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides*, como variable dependiente la remoción de aguas residuales domésticas y como hipótesis de investigación se consideró que el humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* es eficiente en la remoción de las aguas residuales domésticas en el distrito de Habana-Moyobamba. Con la investigación se pretendió aprovechar la especie *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver), mediante humedal artificial, para reducir la contaminación de las aguas residuales generadas en la localidad de Habana, las cuales no

tienen un adecuado tratamiento, considerando que esta especie tiene un gran volumen de raíces, su crecimiento es rápido y para su reproducción no requiere muchas exigencias.

Dentro del estudio de investigación, utilizando el humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver) como tecnología de tratamiento del agua residual provenientes de la localidad de Habana, se logró remociones significativas de las concentraciones de los contaminantes, valores que están dentro de los límites máximos permisibles (LMP). El desarrollo de la investigación se realizó en épocas de lluvias, generando variaciones en los resultados de las muestras, debido a que los contaminantes se diluían, disminuyendo su concentración.

El presente informe de investigación contiene tres capítulos, cada uno de los cuales está desarrollado de la siguiente manera:

Capítulo I: Contiene los antecedentes internacionales, nacionales, locales y el marco teórico de la investigación.

Capítulo II: Contiene los materiales y métodos empleados en el proceso de la investigación.

Capítulo III: Contiene los resultados obtenidos durante toda la investigación, interpretación y la discusión de los resultados.

Finalmente se presentan las conclusiones obtenidas de la investigación, recomendaciones y anexos donde contiene el panel fotográfico del desarrollo de toda la investigación y los resultados obtenidos de los análisis de las muestras de agua residual.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación

Cueva y Rivadeneira, (2013) en su investigación; concluyó: Que las concentraciones de los contaminantes del agua residual de la hacienda Zoila Luz antes de ser tratadas superaban los límites permitidos por los organismos de control para la descarga de agua residual a un cuerpo de agua dulce, las mismas que al ser vertidas de manera directa contaminaron de forma indiscriminada el recurso agua, suelo y afectó la flora y fauna del sitio. El agua residual de la hacienda. Zoila Luz luego de ser tratada en los humedales artificiales tiene niveles inferiores de contaminantes a los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce y puede ser considerada agua para uso agrícola clase III según los parámetros DQO, aluminio, nitrógeno total, fósforo total, sólidos totales, exceptuando los niveles de DBO₅ y coliformes totales que superan estos límites.

Ramírez, (2015) en su investigación concluyó: Que la eficiencia de remoción de S.S.T. más alto lo presentó el papiro japonés, con una concentración de sólidos suspendidos totales remanentes en el efluente con una eficiencia de remoción de 95,52 %, seguido por la elefanta con una eficiencia de remoción de 94,76 %, el blanco (-) del 91,87 % y por último el vetiver con una eficiencia de remoción de 91,65 %. La remoción promedio de DBO más alta lo presentó la elefanta, con una eficiencia de remoción de 74,12 %, seguido por el papiro japonés con una eficiencia de remoción de 67,69 %, el vetiver con una eficiencia de remoción de 57,41 % y por último el blanco (-) con una eficiencia de remoción de 30,34 %. La DQO en el efluente en general para todos los sistemas pilotos disminuyó en gran cantidad, tal que para cada uno se puede estimar la alta tasa de eficiencia de remoción la cual fue superior al 60 % en el caso de los sistemas pilotos que contenían plantas. El valor promedio de DQO más bajo lo presentó la elefanta con una eficiencia de remoción de 77;92 %, seguido por el papiro japonés con una eficiencia de remoción de 73;82 %, el vetiver con una eficiencia de remoción de 65;61 % y por último el blanco (-) con una eficiencia de remoción de 30;27 %.

Gómez, (2017) en su investigación; concluyó: El resultado de las mediciones de temperatura y pH son valores aceptables para el desarrollo de microorganismos y tolerables para el crecimiento de ambas plantas. Así mismo ambos humedales

demonstraron buena eficiencia de remoción de parámetros fisicoquímicos con relación a los reportes citados en la revisión bibliográfica, tales como Turbiedad (99.4-99.0%); Nitrógeno amoniacal (98-93%), Fósforo total (91-89%); Demanda bioquímica de oxígeno (98-96%); Demanda química de oxígeno (92-90%); Sólidos suspendidos totales (88-85%); Coliformes fecales (99-91%); no obstante en Nitrógeno total fue 48-56%, representando una baja eficiencia, para humedales con *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* respectivamente.

Díaz (2014), en la investigación sobre el tratamiento de agua residual a través de humedales, en donde analizando las condiciones de carga hidráulica, tiempo de retención, cargas de DBO y DQO, e igualmente las remociones promedio como resultado de la actividad físico-química de la vegetación, el medio poroso y la actividad biológica. Presentando los humedales como una opción viable para el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas, reduciendo los efectos adversos de los vertimientos sobre los medios receptores.

Montalván y López, (2017) en su investigación; concluyeron: Los resultados obtenidos del efluente durante el primer mes y medio de investigación, no cumplieron con los Límites Máximos Permisibles, caso contrario ocurrió en el segundo mes de investigación ya que la remoción de contaminantes del efluente cumplió con todos los parámetros establecidos; estos resultados nos demuestran la efectividad de los humedales construidos como tratamiento de aguas residuales domésticas y confirman el importante rol que cumple la vegetación de *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora). Al tercer mes de caracterizadas obtuvieron una eficiencia de remoción en: coliformes termotolerantes de 82,54 %, sólidos totales en suspensión de 90,47 %, DQO de 64,98 % y DBO₅ de 66,96 %, en resumen, se puede decir que alcanzó una eficiencia del 64 % al 90 % en todos sus parámetros caracterizados.

Medina y López, (2015) en su investigación; concluyeron : Los análisis obtenidos para las aguas residuales domésticas provenientes del sector cruce de Uchuglla, los afluentes tienen una temperatura que oscila entre 22 y 23 °C, la turbiedad del agua residual domestica varía entre 65 y 88 UTN, dependiendo la cantidad de descarga de aguas residuales domésticas la DBO varía entre 218 y 248 mg/L, en cuanto a los coliformes fecales los valores están entre 5745 y 5617 UFC/100 mL y para los Sólidos Totales en Suspensión los valores oscilan entre 185 y 215 mg/L. Los efluentes que salen del

humedal artificial tienen una temperatura que oscila entre 22 y 23 °C, la turbiedad del agua residual doméstica tratada varía entre 4.5 y 15 UTN, la DBO₅ varía entre 161 y 97 mg/L, en cuanto a los coliformes fecales los valores están entre 1995 y 3541 UFC/100 ml y para los sólidos totales en suspensión los valores oscilan entre 23 y 45 mg/L.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Agua residual

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos, (Espigares y Pérez, 1985).

Clasificación de aguas residuales

Clasificación de las aguas residuales.

- **Agua residual doméstica**

Son las aguas residuales producidas por el consumo de agua potable: lavado de platos, duchas, lavatorios, servicios sanitarios y similares. Su calidad es muy uniforme y conocida y varía un poco con respecto al nivel socioeconómico y cultural de las poblaciones, (Espigares y Pérez, 1985).

- **Agua residual industrial**

Son las aguas que han sido utilizadas en procesos industriales y que han recibido subproductos contaminantes como efecto de ese uso. Su calidad es sumamente variable y prácticamente se requiere un estudio particular para cada industria, (Espigares y Pérez, 1985).

- **Agua residual urbana**

Las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Todas ellas habitualmente se recogen en un sistema colector y son enviadas a una planta de tratamiento de agua residual, (Espigares y Pérez, 1985).

Propiedades de las aguas residuales

A continuación, se detallan las propiedades de las aguas residuales.

- **Caudal**

El volumen del afluente por unidad de tiempo, es un dato fundamental para diseñar y proyectar un sistema de tratamiento de aguas residuales tanto domésticas como industriales. Por lo tanto, existen varios factores que orientan y condicionan el caudal como son el nivel de vida de la población, los hábitos de uso de agua, caudal de agua potable que recibe la población, las pérdidas que existen tanto en la red de agua potable como en los colectores de aguas residuales y las variaciones del caudal a lo largo del día y de noche. (Seoáñez, 1999).

- **Propiedades físicas**

Estas propiedades son adquiridas según el contenido total de sólidos flotantes, sustancias coloidales y productos disueltos. Entre los cuales se tiene: los sólidos, el color de los efluentes, la temperatura, olor y contenido de sales, (Seoáñez, 1999).

- **Propiedades químicas**

Están representadas por la materia orgánica, nitrógeno orgánico, fosforo, elementos pesados y trazas, zinc, cobre, níquel y el boro, (Seoáñez, 1999).

- **Propiedades biológicas**

El componente biológico de las aguas residuales es de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, y por el papel activo de las bacterias y de otros microorganismos como hongos, algas, protozoos, virus, plantas y animales dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica en plantas de tratamiento de aguas residuales, como son: Las bacterias, parásitos, nutrientes orgánicos, organismos coliformes y los virus, (Seoáñez, 1999).

Tratamiento de aguas residuales domésticas

Para el tratamiento de las aguas residuales existen diversos procesos y operaciones unitarias, que, con una adecuada selección y combinación, pueden resolver la mayoría

de las necesidades de disposición final o reaprovechamiento de los vertimientos. En términos generales existen procesos fisicoquímicos y procesos biológicos. Los procesos fisicoquímicos hacen uso de las diferencias en ciertas propiedades entre el contaminante y el agua (sedimentación y flotación) o mediante la adición de reactivos empleados para variar la forma del contaminante buscando condiciones de separación del líquido. Los procesos biológicos utilizan microorganismos que se alimentan de la materia orgánica contaminante y con ellos la eliminan del agua en forma de nuevas células o de gases, (Crites y Tchobanoglous, 2000).

El tratamiento de aguas residuales para depuración se lo realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales: recogida, tratamiento y evacuación al lugar de restitución, (Fernández et al., 2004).

De acuerdo a (Crites y Tchobanoglous, 2000), considera que los tratamientos de aguas residuales se clasifican en:

- **Pre tratamiento**

Tiene por finalidad la retención y eliminación de los sólidos de gran volumen por medio del cribado y la sedimentación, también grasas y aceites por medio de la flotación. Para cumplir con estos objetivos se utilizan las siguientes unidades de tratamiento: Cámara de rejas, cribas o mallas, desarenadores, desmenuzadores y desengrasadores.

- **Tratamiento primario**

Es aquel en el que se logra una eliminación de una parte de sólido suspendidos y flotantes por medio físicos y químicos si fuesen necesarios. Los procesos que se dan son: sedimentación de sólidos suspendidos, floculación de sólidos coloidales con coagulantes químicos seguida de sedimentación, precipitación de sólidos disueltos por medio de agentes químicos. Para desarrollar estos procesos se emplean las siguientes unidades: Tanques sedimentadores, tanques sépticos, tanques Imhoff, lagunas de estabilización de fase anaeróbica.

- **Tratamiento secundario**

Es aquel en el que se suministran medios para satisfacer la demanda de oxígeno y vienen en general precedidos de uno o más tratamientos primarios. Se utilizan

procesos biológicos. Este nivel de tratamiento se clasifica principalmente en aerobios y anaerobios según el proceso de degradación de la materia orgánica, pudiendo existir algunos procesos que agrupan a ambos y que se desarrollen simultáneamente recibiendo el nombre de facultativos. Dependiendo al tipo de proceso estos pueden emplear las siguientes unidades de tratamiento:

- Los procesos netamente aerobios son la filtración biológica y los lodos activados que comprende como variantes la aireación extendida y las zanjas de oxidación.
- El proceso anaeróbico, utiliza Reactores Anaeróbicos de flujo Ascendente.
- Las lagunas de estabilización pueden tener variantes, pudiendo clasificarse en aerobias, anaerobias y facultativas.
- Los humedales artificiales también están incluidos en este nivel de tratamiento ya que según el tipo de flujo y sustrato presentan medios anaeróbicos o aeróbicos.

- **Tratamiento avanzado**

Se puede incluir un proceso de desinfección para la eliminación de organismos patógenos realizando la cloración del efluente de la planta de tratamiento. Los procesos complementarios agrupan diversos métodos para el tratamiento de la materia sedimentada conocida como “lodo”: Digestores, canchas de secado e incineradores.

1.2.2. Humedales.

Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas, (Ramsar, 2006).

Los humedales construidos son sistemas de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (de menos de 1 m) plantados con vegetales propios de las zonas húmedas y en los que los procesos de descontaminación tienen lugar mediante las interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación e incluso la fauna. Los humedales construidos también se denominan humedales artificiales, (García y Corzo, 2008).

Los humedales artificiales.

El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente, (Delgadillo et al., 2010).

El tratamiento de aguas residuales para depuración se lo realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales: recogida, tratamiento y evacuación al lugar de restitución, (Fernández et al., 2004).

De acuerdo a (García et al., 2004), los humedales construidos se han utilizado para tratar una amplia gama de aguas residuales. Aguas domésticas y urbanas, Aguas industriales, incluyendo fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros, Aguas de drenaje de extracciones mineras, Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana.

Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales, mediante deposición superficial en humedales de flujo subsuperficial donde se deshidratan y mineralizan.

Clasificación de los humedales artificiales.

Los humedales artificiales pueden ser clasificados según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: Macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres, (Delgadillo et al., 2008).

De acuerdo a (Delgadillo et al., 2008), considerando la forma de vida de estas macrófitas, los humedales artificiales pueden ser clasificados en:

- **Sistemas de tratamiento basados en macrófitas de hojas flotantes**

Principalmente angiospermas sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos. El Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp.*) son las especies más utilizadas para este sistema.

- **Sistemas de tratamiento basados en macrófitas sumergidas**

Comprenden algunos helechos, numerosos musgos, macrófitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (a la cual llega la luz solar),

aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos.

- **Sistemas de tratamiento basados en macrófitas enraizadas emergentes**

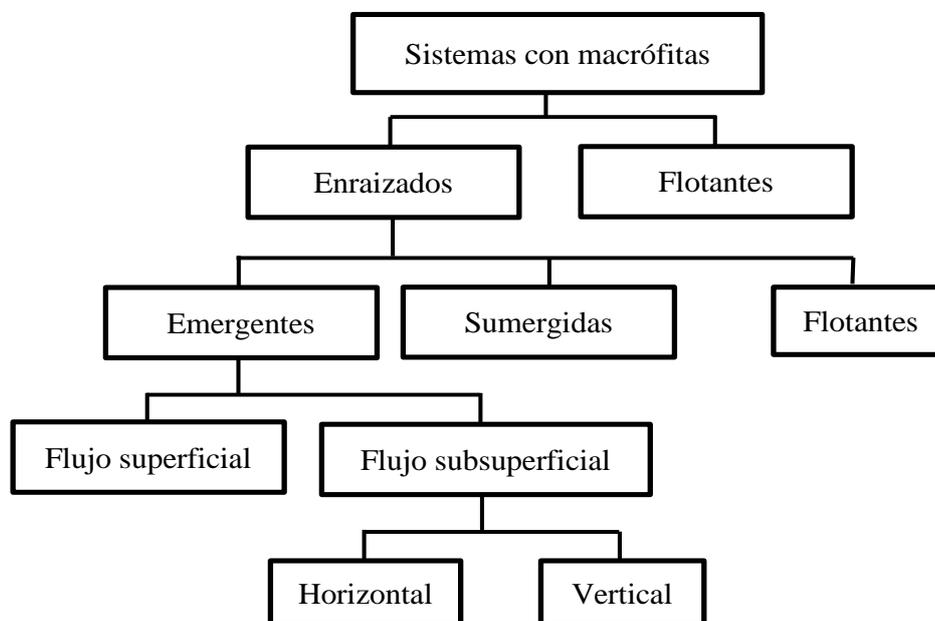


Figura 1. Esquema de clasificación de humedales artificiales, fuente: (Delgadillo et al., 2010)

Atendiendo el tipo de circulación del agua, los humedales construidos se clasifican en flujo superficial o en flujo subsuperficial.

- **Humedales artificiales de flujo superficial (FWS)**

Los sistemas de flujo superficial son aquellos donde el agua circula preferentemente a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmósfera, (Delgadillo et al., 2010).

En los sistemas de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos y hojas de las plantas. Estos tipos de humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje natural con una profundidad de la lámina de agua entre 0,3 y 0,4 m, y con plantas. Se suelen aplicar para mejorar la calidad de efluentes que ya han sido previamente tratados en una depuradora, García y Corzo, 2008).

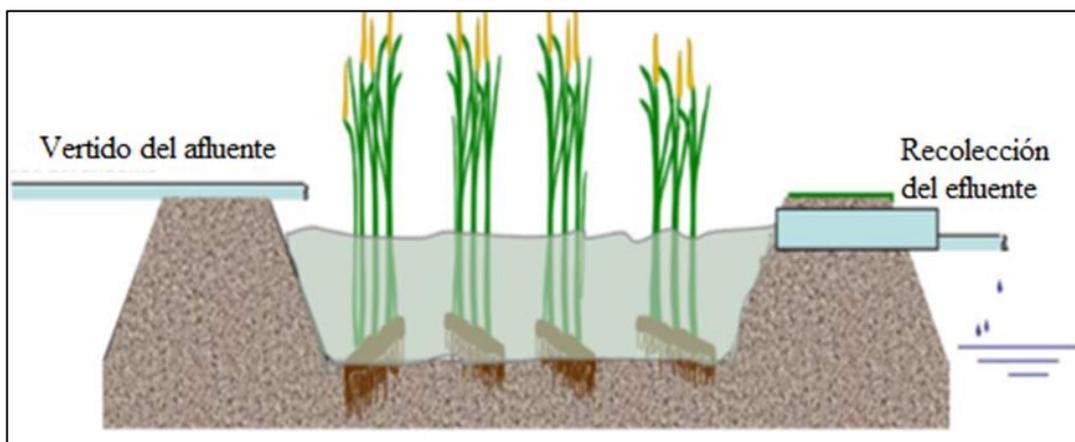


Figura 2. Humedal artificial de flujo superficial, fuente: (García y Corzo, 2008)

- **Humedales de flujo subsuperficial (SSF)**

Los sistemas de flujo subsuperficial se caracterizan por que la circulación del agua en los mismos se realiza a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0,6 m. La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas. Los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos: en función de la forma de aplicación de agua al sistema: humedales de flujo subsuperficial horizontal y humedales de flujo subsuperficial vertical, (Delgadillo et al., 2010).

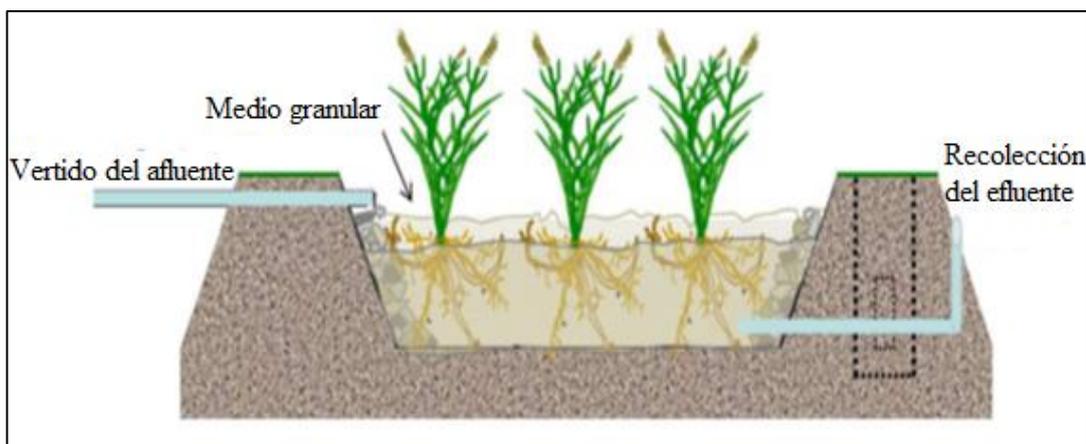


Figura 3. Humedal artificial de flujo subsuperficial, fuente: (García y Corzo, 2008)

Los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos en función de la forma de aplicación de agua al sistema:

- Humedales SSF de flujo horizontal.
- Humedales SSF de flujo vertical.

- **Humedales SSF de flujo horizontal**

En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad del agua es de entre 0,3 y 0,9 m. Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie) y con cargas de alrededor de 6 g DBO/m² x día. (García y Corzo, 2008).

Según (García y Corzo, 2008), los humedales horizontales están compuestos por los siguientes elementos:

- Estructuras de entrada del afluente.
- Impermeabilización del fondo y laterales ya sea con láminas sintéticas o arcilla compactada.
- Medio granular.
- Vegetación emergente típica de zonas húmedas.
- Estructuras de salida regulables para controlar el nivel del agua.

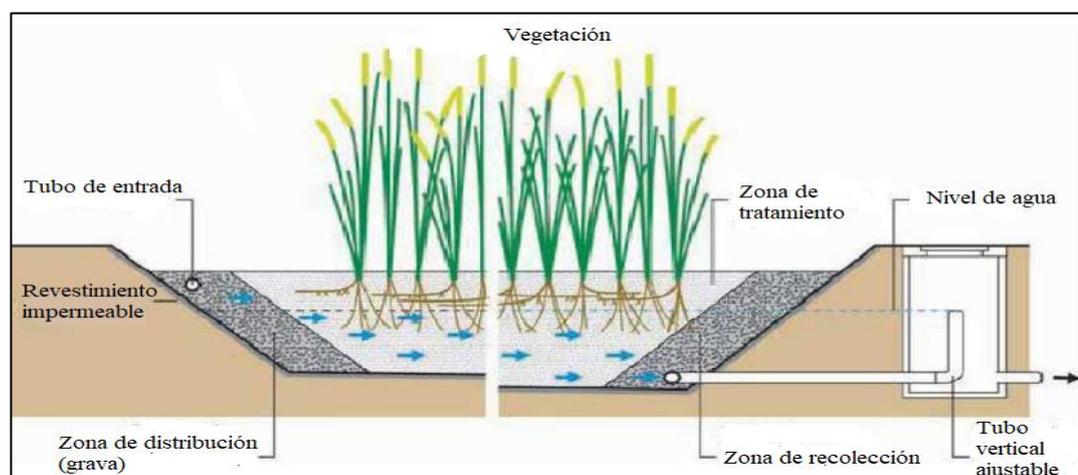


Figura 4. Sección transversal de un humedal artificial, fuente: (Morel y Diener, 2006)

- **Humedales SSF de flujo Vertical**

Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados, (Cooper, 2005).

En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que se sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno, (García y Corzo, 2008).

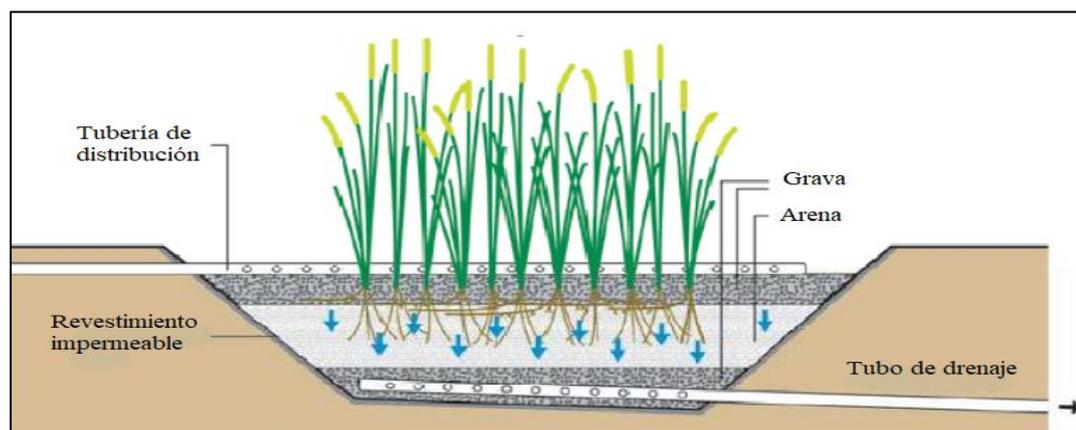


Figura 5. Esquema en corte de un humedal de flujo vertical, fuente: (Morel y Diener, 2006)

La circulación del agua es de tipo vertical y tiene lugar a pulsos, de manera que el medio granular no está permanentemente inundado. La profundidad del medio granular es de entre 0,5 y 0,8 m. Operan con cargas de alrededor de 20 g DBO/m² x día. (García y Corzo, 2008).

Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales (requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica). Por otra parte, son más susceptibles a la colmatación, (García y Corzo, 2008).

1.2.3. Diseño del humedal artificial subsuperficial de flujo vertical

Según (Delgadillo et al., 2010), para el diseño de humedales artificiales subsuperficiales los pasos a seguir son:

- Cálculo del área superficial.
- Profundidad del humedal.
- Pendiente.
- Sustrato.
- Relación largo-ancho.

• Cálculo del área superficial

El cálculo del área superficial se determina en función al parámetro que se desea remover, por lo general todo diseño de estructuras hidráulicas se realiza para reducir la DBO₅.

El área superficial se calcula a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 1: Determinación del área superficial

$$AS = \frac{Q * \ln(Co/C)}{Kt * h * n}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño del humedal (m³/día).

C = Concentración efluente (mg/L).

Co = Concentración afluente (mg/L).

Kt = Constante de reacción de primer orden.

h = Profundidad del humedal (m).

n = Porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción).

La constante de reacción de primer orden se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 2: Constante de reacción de primer orden

$$Kt = K20 * 1,06^{T2-20}$$

Donde:

K20 = Constante de temperatura a 20°C, 1,104 d-1 para aguas residuales municipales.

T = Temperatura de operación del sistema, °C.

Tabla 1

Características del sustrato usado en humedales artificiales

Tipo de material	Tamaño efectivo D(mm)	Conductividad hidráulica, ks (m3/mm2/d)	Porosidad, n %
Arena gruesa	2	100-1,000	28 – 32
Arena gravosa	8	500-5,000	30 – 35
Grava fina	16	1 000-10 000	35 – 38
Grava gruesa	32	10 000 – 50 000	36 – 40
Roca gruesa	128	50 000 – 250 000	38 - 45

Fuente: (Delgadillo et al., 2010).

- **Profundidad del humedal artificial**

La profundidad del humedal suele ser de unos 60 a 80 cm. El agua fluirá a través del medio poroso y se recogerá en una red de tuberías de drenaje situada en el fondo del lecho. (Delgadillo et al., 2010).

- **Pendiente**

La pendiente de la superficie del humedal es plana (0%), este debe ser realizado con mucho cuidado para evitar que se formen charcos de agua sobre la superficie.

La pendiente del fondo o lecho del humedal varía de 0.5 a 2% pero generalmente se utiliza una pendiente ligera del 1%. (Delgadillo et al., 2010).

- **Sustrato**

El sustrato puede estar conformado por arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumula en el humedal. Su característica principal es tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso de agua a través de él. Lo que obliga a utilizar materiales de tipo granular, principalmente la grava con un diámetro de aproximadamente 5 mm y poros finos.

Según (Delgadillo et al., 2010). Entre sus funciones más importantes se presentan:

- Actúan como barrera primaria de filtración.
- Sirve como soporte para el crecimiento de la vegetación y colonias microorganismos (biopelícula) que biodegradan la materia orgánica.
- Ayuda a eliminar ciertas sustancias mediante interacciones físicas y químicas.
- Influye en el movimiento del afluente a través del humedal por su permeabilidad.

- **Tiempo de retención hidráulico**

Ecuación 3: Tiempo de retención hidráulico

$$TRH = \frac{As * h * n}{Q}$$

- **Relación Largo – Ancho**

Se recomienda relación largo - ancho de: 2 a 1, 3 a 1 y 4 a 1 (Delgadillo et al., 2010).

Ecuación 4: Determinación del largo del humedal artificial.

$$L = 3W$$

Ecuación 5: Determinación del ancho del humedal artificial

$$W = \sqrt{\frac{As}{3}}$$

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los principales parámetros de diseño de los humedales de flujo sub superficial de flujo vertical

Tabla 2

Parámetros de diseño de humedal subsuperficial de flujo vertical

Factor	Unidad	Intervalo	Valor Usual
Medio filtrante			
Arena fina lavada(secundario)	Mm	0.25 - 0.75	0.35
Grava fina (primario)	Mm	2.00 - 8.00	2 - 5 mm
Profundidad	Cm	45 - 90	60
Coefficiente de uniformidad	%	3 - 6	<4
porcentajes finos	%	2 - 5	<4
Drenaje			
Clase (tubería perforada)			
Tamaño	Pulg	3 - 4	4
Pendiente	%	0.1 - 1	0.5
Grava de drenaje	Mm	20 - 40	40
Distribución agua			
Diámetro de tubería	Pulg	1 - 2	1.5
Distancia entre tuberías	M	0.5 - 1.2	0.6
Orificio distribución	Mm	3 - 8	6
Distancia entre orificios	M	0.5 - 1.2	0.6
Parámetros de diseño			
Carga hidráulica	l/m ² * d	40 - 60	50 < 0.005
Carga orgánica	kg DBO/m ² *d	0.0025 - 0.01	
Dosificación			
Frecuencia	veces/d	4 - 24	12
Volumen/orificio	l/orif*dosis	0.6 - 1.1	0.9
Tiempo de aplicación	Minutos	2 - 15	5

Fuente: (Delgadillo et al., 2010).

1.2.4. La planta de vetiver

La planta vetiver *Chrysopogon zizanioides*, es caracterizada por atributos morfológicos únicos por lo que es una planta herbácea, gramínea, perenne que se desarrolla en grandes macollos a partir de una masa radicular muy ramificada y esponjosa por lo que no tiene rizomas ni estolones por lo que no son invasivas. Son estériles por lo que la manera más usual de propagar la planta es separando brotes maduros de la macolla de vetiver, obteniendo hijos o también llamados “esquejes”, a raíz desnuda para ser plantados de forma inmediata en el campo o en contenedores, desarrollando tallos bien erguidos y rectos de 0,5 a 1,5 m. (Orihuela, 2007).

- **Origen**

El Vetiver es una planta cuyo origen se localiza en las planicies inundables del norte de la India, Bangla Desh y Birmania. Se han reconocido dos cultivares principales: el silvestre, el del norte de la India, que florece y produce semillas, viables cuando se encuentra en su hábitad natural, que se corresponde con zonas pantanosas y riveras de los cursos de agua; y el domesticado, del Sur de la India, que ha sido seleccionado para la producción de aceite y aunque florece, su semilla no es viable. Este último es el que se ha difundido por todo el mundo tropical y subtropical (Rodríguez, 1997)

- **Taxonomía**

En el trabajo realizado por (Detrinidad y Carballo, 2003), se menciona que de las diez especies de gramíneas ordinarias y perennes que se encuentran en las regiones tropicales del viejo mundo y que pertenecen a la familia Poaceae, la *Chrysopogon zizanioides* ha demostrado ser ideal para la fitorremediación del agua y suelo.

Tabla 3.

Taxonomía del *Chrysopogon zizanioides*

Reino	: Vegetal
Clase	: Angiosperma
Subclase	: Monocotiledónea
Familia	: Gramínea
Género	: <i>Chrysopogon</i>
Especie	: <i>Zizanioides</i>
Nombre científico	: <i>Chrysopogon zizanioides</i>
Nombre común	: Vetiver
Origen	: Sur de la india

Fuente: (Detrinidad y Carballo, 2003)

- **Botánica**

La inflorescencia de *Chrysopogon zizanioides* está formada por numerosos racimos delgados y verticilados en un eje largo. La panícula crece entre 15 y 40 cm de largo y es de color rosado púrpura. Es una planta perenne cuyo hábito de crecimiento es en forma de macollas erectas con un porte de 150 a 200 cm de altura. Sus raíces son fibrosas, de aspecto esponjoso y masivo, las mismas pueden alcanzar más de tres metros de profundidad. Las cañas tienen entre 0.5 y 1.5m de altura, son fuertes y lignificadas formando una especie de empalizada impenetrable que lo hace especialmente apto como barrera viva. Sus hojas promedian unos 75 cm. de largo y de 0.5 a 1 cm de ancho, de color verde oscuro y brillante, siendo suaves hacia las puntas, pero firmes y fuertes hacia su base. Se propaga por división de raíces, esquejes, vástagos o renuevos. (Rodríguez, 1997).

En medio acuático, las raíces se desarrollan menos, pero aún presentan una masa densa de raíces finas con un diámetro promedio de 0,5-1 mm. La rizosfera ofrece de esta manera una superficie específica (m^2/m^3) grande para el establecimiento de una masa microbiana activa (Wildschut, 2013). El vetiver como especie propia de pantano muestra un elevado nivel de evapotranspiración que puede llegar a 30 mm/día y además un umbral de salinidad de 8 dS/m. (Truong, 1999)

- **Cultivo**

La forma más sencilla de propagar el Vetiver es mediante la separación de vástagos o renuevos (hijos) de macollas previamente extraídas del terreno. Las raíces son cortadas entre 5 y 10 cm de largo y las hojas entre 15 y 20 cm.

Los renuevos son separados en grupos o cepas de dos o tres hijos si existe material suficiente. En Tailandia, se ha demostrado que la inmersión en agua antes de la siembra favorece el enraizamiento y mejora las posibilidades de sobrevivencia de las plantas o también se puede dar el caso en mantener la humedad de los macollos o cepas para conservarlos mejor. (Rodríguez, 1997).

1.2.5. Normativa peruana

Ley N°28611, ley general del ambiente

- **Artículo 32.** Del límite máximo permisible (LMP)

El límite máximo permisible (LMP), es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos, (ver anexo B).

El Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes.

Ley N°29338, ley de recursos hídricos

- **Artículo 83°.** Prohibición de vertimiento de algunas sustancias

Está prohibido verter sustancias contaminantes y residuos de cualquier tipo en el agua y en los bienes asociados a ésta, que representen riesgos significativos según los criterios de toxicidad, persistencia o bioacumulación. La Autoridad Ambiental respectiva, en coordinación con la Autoridad Nacional, establece los criterios y la relación de sustancias prohibidas.

1.3. Definición de términos básicos

Afluente: Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento. (RNE, 2010).

Análisis: El examen de una sustancia para identificar sus componentes. (RNE, 2010).

Coliformes termotolerante: Son bacilo gam-negativos, aerobios y facultativos anaerobios, no formadores de esporas. Grupo coli-aerogenes, incluye los géneros *Escherichia*, especie *E. coli*, como la población de bacterias coliformes más representativas de contaminación fecal, (Romero, 2013).

Color: El color en aguas residuales industriales puede indicar el origen de la polución, así como el buen estado o deterioro de los procesos de tratamiento, (Romero, 2013).

DBO₅: La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias, (Romero, 2013).

DQO: Se basa en la oxidación química de todos los carbonos orgánicos mediante oxidación con ácido dicromático o, en algunos países, una oxidación con permanganato de los compuestos orgánicos, (Russel, 2012).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C), (RNE, 2010).

Deshidratación de lodos: Proceso de remoción del agua contenida en los lodos, (RNE, 2010).

Efluente: Líquido que sale de un proceso de tratamiento, (RNE, 2010).

Eficiencia del tratamiento: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje, (RNE, 2010).

Excretas: Son las que contienen los residuos sólidos y líquidos que constituyen las heces humanas fundamentalmente, se componen normalmente de agua, celulosa, lípidos, proteínas y materia orgánica en general, (Seoáñez, 1999).

Fitodepuración: Depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (macrófitas) en los humedales o sistemas acuáticos, ya sean estos naturales o artificiales, (Fernández et al., 2004).

Macrófitas: Abarca a las plantas acuáticas visibles a simple vista, incluye plantas acuáticas vasculares, musgos, algas y helechos, (Fernández et al., 2004).

Muestreo: Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar, (RNE, 2010).

Olor: Las aguas residuales frescas tienen un olor característico desagradable, mientras que las aguas residuales sépticas tienen un olor muy ofensivo, generalmente producido

por el H₂S provenientes de la descomposición anaerobia de los sulfuros y sulfatos, (Romero, 2013).

Oxígeno Disuelto: Es el más importante, y es un gas que va siendo consumido por la actividad química y biológica. El oxígeno disuelto depende de muchos factores, como temperatura, altitud, movimientos del curso receptor, actividad biológica, actividad química y biológica, (Seoáñez, 1999).

pH: Medida de la concentración de ion hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de hidrógeno. Aguas residuales en condiciones adversa de ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos, (Romero, 2013).

Parámetro: Cualquier elemento o sustancia química del suelo que define su calidad y que se encuentra regulado por el presente D.S. N° 031-2010-SA. (RNE, 2010).

Sustrato (medio granular): En los humedales, el sustrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico, (Delgadillo et al., 2010).

Temperatura: Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como el método de disposición final, (Romero, 2013).

Turbidez: Se define a la turbidez de una muestra de agua, como una medida de la pérdida de su transparencia, ocasionada por el material particulado o en suspensión que arrastra la corriente de agua, (Cárdenas, 2005).

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales

2.1.1. Materiales para construcción del humedal artificial

- 260 ladrillos pandereta de 24 x 13 x 9 cm.
- 4 bolsas de cemento portland.
- ½ metro cúbico de hormigón, para el solado (e = 10 cm) y para la construcción de la caja de registro.
- 1 metro cúbico de arena para el mortero y tarrajeo de las paredes del humedal artificial.
- 2 bolsas de Aditivo impermeabilizante SIKA tipo I.
- 1 tubería PVC SAP Ø 1", utilizada para conducir el agua residual desde el colector hasta la caja de reunión, 5 tuberías de PVC SAL Ø 2" se instaló para el sistema de distribución, recolección y ventilación del humedal artificial.
- Válvula esférica PVC 1" c/rosca, para regular el caudal de ingreso al humedal artificial.
- Accesorios de tubería (2 Tees PVC Ø 2", 9 Codos PVC Ø 2"x90°, 2 adaptadores Ø 1", 2 Sombreros de ventilación).
- Pegamento para PVC.

2.1.2. Materiales para el medio filtrante

- 0,66 m³ de grava gruesa de Ø 32 mm.
- 0,66 m³ de grava fina de Ø 16 mm.
- 0,82 m³ de arena gruesa de Ø 2mm.
- Así mismo se procedió a sembrar esquejes de pasto vetiver.

2.1.3. Materiales para recolección de muestra

- 4 botellas de 300 ml para la recolección de las muestras.
- 6 hielos en gel, para mantener a temperatura ambiente las muestras.
- 1 cooler, para su traslado al laboratorio.

- Libreta de campo, para registrar datos obtenidos en el lugar.

Además, se utilizó implementos de protección personal como:

- Bata blanca, guantes quirúrgicos y mascarillas.

2.1.4. Materiales para el trabajo en gabinete

- Laptop.
- Memoria USB 16 Gb.

2.1.5. Equipos y reactivos para la caracterización de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua residual

- **Equipos**

- Incubadora de DBO₅ ILW 115 STD marca POL-EKO-APARATURA.
- Medidor de oxígeno disuelto HI 98193 marca HANNA.
- Colorímetro DR 900 marca HACH.
- Turbidímetro 1100 IR marca TURBIQUANT.
- pH-metro pHTestr 20 marca WATERPROOF.
- Medidor de sólidos disueltos DiST 1 marca HANNA.

- **Reactivos**

- Sobres de tampón de nutrientes de 1 mL marca HACH.
- Solución estándar para DQO (NIST), 200 ml marca HACH.

2.2. Métodos

2.2.1. Para el diseño del humedal artificial subsuperficial de flujo vertical a escala

- **Selección de área**

Para la instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)-Habana, el área de trabajo fue de 40 m².

Tabla 4*Fórmulas realizadas para el dimensionamiento del sistema*

Dimensión	Formula/Parámetro	Unidad
Caudal de ingreso	(Q_e)	L/seg.
Constante de temperatura	$K_t = K_{20} * 1,06^{T^2 - 20}$	---
Área superficial	$A_s = \frac{Q * \ln(C_o/C)}{K_t * h * n}$	m ²
Relación largo-ancho	$L = 3W$	M
Tiempo de retención hidráulica	$TRH = \frac{A_s * h * n}{Q}$	Horas

Nota: Recopilación de fórmulas para el diseño de humedal artificial subsuperficial de flujo vertical, fuente: (Delgadillo et. al, 2010).

- **Dimensionamiento del humedal artificial**

Se empleó fórmulas de cálculos matemáticos, tal y como se ha mencionado anteriormente, teniendo en cuenta el análisis preliminar de la DBO₅ y la temperatura.

- **Diseño del humedal**

Realizado los cálculos matemáticos, se procedió a dibujar en el software AutoCAD, con la finalidad de facilitar mejor la construcción y tener una perspectiva en campo al momento de su construcción.

- **Construcción del humedal artificial**

Con los datos obtenidos en el diseño hidráulico y el plano en AutoCAD, se procedió con la construcción del humedal artificial, que consistió en lo siguiente pasos:

- Limpieza y acondicionamiento del terreno.

- Se procedió a excavar el terreno para su nivelación en un área de 5 m² y una profundidad de 0,90 m para la construcción del humedal artificial, además se realizó excavaciones para la construcción de la caja de reunión y la instalación de la tubería de alimentación.
- Se procedió a preparar el concreto simple $f_c = 140 \text{ kg/cm}^2$ (cemento portland, hormigón y arena), para el solado de 10 cm de espesor, al mismo tiempo se construyó la caja de reunión.
- Se construyó las paredes del humedal artificial en todo su perímetro con ladrillos pandereta de 24 x 13 x 9 cm.
- Se instaló la tubería de alimentación de PVC Ø 1" con su respectiva válvula esférica.
- Se instaló el sistema de drenaje a 5 cm de la base del humedal artificial, con tuberías PVC Ø 2", codos PVC Ø 2"x90° y tee PVC Ø 2", formando un circuito rectangular para garantizar la recolección de agua. A las tuberías de recolección se perforaron pequeños orificios para una adecuada recolección del agua filtrada, al mismo tiempo se le prolongó dos tuberías de ventilación de PVC Ø 2".
- Se procedió a la colocación del sustrato en el humedal artificial:
 - Arena gruesa de Ø 2mm: 25 cm de espesor.
 - Grava fina Ø 16mm: 20cm de espesor.
 - Grava gruesa Ø 32mm: 20 cm de espesor.
- Se instaló el sistema de distribución del agua residual en la superficie del humedal artificial, con tuberías de PVC Ø 2"; tee PVC Ø 2" y codos PVC Ø 2"x90°, formando un circuito rectangular para garantizar la correcta distribución del agua residual. A las tuberías de distribución se perforaron pequeños orificios para uniformizar la distribución del agua residual.
- A la salida del humedal artificial se instaló una tubería PVC Ø 2" para evacuar el efluente hacia el filtro de la PTAR de Habana.

Así mismo se procedió a derivar el caudal de diseño de 3 m³/día.

- **Selección y recolección de *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver)**
 - Se seleccionaron plantas de aproximadamente 8 meses de crecimiento, de la cual se extrajo los esquejes, esta planta se cultivó en el terreno de un poblador de Habana – Moyobamba.
 - El procedimiento para la propagación de esquejes se detalla a continuación:
 - Se separó las plantas de la mata en 3 o 4 partes y se limpiaron las hojas secas y podridas de los lados.
 - Se cortaron las hojas y tallos hasta la altura de 20 cm.
 - Se cortaron las raíces hasta unos 5 cm. de la base y se lavaron con chorros continuos de agua limpia de manera de no tener residuos de suelo.
 - Estos esquejes ya separados en forma individual con un mínimo de 3 brotes u hojas se juntaron en paquetes bien amarrados y se remojaron en una bandeja con agua sumergiéndolas unos 5 cm. durante unos 2-5 días.
 - Cuando la raíz tenía un tamaño de 0.5 - 1 cm. ya se procedió a trasplantar.

- **Siembra de *Chrysopogón zizanioides* (pasto vetiver)**
 - Una vez preparado el campo se trazó el área en donde se sembró los esquejes a un distanciamiento de 0.50 m. x 0.50 m.
 - El número de esquejes distribuidos se encontró de acuerdo al área del humedal artificial y al distanciamiento ya mencionado, haciendo un promedio de 6 plantas.

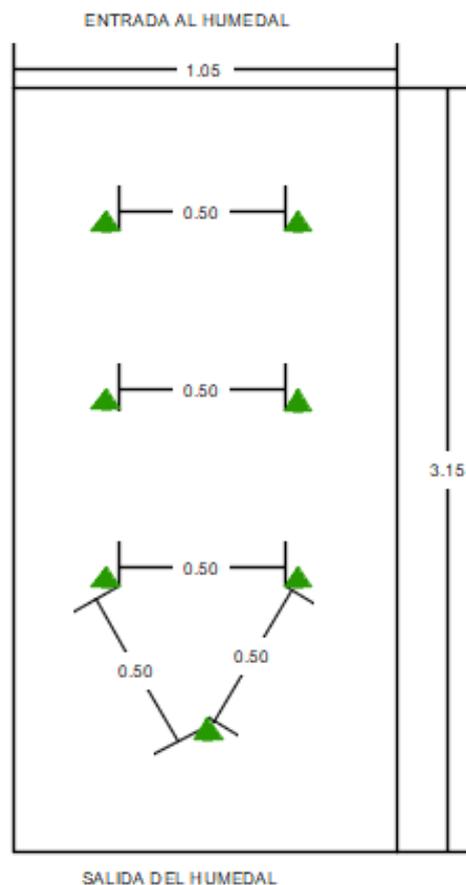


Figura 6. Distribución del *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver)

- **Puesta en marcha del humedal**
 - Terminado la instalación del humedal artificial, se realizó el sembrío de los esquejes de pasto vetiver el 16 de febrero del 2019.
 - El primer muestreo se realizó a los veinte (20) días del sembrío, tiempo estimado para la adaptación de las plantas.
 - El inicio de muestreo se dio el 8 de marzo del 2019.

2.2.2. Análisis de los parámetros físicos-químicos y biológicos

- **Toma de muestras**

Se seleccionó dos puntos de muestreo, en la entrada y salida del humedal artificial sub superficial *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver), realizadas cada veinte (20) días después de haber realizado la siembra, siendo un total de siete (7) muestras en un tiempo de cuatro (4) meses y veinte (20) días con una cantidad de 600 ml de muestra a analizar por punto de muestreo.

- **Método de recolección de muestra**

Para la recolección de las muestras se realizó de manera manual, contando con los materiales de recolección y equipo de protección personal, luego se trasladó al laboratorio para su respectivo análisis.

- **Análisis físicos- químicos y biológicos**

Permitió medir los parámetros físicos, químicos y biológicos (DBO, DQO, sólidos totales en suspensión, y turbiedad) analizados en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología de la UNSM-T (ver anexo E); pH, temperatura in situ y el parámetro coliformes termotolerantes en el laboratorio Anaquímicos Servicios Generales EIRL (ver anexo F).

A continuación se detalla el procedimiento de los parámetros analizados:

Tabla 5

Método de análisis

Parámetro	Unidad	Método utilizado
Demanda química de oxígeno (DQO)	mgO ₂ /L	Colorímetro
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	Prueba de DBO 5 días
Turbiedad	NTU	Nefelométrico
pH	Unidad	Potenciómetro
Temperatura	°C	Termómetro manual
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	Filtración por membrana
Sólidos totales en suspensión	mL/L	Diferencia de masas

Nota: Métodos utilizados según el manual de cada instrumento.

Medición de demanda química de oxígeno (DQO)

- Se obtuvo la muestra.
- Se procedió a prender el colorímetro portátil DR 900.
- Se utilizó dos cubetas de muestra de vidrio con marcas de graduación a 10, 20 y 25 mL, en la cual se colocó 10 mL de agua residual para cada cubeta, añadiéndose a una de las cubetas el reactivo de solución estándar para DQO

(NIST), hasta llegar el límite superior del rombo que indica en la cubeta (aproximadamente 4 ml).

- Se colocó la cubeta con 10 mL de agua residual (muestra en blanco) al colorímetro DR 900, para estabilizar el instrumento.
- Se colocó la cubeta que contiene el reactivo al colorímetro DR 900, luego se presionó la opción read (leer).
- Se realizó la lectura de la DQO.

Medición de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

- Se obtuvo la muestra.
- Se colocó 60 mL de agua residual en un vaso precipitado de 100 mL
- Se procedió a prender el equipo e introducir la sonda en el vaso precipitado que contiene el agua residual para registrar el oxígeno disuelto.
- Se procedió a llenar el frasco winkler de 300 ml (con 150 ml de agua residual en cada muestra), añadiéndole un sobre de tampón de nutrientes de 1 mL de marca HACH, por cada frasco winkler.
- Se incubaron las muestras a 20 °C durante 5 días.
- Se midió el oxígeno disuelto final a 5 días.
- Se determinó la DBO₅ con un medidor de oxígeno disuelto HI 98193

Medición de pH

- Se obtuvo la muestra.
- Se colocó 60 mL de muestra en un vaso precipitado de 100 mL.
- Se pulsó el botón ON/OFF para encender el pH-metro.
- Se sumergió el electrodo de 2 a 3 cm en la muestra, dejando que la lectura se estabilice.
- Se realizó la lectura del pH.

Medición de la turbidez

- Se obtuvo la muestra.
- Se llenó completamente la cubeta de 10 mL
- Se procedió a secar la cubeta con un paño seco, luego se colocó al instrumento.
- Se realizó la lectura de la turbidez.

Medición de sólidos suspendidos totales (SST)

- Se obtuvo la muestra.
- Se colocó 60 mL de muestra en un vaso precipitado de 100 mL para colocar el medidor de SST.
- Se introdujo el electrodo del medidor portátil al agua, se esperó a que se estabilice.
- Se realizó la lectura de los sólidos totales en suspensión

Cabe mencionar que adicional a la lectura de sólidos en suspensión se hizo la lectura de la temperatura en °C.

2.2.3. Comparación de los análisis con los límites máximos permisibles (LMP)

- **Tabla de límites máximos permisibles (LMP)**

Realizada la caracterización de los parámetros físicos-químicos y biológicos se comparó con los límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del Decreto Supremo N° 003 – 2010 – MINAM, ver anexo 2.

2.2.4. Eficiencia de remoción

El cálculo del porcentaje de remoción se estimó de acuerdo con la siguiente relación, (Scavo, 2004).

$$\% \text{ Eficiencia en remoción} = \frac{\text{concentración}_{\text{entrada}} - \text{concentración}_{\text{salida}}}{\text{concentración}_{\text{entrada}}} \times 100$$

2.2.5. Análisis estadístico

- **Prueba t de Student**

Prueba t para muestras relacionadas.

El procesamiento, análisis e interpretación de datos se realizó mediante el software estadístico Minitab (t- Student) y IBM SPSS.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Diseño hidráulico del humedal artificial subsuperficial de flujo vertical

- **Cálculo del caudal de diseño**

Se optó por realizar la investigación con un caudal de diseño de 3 m³/día, caudal que se derivó del colector principal a través de una tubería PVC Ø 1". El caudal de ingreso al humedal artificial se calibró mediante una válvula de paso, hasta obtener 2,08 L/min

- **Cálculo de área superficial (As) (Delgadillo *et al.*, 2010, pág. 40)**

Condiciones:

- DBO_{5 ingreso} = 157 mg/L, resultado obtenido del análisis de las aguas residuales provenientes de la localidad de Habana, valor empleado para el dimensionamiento del humedal artificial.
- DBO_{5 salida} = 100 mg/L, límite máximo permisible establecido según D.S N° 003-2010 MINAM
- T = 23.5 °C.

Constante de reacción de primer orden según ecuación 2.

$$K_T = 1,104 \times 1,06^{(23,5-20)}$$

$$K_T = 1,35$$

- **Porosidad del medio granular**

$$n = 38\% = 0,38 \quad K_s = 10\,000 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}, \text{ según tabla 1}$$

- **Profundidad entre los intervalos 0,1 m y 0,8 m**

- Altura (h) = 0,80 m
- Nivel de agua a tratar h = 0,65 m
- Borde libre h = 0,15 m

- **Pendiente**

- $0,5 \% = 0,005 \text{ m/m}$

$$Pendiente = 0,005 \frac{m}{m} \times 3,15 \text{ m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$

$$Pendiente = 1,5 \text{ cm}$$

*3.15m: Largo del humedal artificial

- **Área superficial (As), según ecuación 1**

$$As = \frac{3 \times \ln \frac{157}{100}}{1,35 \times 0,75 \times 0,38}$$

$$As = 3,30 \text{ m}^2$$

- **Dimensionamiento del humedal artificial, relación L:W - 3:1**

- **Ancho del humedal (W), según ecuación 5**

$$3,30 \text{ m}^2 = L * W$$

$$3,30 \text{ m}^2 = 3W * W$$

$$\frac{3,30}{3} \text{ m}^2 = W^2$$

$$W = 1,05 \text{ m}$$

- **Largo del humedal (L), según ecuación 4**

$$L = \frac{3,30}{1,05}$$

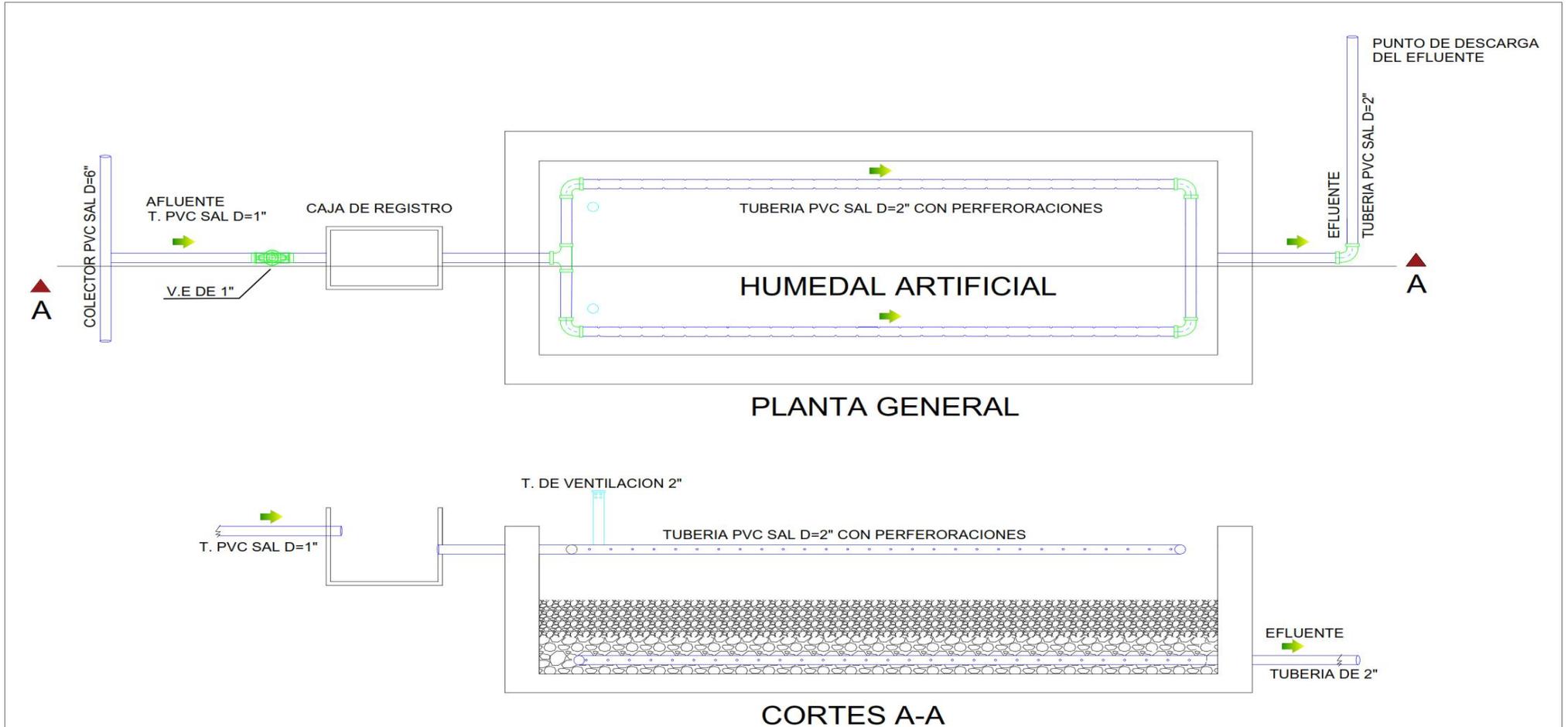
$$L = 3,15 \text{ m}$$

- **Cálculo del tiempo de retención hidráulica, según ecuación 3**

$$TRH = \frac{3,30 * 0,65 * 0,38}{3}$$

$$TRH = 6,52 \text{ horas}$$

- **Diseño general del humedal artificial subsuperficial de flujo vertical.**



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN-TARAPOTO</p>		PLANO : PLANTA GENERAL Y CORTES DEL HUMEDAL ARTIFICIAL				ESCALA : 1/100
		TESIS : HUMEDAL ARTIFICIAL CON <i>Chrysopogon zizanioides</i> PARA LA REMOCIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL DISTRITO DE HABANA – MOYOBAMBA, 2018				LAMINA : 01
TESIS :	DEPARTAMENTO : SAN MARTIN	PROVINCIA : MOYOBAMBA	DISTRITO : HABANA	FECHA : OCTUBRE - 2019		

3.2. Caracterización física, química y biológica (coliformes termotolerantes, DBO₅, DQO, sólidos totales en suspensión, pH, temperatura, turbiedad)

Para la presente investigación se evaluaron 7 parámetros los cuales son:

Coliformes termotolerantes, sólidos totales en suspensión, DQO, DBO₅, turbiedad temperatura y pH; la toma de muestras se realizó a la entrada y salida del humedal artificial.

Primera caracterización del agua residual

Tabla 6

Eficiencia de remoción a los 20 días de sembrado el *Chrysopogon zizanioides*

Parámetro	Unidad	Resultados del humedal artificial		
		Afluente	Efluente	Eficiencia (%)
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	9 250	7 745	16,27
Sólidos totales en suspensión	mL/L	204	171	16,18
DQO	mg/L	150	58	61,33
DBO ₅	mg/L	90	36	60,00
Turbiedad	UNT	60,49	14,99	75,22
Temperatura	°C	24,1	23,8	---
pH	---	7,05	7,6	---

Nota: Informe de laboratorio del anexo D, Informe N° 012 de Anaquímicos Servicios Generales.

Interpretación:

El análisis de la primera muestra se realizó a los 20 días de haber sembrado los esquejes de *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver), hasta esta fecha las plantas estaban en un proceso de adaptación, pero a pesar de ello se obtuvieron resultados muy significativos, para el caso de la DQO, DBO₅ y turbiedad se obtuvieron eficiencias de remoción de 61,33 %, 60 % y 75,22 % respectivamente, en cambio para los parámetros de coliformes termotolerantes y sólidos totales en suspensión se obtuvieron bajas eficiencias de remociones de 16,27 % y 16,18 % respectivamente.

Segunda caracterización del agua residual

Tabla 7

Eficiencia de remoción a los 40 días de sembrado el *Chrysopogon zizanioides*

Parámetro	Unidad	Resultados del humedal artificial		
		Afluente	Efluente	Eficiencia (%)
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	7 352	5 540	24,65
Sólidos totales en suspensión	mL/L	182	136	25,27
DQO	mg/L	154	56	63,64
DBO ₅	mg/L	90	33	63,33
Turbiedad	UNT	59,32	10,43	82,42
Temperatura	°C	24,5	24,1	---
pH	---	7,52	7,8	---

Nota: Informe de laboratorio del anexo D, Informe N° 015 de Anaquímicos Servicios Generales.

Interpretación:

La caracterización de la segunda muestra se realizó a los 40 días de haber sembrado los esquejes de *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver), para este caso los resultados mostraron una mejor eficiencia con respecto al anterior muestreo, obteniendo eficiencias de remoción de 24,65 % para los coliformes termotolerantes y 82,42 % para la turbidez.

Tercera caracterización del agua residual

Tabla 8

Eficiencia de remoción a los 60 días de sembrado el *Chrysopogon zizanioides*

Parámetro	Unidad	Resultados del humedal artificial		
		Afluente	Efluente	Eficiencia (%)
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	4 674	1 243	73,41
Sólidos totales en suspensión	mL/L	232	152	34,48
DQO	mg/L	186	60	67,74
DBO ₅	mg/L	129	27	79,07
Turbiedad	UNT	78,36	12,43	84,14
Temperatura	°C	24,1	23,5	---
pH	---	7,18	7,22	---

Nota: Informe de laboratorio del anexo D, Informe N° 018 de Anaquímicos Servicios Generales.

Interpretación:

La tercera caracterización del agua residual doméstica se realizó a los 60 días de haber sembrado el *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver), donde se obtuvieron resultados significativos, con eficiencias de remoción mayores a 34,48 %. En la mayoría de los parámetros cumplen con los límites máximos permisibles, excepto los sólidos totales en suspensión que tiene una concentración de 152 mL/L.

Cuarta caracterización del agua residual

Tabla 9

Eficiencia de remoción a los 80 días de sembrado el *Chrysopogon zizanioides*

Parámetro	Unidad	Resultados del humedal artificial		
		Afluente	Efluente	Eficiencia (%)
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	6 241	4 67	92,52
Sólidos totales en suspensión	mL/L	235	121	48,51
DQO	mg/L	174	42	75,86
DBO ₅	mg/L	129	24	81,40
Turbiedad	UNT	74	8,35	88,72
Temperatura	°C	24,3	23,8	---
pH	---	7,16	7,69	---

Nota: Informe de laboratorio del anexo D, Informe N° 019 de Anaquímicos Servicios Generales.

Interpretación:

El análisis de la cuarta muestra se realizó a los 80 días de haber sembrado el *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver), donde se observa una alta eficiencia de remoción en la mayoría de sus parámetros, en especial los coliformes termotolerantes con 92,52 % de eficiencia, así mismo los parámetros de DQO, DBO₅ y turbidez, con eficiencias de remoción de 75,86 %, 81,40 % y 88,72 % respectivamente, en el caso de los sólidos totales en suspensión presentó una menor eficiencia de remoción con 48,52%. Los parámetros analizados del efluente cumplen con los límites máximos permisibles (LMP), lo que indica que el humedal artificial es eficiente en la remoción de contaminantes.

Quinta caracterización del agua residual

Tabla 10

Eficiencia de remoción a los 100 días de sembrado el *Chrysopogon zizanioides*

Parámetro	Unidad	Resultados del humedal artificial		
		Afluente	Efluente	Eficiencia (%)
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	7 240	432	94,03
Sólidos totales en suspensión	mL/L	253	82	67,59
DQO	mg/L	162	44	72,84
DBO ₅	mg/L	126	23	81,75
Turbiedad	UNT	79,44	8,12	89,78
Temperatura	°C	24,3	23,9	---
pH	---	7,11	7,48	---

Nota: Informe de laboratorio del anexo D, Informe N° 021 de Anaquímicos Servicios Generales.

Interpretación:

Se realizó la quinta caracterización del agua residual doméstica a los 100 días de haber sembrado el *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver), a esta fecha las plantas seguían en constante crecimiento, haciendo que cada vez las eficiencias de remoción sean mayores. Al comparar las concentraciones del afluente con respecto al efluente se observa disminuciones de concentraciones mayores a 67 %.

Sexta caracterización del agua residual

Tabla 11

Eficiencia de remoción a los 120 días de sembrado el *Chrysopogon zizanioides*

Parámetro	Unidad	Resultados del humedal artificial		
		Afluente	Efluente	Eficiencia (%)
Coliformes Termotolerantes	NMP/100L	5 479	146	97,34
Sólidos totales en suspensión	mL/L	214	48	77,57
DQO	mg/L	127	34	73,23
DBO ₅	mg/L	109	21	80,73
Turbiedad	UNT	72,28	7,32	89,87
Temperatura	°C	24,2	23,8	---
pH	---	7,2	7,43	---

Nota: Informe de laboratorio del anexo D, Informe N° 025 de Anaquímicos Servicios Generales.

Interpretación:

La sexta caracterización del agua residual doméstica se realizó a los 120 días de haber sembrado el *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver), donde se obtuvieron resultados significativos, siendo los coliformes termotolerantes con 97,34 % el parámetro de mayor eficiencia de remoción, en cambio la DQO con 73,23 % presentó la menor eficiencia. En este análisis se muestra una mayor efectividad del humedal artificial en la remoción de los contaminantes del agua residual.

Séptima caracterización del agua residual

Tabla 12

Eficiencia de remoción a los 140 días de sembrado el *Chrysopogon zizanioides*

Parámetro	Unidad	Resultados del humedal artificial		
		Afluente	Efluente	Eficiencia (%)
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	4 352	94	97,84
Sólidos totales en suspensión	mL/L	285	56	80,35
DQO	mg/L	218	39	82,11
DBO ₅	mg/L	177	24	86,44
Turbiedad	UNT	85,54	6,38	92,54
Temperatura	°C	24,4	24	---
pH	---	7,14	7,4	---

Nota: Informe de laboratorio del anexo D, Informe N° 032 de Anaquímicos Servicios Generales.

Interpretación:

El análisis de la séptima muestra se realizó a los 140 días de haber sembrado el *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver), ha esta fecha se obtuvieron valores significativos, mostrando una mejor eficiencia de remoción de contaminante con respecto a los anteriores muestreos. Los resultados obtenidos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles (LMP). Esta caracterización se consideró la más óptima por mostrar las mayores eficiencias de remoción en todo el periodo de muestreo.

3.3. Comparación de los resultados del efluente del humedal artificial con los LMP

Para analizar si el sistema de tratamiento está removiendo los contaminantes presentes en el agua residual, los resultados de la caracterización de los parámetros físicos, químicos y biológicos debe cumplir con los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de fuentes domésticas según D.S. N°003-2010-MINAN.

En las figuras que se presentan a continuación se detallan los resultados de la caracterización de los parámetros físicos, químicos y biológicos del afluente y efluente obtenidos del humedal artificial, además de compararlos con los LMP para analizar si cumplen con la norma establecida.

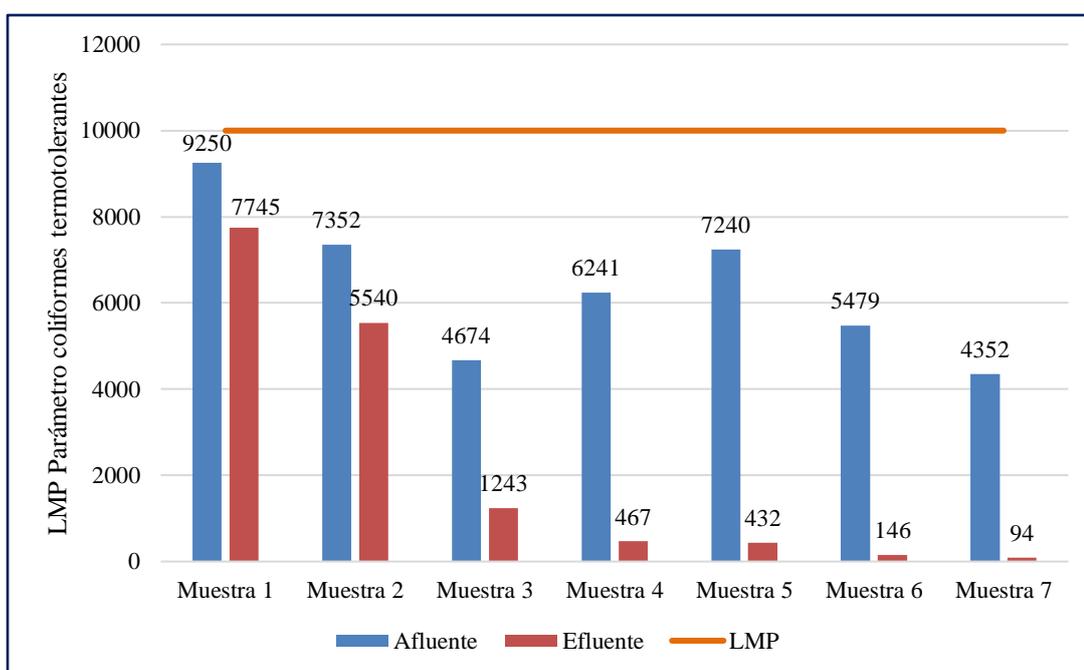


Figura 8. Comparación de los coliformes termotolerantes con los LMP

Análisis:

Se observa que tanto los afluentes como efluentes se son inferiores a los LMP, luego de aplicar el tratamiento mediante el humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver) hay una reducción significativa de las concentraciones en el efluente, siendo la concentración mínima de 94 NMP/100ml perteneciente a la muestra 7, y una máxima de 7745 perteneciente a la muestra 1, cumpliendo así lo dispuesto en el LMP para este parámetro.

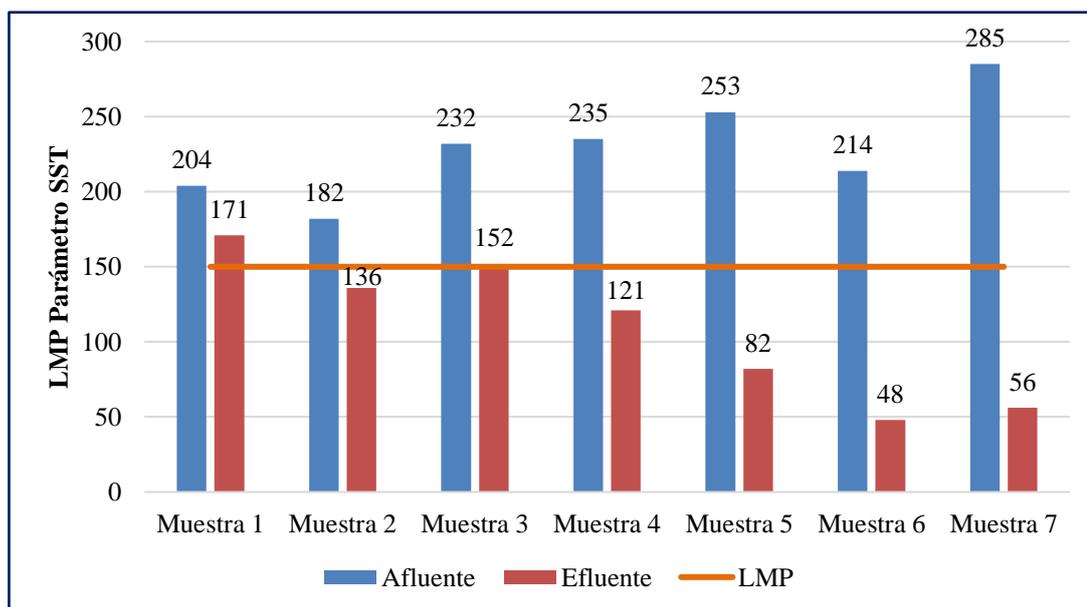


Figura 9. Comparación de SST con los LMP

Análisis:

De la figura se constata que todos los afluentes superan el LMP, pero después de aplicar el tratamiento mediante humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver) se observa que la muestra 1 y 3 se encuentra por encima de los LMP, con concentraciones de 171 mL/L y 152 mL/L respectivamente, en cambio las muestras 5, 6 y 7 reducen significativamente su concentración, encontrándose dentro del rango establecido de los LMP para este parámetro.

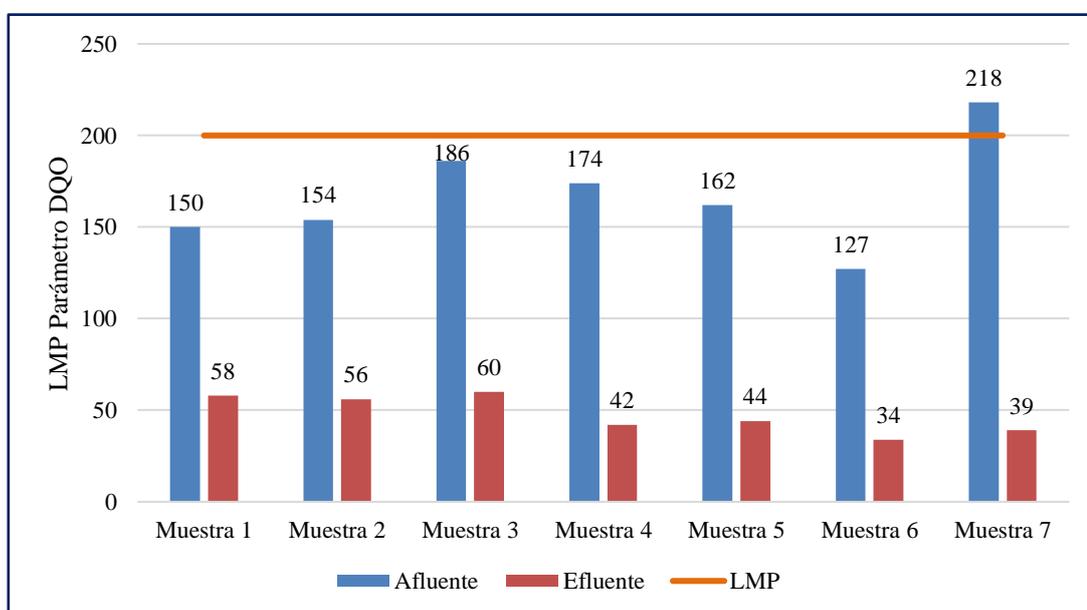


Figura 10. Comparación de la DQO con los LMP

Análisis:

El límite máximo permisible para el parámetro DQO es 200 mg/L, se observa que el afluente de la muestra 7 presento una concentración de 218 mg/L, superando los LMP, después de aplicar el tratamiento mediante humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver) se aprecia que las concentraciones en el efluente reducen significativamente cumpliendo con lo dispuesto en el LMP para este parámetro.

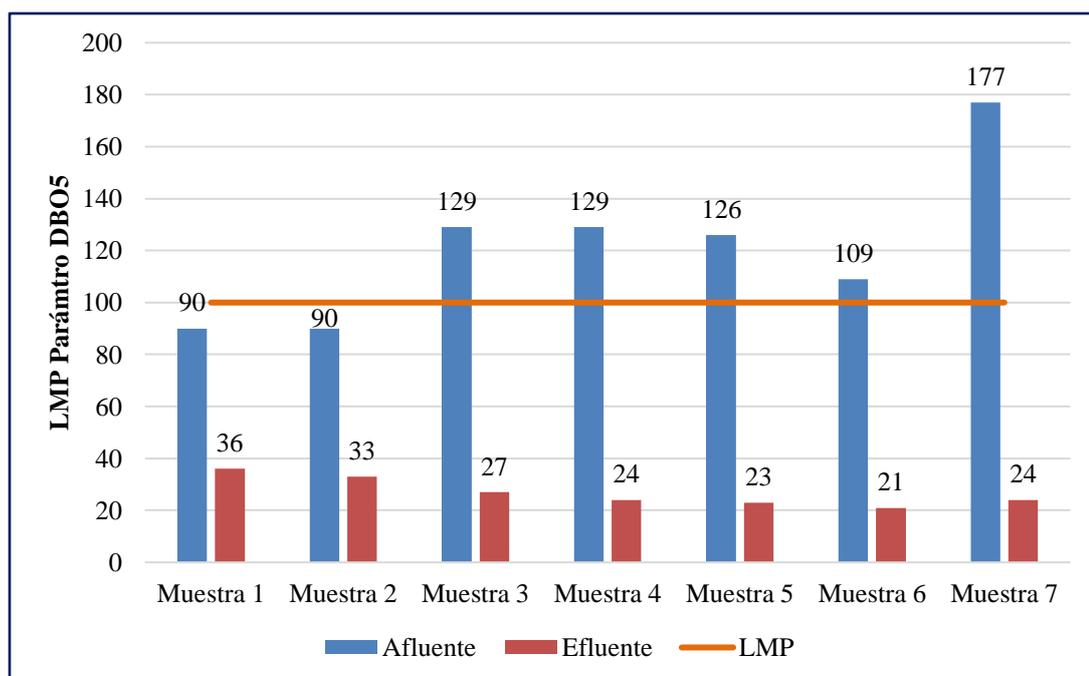


Figura 11. Comparación de la DBO₅ con los LMP

Análisis:

En la figura se observa que los afluentes de las muestras 3,4,5,6 y 7 superan los LMP, en cambio las muestras 1 y 2 están por debajo de los LMP; después de aplicar el tratamiento mediante el humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver), presenta remociones significativas de la DBO₅, cumpliendo así con la normatividad estipulada de 100 mg/L; cabe recalcar la alta efectividad de remoción de DBO₅.

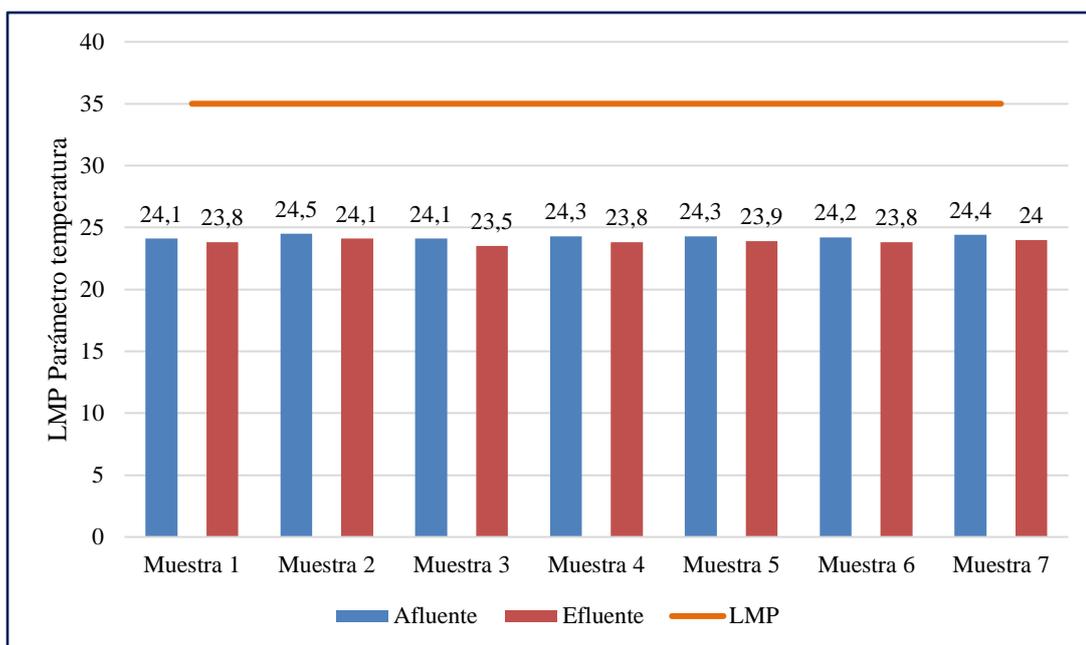


Figura 12. Comparación de la temperatura con los LMP

Análisis:

De la figura anterior se observa que en todas las muestras realizadas tanto para el afluente y efluente del humedal artificial están dentro del rango establecido cumpliendo con lo dispuesto en el LMP, valores que son inferiores a 35°C.

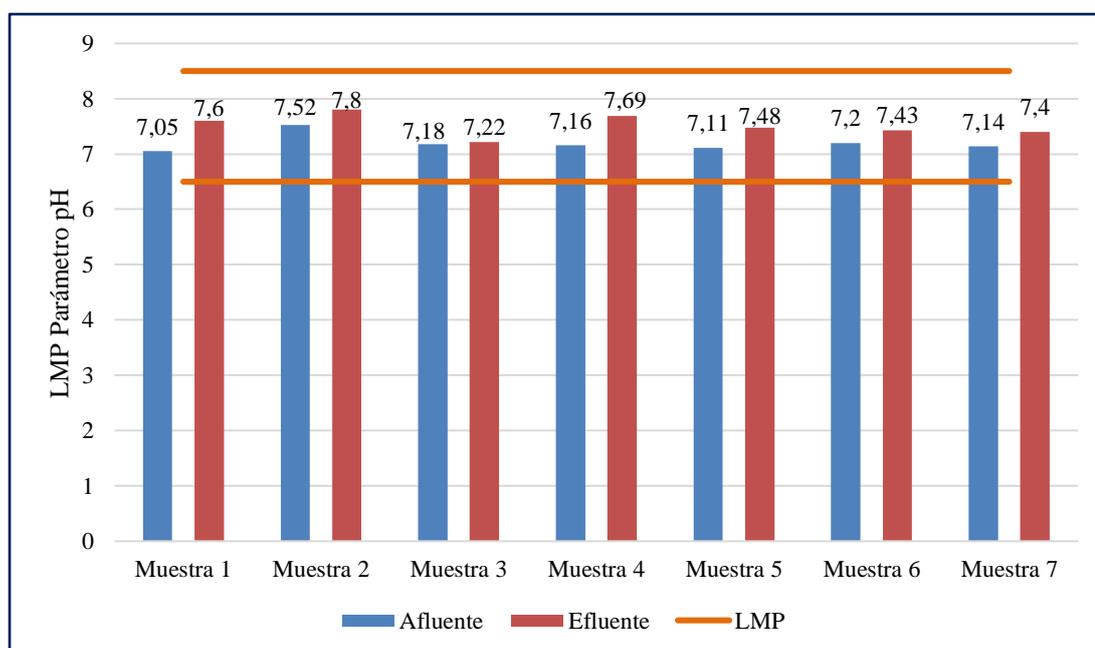


Figura 13. Comparación del pH con los LMP

Análisis:

El límite máximo permisible para el parámetro pH es 6,5 – 8,5; se observa que las concentraciones de los afluentes del humedal artificial son menores que los efluentes en todo el periodo de muestreo, además se encuentran dentro del rango establecido cumpliendo con lo dispuesto en el LMP para este parámetro.

3.4. Eficiencia de remoción del humedal artificial

Análisis de eficiencia en la remoción de coliformes termotolerantes

En la siguiente tabla se presenta las eficiencias de remoción para el parámetro coliformes termotolerantes expresados en porcentajes, resultantes de las 7 muestras tomadas del humedal artificial evaluado.

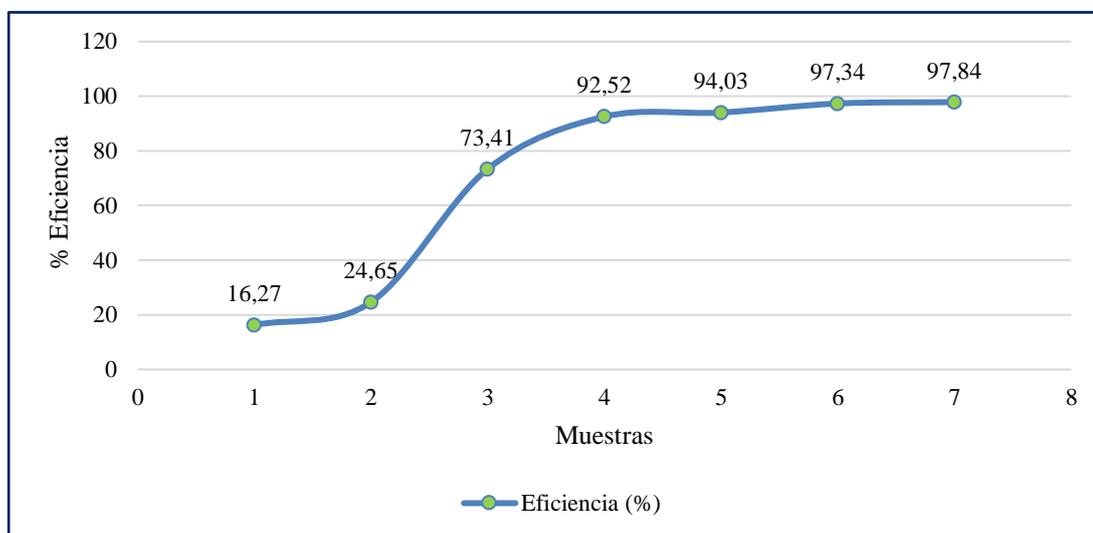


Figura 14. Eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes.

Interpretación:

Del gráfico anterior se observa que la menor eficiencia de remoción de los coliformes termotolerantes se encuentra en la muestra 1 con 16,27 %, siendo la muestra 7 la de mayor eficiencia de remoción con 97,84 %, esto gracias a la membrana biológica que contribuyo en el mecanismo biológico de esta filtración siendo efectivo para la eliminación de contaminantes, haciendo que el efluente reduzca su grado de contaminación.

Análisis de eficiencia en la remoción de sólidos totales en suspensión

En la siguiente tabla se presenta las eficiencias de remoción para el parámetro sólidos totales en suspensión expresados en porcentajes, resultantes de las 7 muestras tomadas del humedal artificial evaluado.

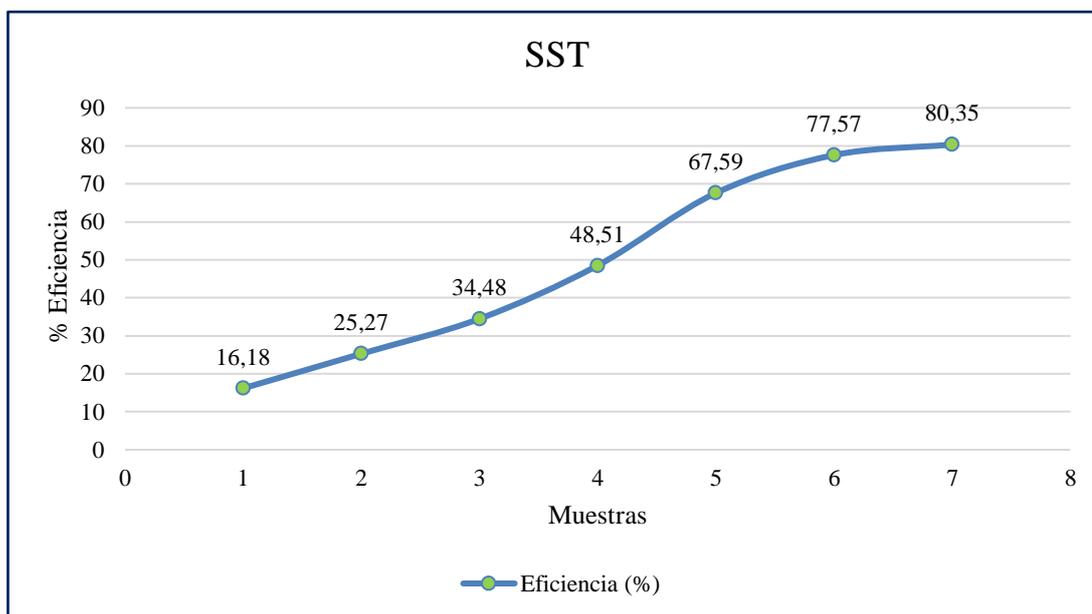


Figura 15. Eficiencia de remoción de sólidos totales en suspensión.

Interpretación:

Los valores porcentuales en todo el periodo de muestreo presentan una eficiencia que ha ido aumentando de manera progresiva, tal y como se observa en el gráfico, siendo la mínima eficiencia de remoción en la muestra 1 con 16,18 % y una máxima de 80,35 % en la muestra 7, produciendo en el efluente un aspecto claro y sin presencia visible de sólidos.

Análisis de eficiencia en la remoción de DQO

En la siguiente tabla se presenta las eficiencias de remoción para el parámetro DQO expresados en porcentajes, resultantes de las 7 muestras tomadas del humedal artificial evaluado.

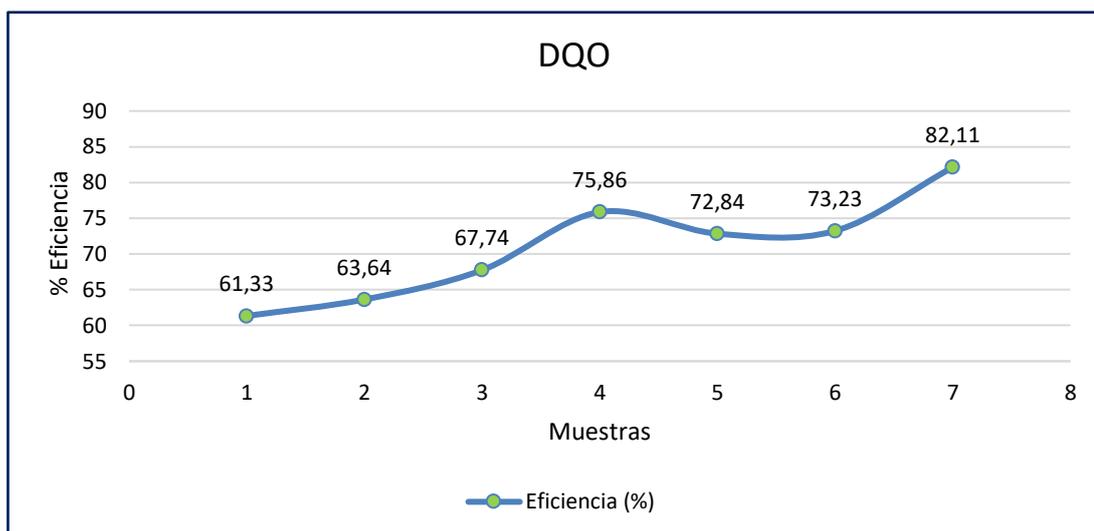


Figura 16. Eficiencia de remoción de DQO.

Interpretación

Del gráfico anterior se observa la mínima eficiencia de remoción en la muestra 1 con 61,33 %, y una máxima en la muestra 7 con 82,11 %, así mismo podemos apreciar que la muestra 5 y 6 la eficiencia de remoción del humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides*, fue decreciente, aun así, la remoción del humedal es óptima.

Análisis de eficiencia en la remoción de DBO₅

En la siguiente tabla se presenta las eficiencias de remoción para el parámetro DBO₅ expresados en porcentajes, resultantes de las 7 muestras tomadas del humedal artificial evaluado.

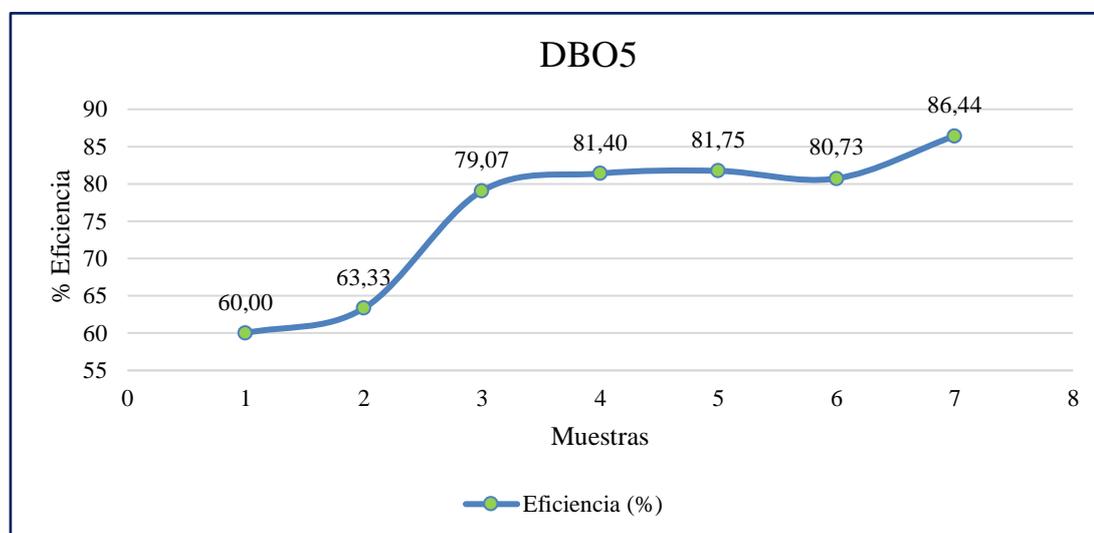


Figura 17. Eficiencia de remoción de DBO₅.

Interpretación

Los resultados obtenidos, evidencian valores porcentuales con altos niveles de remoción de DBO_5 , obteniéndose la mayor eficiencia de remoción en la muestra 7 con 86,44 % mientras que la mínima eficiencia de remoción se encuentra en la muestra 1 con 60 %, siendo aun así una remoción óptima.

Análisis de eficiencia en la remoción de turbiedad

En la siguiente tabla se presenta las eficiencias de remoción para el parámetro turbiedad expresados en porcentajes, resultantes de las 7 muestras tomadas del humedal artificial evaluado.

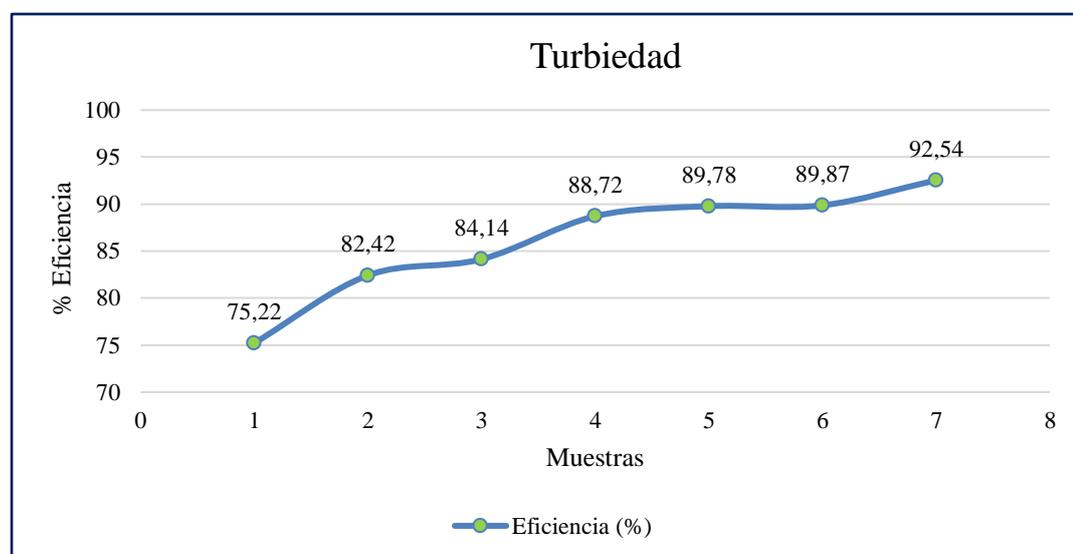


Figura 18. Eficiencia de remoción de la turbiedad.

Interpretación

En el gráfico anterior se aprecia una eficiencia de remoción creciente, donde la máxima eficiencia se obtuvo en la muestra 7 con 92,54 % y una mínima en la muestra 1 con 75,22 %. Todo lo mencionado anteriormente nos demuestra que tanto las características de las raíces del *Chrysopogon zizanioides* (pasto vetiver) por su capacidad de esponjamiento y los lechos de sustrato (arena, grava media y grava fina) permitieron que el agua residual fluya muy despacio, al mismo tiempo reteniendo una gran cantidad de partículas sólidas en la superficie del humedal artificial.

3.5. Contrastación de hipótesis

Hipótesis nula (H_0): $H_0 : \mu_A - \mu_E \leq 0$

H_0 : “El Humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* no es significativo en la remoción de las aguas residuales domésticas en el distrito de Habana-Moyobamba”

Hipótesis alterna (H_1): $H_1 : \mu_A - \mu_E > 0$

H_1 : “El Humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* es significativo en la remoción de las aguas residuales domésticas en el distrito de Habana-Moyobamba”

Obtención de la “t” de student

Nivel de significación de $\alpha = 5\% = 0,05$ y un nivel de confianza: $1 - \alpha = 95\% = 0,95$

Evaluación para contrastación de la hipótesis

La prueba estadística desarrollado se realizó por medio de la prueba estadística de distribución t - Student pareada entre la pre prueba y post prueba, con $\alpha = 5\%$ con el programa Minitab y usando el software estadístico IBM SPSS.

Tabla 13

Prueba “t” para diferencias de medias con respecto a coliformes termotolerantes

	Media	Desviación estándar	t (calculado)	t (tabulado)	gl
Coliformes termotolerantes (Afluente – Efluente)	4131,57	2003,76	5,46	1,94	6
Hipótesis Nula (H_0)	$\mu_A \leq \mu_E$				
Hipótesis alternativa (H_1)	$\mu_A > \mu_E$				

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

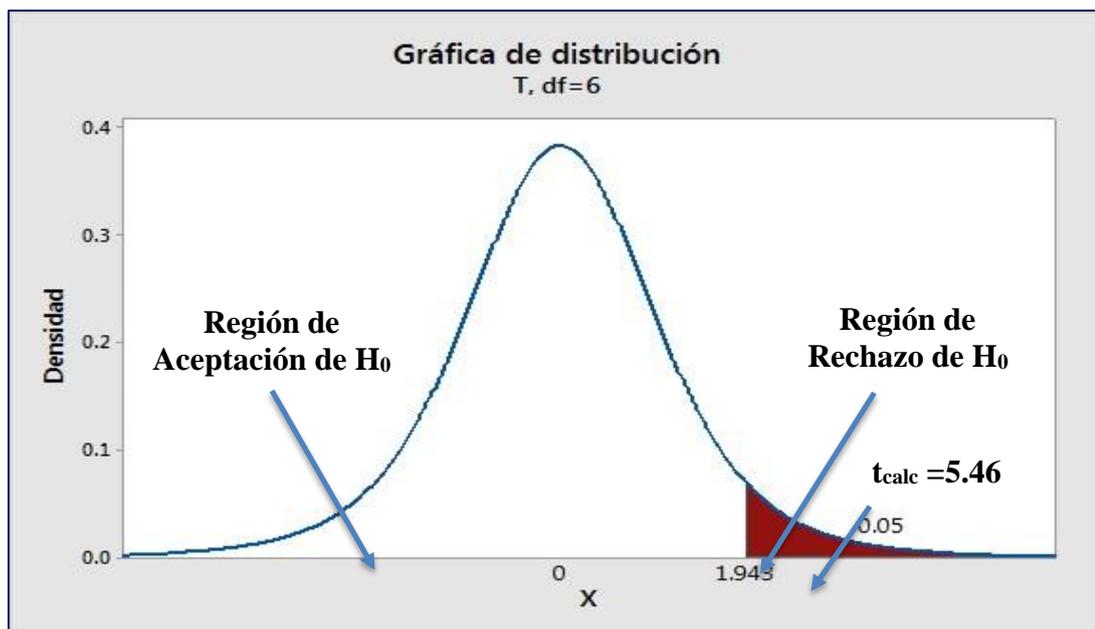


Figura 19. Prueba de hipótesis de diferencia de medias con muestras relacionadas para coliformes termotolerantes.

Regla de decisión:

Si el Valor $t_{\text{calc}} \leq t_{\text{tab}}$ se acepta la hipótesis nula (H_0).

Si el Valor $t_{\text{calc}} > t_{\text{tab}}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (H_1)

Decisión

Según la tabla 13, el valor estadístico t calculado es 5,46, siendo éste mayor que el valor crítico t tabulado cuyo valor es 1,943; se rechaza la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alterna, es decir el humedal artificial es eficiente en la reducción de la concentración de coliformes Termotolerantes.

Tabla 14

Prueba “t” para diferencias de medias de sólidos totales en suspensión

	Media	Desviación estándar	t (calculado)	t (tabulado)	gl
Sólidos totales en suspensión (Afluente – Efluente)	119,86	72,20	4,39	1,94	6
Hipótesis Nula (H_0)	$\mu_A \leq \mu_E$				
Hipótesis alternativa (H_1)	$\mu_A > \mu_E$				

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

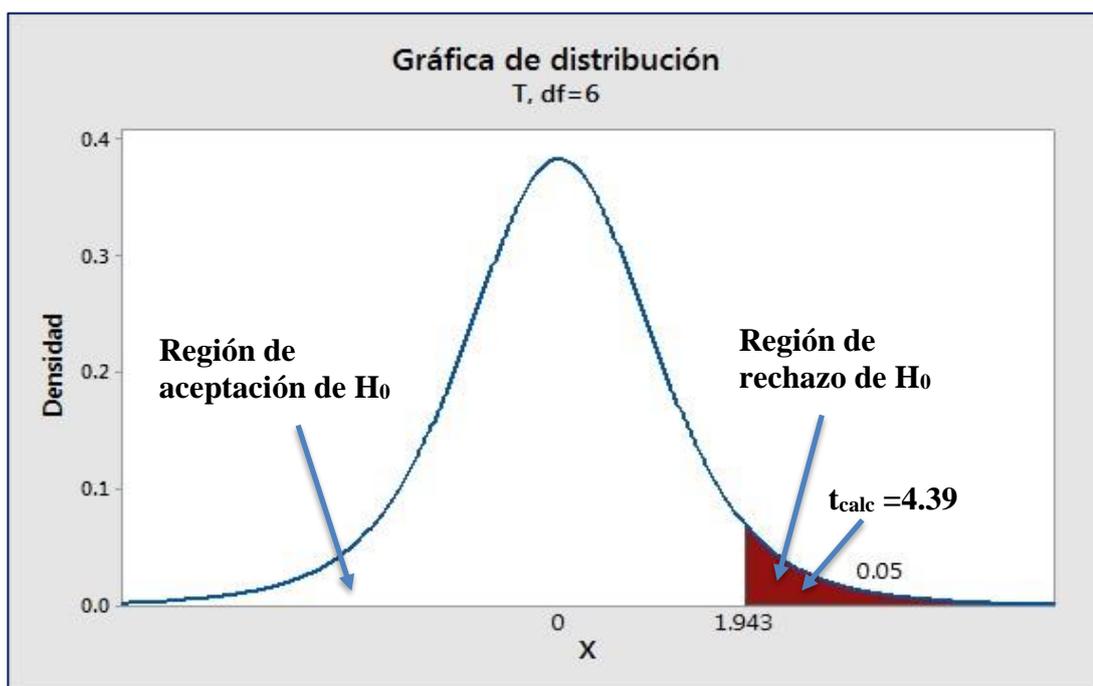


Figura 20. Prueba de hipótesis de diferencia de medias con muestras relacionadas para sólidos totales en suspensión.

Regla de decisión:

Si el Valor $t_{\text{calc}} \leq t_{\text{tab}}$ se acepta la hipótesis nula (H_0).

Si el Valor $t_{\text{calc}} > t_{\text{tab}}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

Decisión

Según la tabla 14, el valor estadístico t calculado es 4,39, siendo éste mayor que el valor crítico t tabulado cuyo valor es 1,943; se rechaza la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alterna. es decir, el humedal artificial instalado es eficiente en la reducción de la concentración de los sólidos totales en suspensión.

Tabla 15

Prueba “t” para diferencias de medias de la demanda química de oxígeno

	Media	Desviación estándar	t (calculado)	t (tabulado)	gl
DQO (Afluente – Efluente)	119,71	30,72	10,31	1,94	6
Hipótesis Nula (H_0)	$\mu_A \leq \mu_E$				
Hipótesis alternativa (H_1)	$\mu_A > \mu_E$				

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

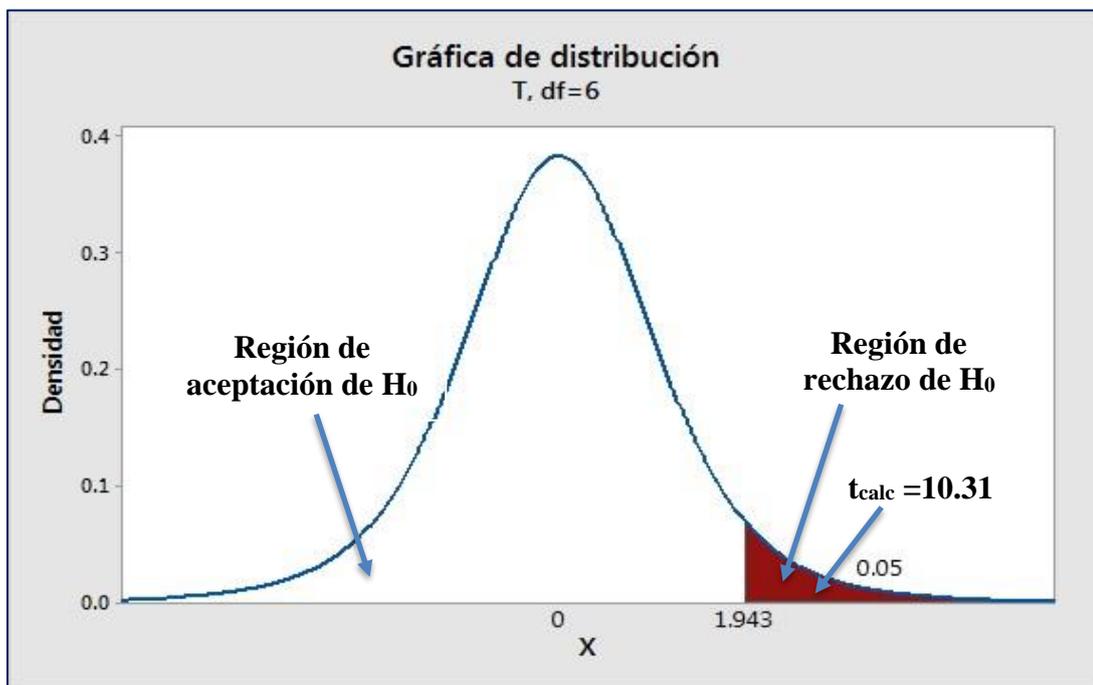


Figura 21. Prueba de hipótesis de diferencia de medias con muestras relacionadas para DQO

Regla de decisión:

Si el Valor $t_{\text{calc}} \leq t_{\text{tab}}$ se acepta la hipótesis nula (H_0).

Si el Valor $t_{\text{calc}} > t_{\text{tab}}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

Decisión

En la tabla 15 el valor estadístico t calculado es 10,31, siendo este mayor que el valor crítico t tabulado cuyo valor es 1,943; se rechaza la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alterna. Deduciéndose que el humedal artificial instalado es eficiente en la reducción de los valores de la concentración de DQO.

Tabla 16

Prueba "t" para diferencias de medias de la demanda bioquímica de oxígeno

	Media	Desviación estándar	t (calculado)	t (tabulado)	gl
DBO₅ (Afluyente – Efluyente)	94,57	33,54	7,46	1,94	6
Hipótesis Nula (H_0)	$\mu_A \leq \mu_E$				
Hipótesis alternativa (H_1)	$\mu_A > \mu_E$				

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

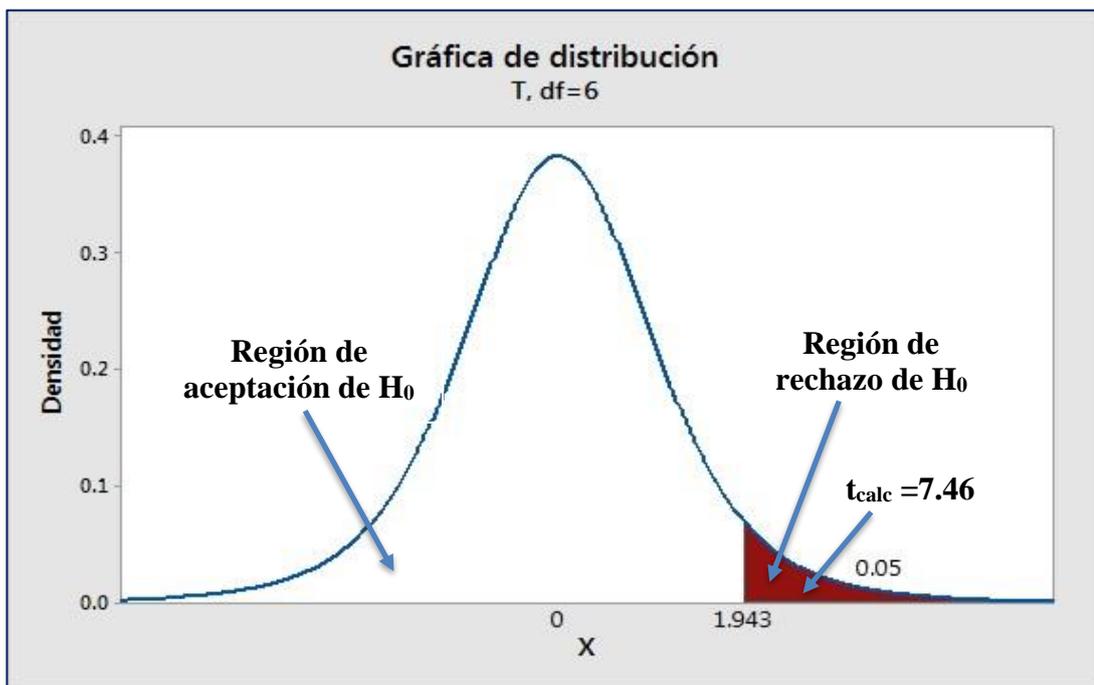


Figura 22. Prueba de hipótesis de diferencia de medias con muestras relacionadas para DBO₅

Regla de decisión:

Si el Valor $t_{\text{calc}} \leq t_{\text{tab}}$ se acepta la hipótesis nula (H_0).

Si el Valor $t_{\text{calc}} > t_{\text{tab}}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

Decisión

En la tabla 16 el valor estadístico t calculado es 7,46, siendo este mayor que el valor crítico t tabulado cuyo valor es 1,943; se rechaza la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alterna, por lo tanto, se demuestra que el humedal artificial instalado es eficiente en la reducción de la concentración de la DBO.

Tabla 17

Prueba "t" para diferencias de medias de turbiedad

	Media	Desviación estándar	t (calculado)	t (tabulado)	gl
Turbiedad (Afluente – Efluente)	63,06	11,94	13,97	1,94	6
Hipótesis Nula (H_0)	$\mu_A \leq \mu_E$				
Hipótesis alternativa (H_1)	$\mu_A > \mu_E$				

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

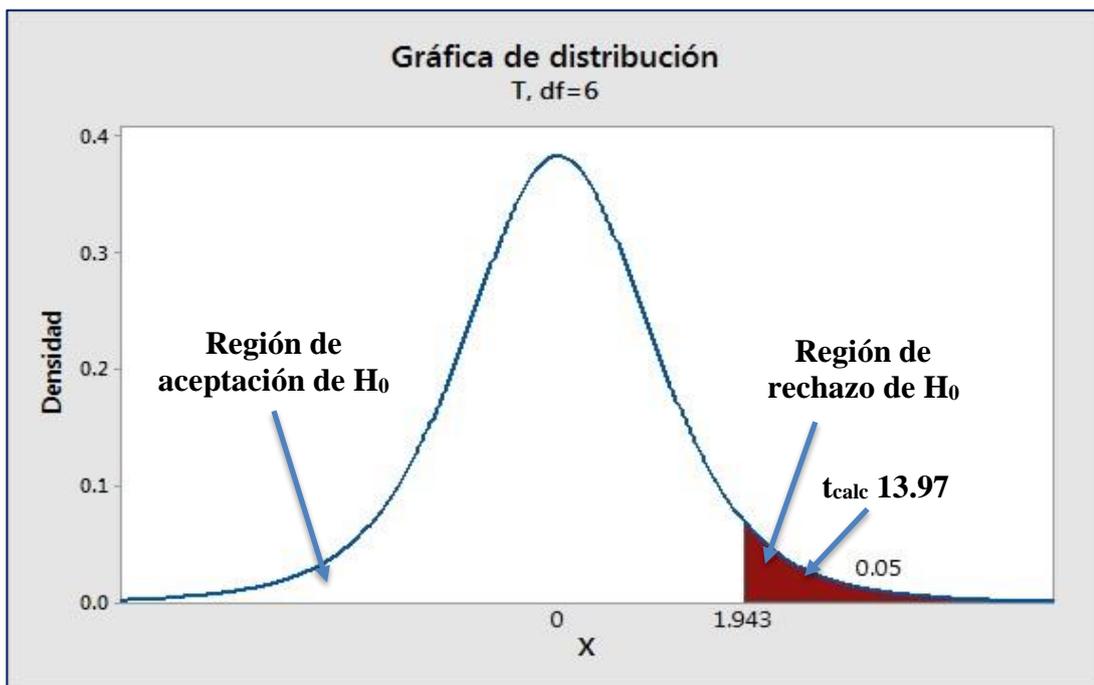


Figura 23. Prueba de hipótesis de diferencia de medias con muestras relacionadas para turbiedad

Regla de decisión:

Si el Valor $t_{\text{calc}} \leq t_{\text{tab}}$ se acepta la hipótesis nula (H_0).

Si el Valor $t_{\text{calc}} > t_{\text{tab}}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

Decisión

En la tabla 17 el valor estadístico t calculado es 13,97, siendo este mayor que el valor crítico t tabulado cuyo valor es 1,943; se rechaza la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alterna, es decir, el humedal artificial instalado es eficiente en la reducción de la concentración de la turbiedad.

3.6. Discusiones

Las concentraciones de los contaminantes del agua residual de la localidad de Habana antes de ser tratadas superaban los LMP para los parámetros de SST, DQO, DBO5, las cuales generan contaminación en el cuerpo receptor por el tratamiento inadecuado que se les da; luego de ser tratada en el humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* tiene niveles inferiores de contaminantes a los límites establecidos para vertimientos de aguas residuales. Así mismo Cueva y Rivadeneira, (2013) en su investigación;

concluyó: Que las concentraciones de los contaminantes del agua residual de la hacienda Zoila Luz antes de ser tratadas superaban los límites permitidos por los organismos de control para la descarga de agua residual a un cuerpo de agua dulce. El agua residual de la hacienda Zoila Luz luego de ser tratada en los humedales artificiales tiene niveles inferiores de contaminantes a los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce.

En la presente investigación se demuestra que los humedales artificiales son una alternativa de solución viable para el tratamiento de agua residuales, teniendo en cuenta el tiempo de retención, la temperatura, medio poroso y la vegetación, hicieron posible la actividad físico-química y biológica para la remoción de las concentraciones de DBO, DQO, coliformes Termotolerantes, SST y turbiedad, así mismo Díaz (2014), en la investigación sobre el tratamiento de agua residual a través de humedales, en donde analizando las condiciones de carga hidráulica, tiempo de retención, cargas de DBO y DQO, e igualmente las remociones promedio como resultado de la actividad físico-química de la vegetación, el medio poroso y la actividad biológica. Presentando los humedales como una opción viable para el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas, reduciendo los efectos adversos de los vertimientos sobre los medios receptores.

Los resultados obtenidos del efluente en los dos primeros meses de investigación no cumplieron con los LMP, en cambio en el tercer mes de investigación se obtuvieron mejores resultados ya que la concentración de contaminantes en el efluente cumplió en todos los parámetros establecidos en el reglamento. Al cuarto mes y veinte días de caracterización se obtuvo eficiencias de remoción de 97,84 % para los coliformes termotolerantes, 80,35 % para sólidos totales en suspensión (SST), 82,11 % para DQO, 86,44 % para DBO₅. Con estos resultados obtenidos recalcamos la efectividad de los humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Así mismo, Montalván y López (2017) en los humedales artificiales de *Cyperus papyrus* (papiro) y *Typha angustifolia* (totora) en la última caracterización obtuvieron una eficiencia de remoción en: coliformes termotolerantes de 82,54%, sólidos totales en suspensión de 90,47%, DQO de 64,98% y DBO₅ de 66,96%, en resumen, se puede decir que alcanzó una eficiencia del 64% al 90% en todos sus parámetros caracterizados.

Medina y López, (2015) en su investigación; concluyeron : Los análisis obtenidos para las aguas residuales domésticas provenientes del sector cruce de Uchuglla, los afluentes tienen una temperatura que oscila entre 22 y 23 °C, la turbiedad del agua residual domestica varía entre 65 y 88 UTN, dependiendo la cantidad de descarga de aguas residuales domésticas la DBO varía entre 218 y 248 mg/L, en cuanto a los coliformes fecales los valores están entre 5745 y 5617 UFC/100 mL y para los Sólidos Totales en Suspensión los valores oscilan entre 185 y 215 mg/L. Los efluentes que salen del Humedal Artificial tienen una temperatura que oscila entre 22 y 23 °C, la turbiedad del agua residual domestica tratada varía entre 4.5 y 15 UTN, la DBO₅ varía entre 161 y 97 mg/L, en cuanto a los coliformes fecales los valores están entre 1995 y 3541 UFC/100 ml y para los Sólidos Totales en Suspensión los valores oscilan entre 23 y 45 mg/L. En la presente investigación los valores del afluente tienen una temperatura que varía entre 24,1 y 24,5 °C, la turbiedad entre 60,49 y 85,54 UNT, la DBO₅ oscila entre 90 y 177 mg/L y para los SST entre 182 y 285 ml/L. El efluente que sale del humedal artificial tiene una temperatura que varía entre 23.5 a 24.1 °C, la turbidez entre 14.99 y 6.38 UNT, la DBO₅ oscila entre 36 y 21 mg/L y SST entre 171 y 48 ml/L. Por lo que se puede concretar que los humedales artificiales son una buena alternativa de solución en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, mejorando la calidad físico-química y biológica de estas, cumpliendo con los límites máximos permisibles.

CONCLUSIONES

El humedal artificial subsuperficial de flujo vertical se diseñó para un caudal de 3 m³/día, con una relación largo-ancho de 3:1, siendo las medidas 3,15 m de largo, 1,05 m de ancho y una profundidad de 0,80 m; donde se empleó como sustrato 20 cm de grava media (32 mm), 20 cm de grava fina (16 mm) y 25cm de Arena gruesa (2 mm). Sobre la capa de arena gruesa se sembraron 7 esquejes de *Chrysopogon ziznioides* (pasto vetiver) a 0,50 m² cada uno, además se instaló las tuberías de distribución, drenaje y ventilación.

La caracterización de las aguas residuales domésticas han sido eficientes para valores de coliformes termotolerantes que oscilan entre 7 745 y 94 NMP/100 mL, para sólidos totales en suspensión entre 171 y 48 mg/L, para la DQO varía entre 60 y 34 mg/L, para la DBO₅ entre 36 y 21 mg/L, para la turbiedad valores entre 14,99 y 6,38 UNT, para la temperatura entre 24,1 y 23,5 °C y para el pH valores que oscilan entre 7,8 y 7,22. Estos resultados nos demuestran que los humedales artificiales son una tecnología viable para la depuración de aguas residuales, siendo de costos bajos, y de fácil operación y mantenimiento la cual no requieren un trabajo permanente.

Los resultados obtenidos del análisis físico, químico y biológico del efluente para los parámetros coliformes termotolerantes, DQO, DBO₅, turbiedad, temperatura y pH durante el desarrollo de la investigación cumplieron con los límites máximos permisibles (LMP). Para el parámetro de sólidos totales en suspensión sólo las muestras 1 y 3 no cumple con los LMP. Resultados que nos muestra la efectividad del humedal artificial como alternativa de tratamiento de aguas residuales.

El humedal artificial subsuperficial de flujo vertical con *Chrysopogon zizanioides* es eficiente en la remoción de las concentraciones de contaminantes de los parámetros analizados, dado que en el efluente se obtuvieron bajas concentraciones que en comparación con los límites máximos permisibles (LMP) se encuentran dentro del rango establecido, por lo que queda demostrada la efectividad del humedal artificial en esta investigación.

RECOMENDACIONES

A los profesionales formuladores de expedientes técnicos de saneamiento, que requieran aplicar el diseño de un humedal artificial, como tratamiento de aguas residuales domésticas, se recomienda anteceder con un tanque de sedimentación para obtener una mejor remoción de los parámetros analizados y para evitar que los sólidos no obstruyan los orificios de las tuberías de distribución,

A los investigadores de la Facultad de Ecología que deseen realizar una investigación sobre este diseño de humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides*, aplicar con efluentes provenientes de ladrilleras, camales, etc. Para conocer su comportamiento en la remoción de parámetros físicos, químicos y biológicos.

A los gobiernos locales, impulsar a la implementación de humedales artificiales como alternativa de tratamiento de aguas residuales domésticas en las zonas rurales por su bajo costo, gran fiabilidad ambiental, en cuanto a instalación, energía y suministro, operación y mantenimiento, la cual no requieren un trabajo permanente.

A la Municipalidad Distrital de Habana llevar a cabo el respectivo mantenimiento del humedal artificial, realizando podas y limpieza de la superficie del sustrato cada mes, para obtener buenas eficiencias de remoción y mantener a las plantas en un buen estado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

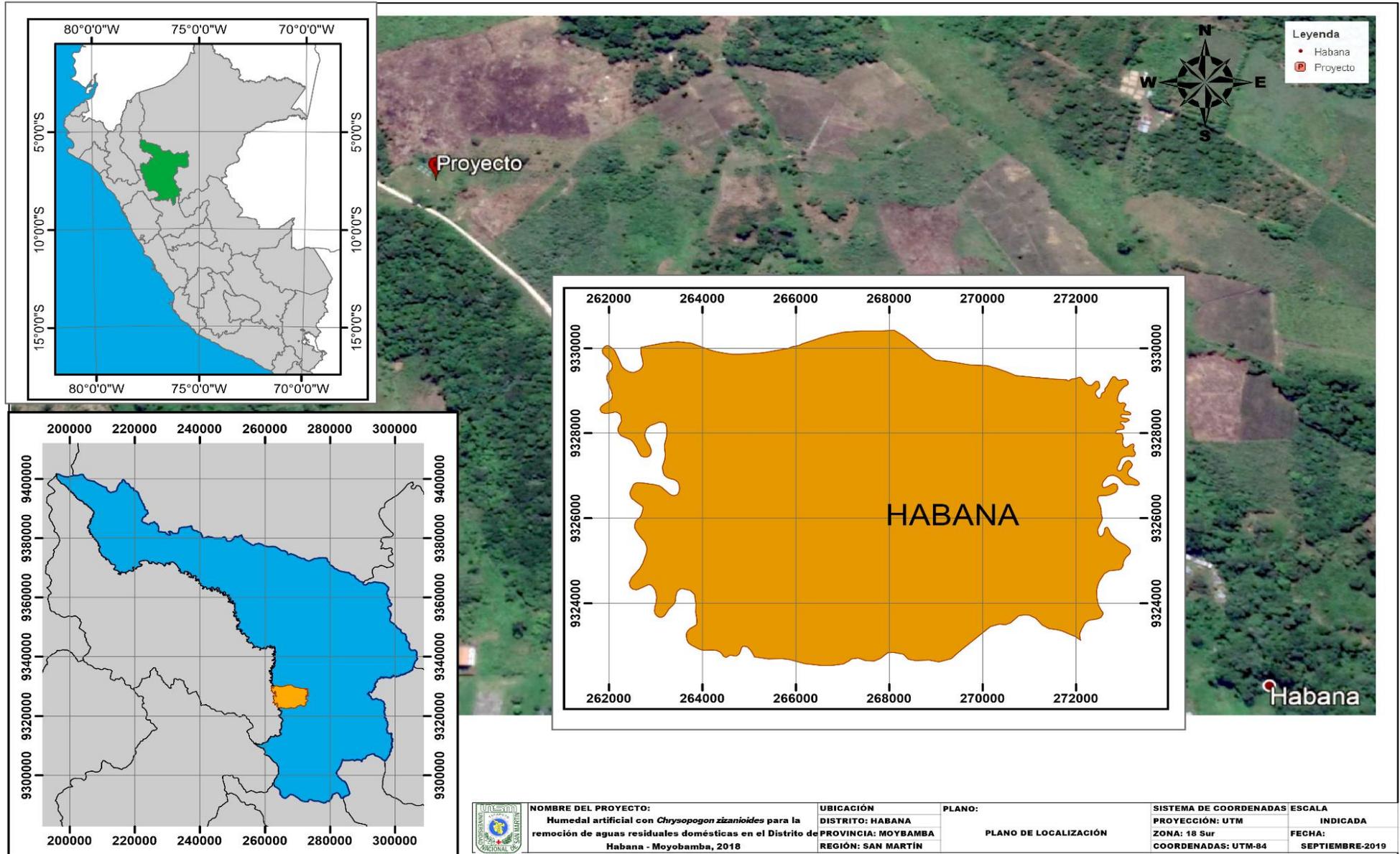
- CÁRDENAS, Jorge. *Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales*. Bogotá. Editorial UD, 2005. 280p. ISBN 9588247306.
- CRITES, Ron y TCHOBANOGLIOUS, George. *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Santa fé de Bogotá. Editorial Mc. Graw Hill, 2000. 1082p. ISBN 9584100432.
- COOPER, Paul. The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rates. *Wat. Sci. Tech*, 2005, vol (51). p. 81-90.
- CUEVA TORRES, Edinson Yasmany y RIVADENEIRA BRAVO, Fidel Alfonso. *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación herbácea*. Tesis (Ingeniero Agropecuario). Santo Domingo, Ecuador. Escuela Politécnica del Ejército, Santo Domingo. Departamento de Ciencias de la Vida, 2013. 94 h.
- DELGADILLO, Óscar, et al. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Bolivia: Cochabamba, 2010. 115 p. Serie técnica. ISBN 978-99954-766-2-5
- DELGADILLO, Óscar, et al. *Zonas húmedas construidas, una tecnología natural para la depuración de aguas residuales con fines de riego en municipios rurales y periurbanos*. En: Reunión sudamericana para manejo y sustentabilidad de riego en regiones áridas. Salvador: Bahía Brasil, 21 al 23 de octubre, 2008. (pp. 24-50).
- DETRINIDAD RUIZ, Rene Salvador y CARBALLO PALMA, Rene Oswaldo. *Efecto del tiempo de inmersión en agua en el desarrollo radical y foliar de la gramínea Vetiver*. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Mangua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía, 2003. 51 h.
- DIAZ ACERO, Carlos Ariel. *Tratamiento de agua residual a través de humedales*. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia Universidad Santo Tomás, 2014.
- ESPIGARES GARCIA, Miguel, PEREZ LOPEZ, José Antonio y GÁLVEZ VARGAS, Ramón. *Aspectos sanitarios de los estudios de las aguas*. 6ta ed. Granada: Universidad de Granada. Servicio de publicaciones, 1985. 215 p. ISBN 84-338-0292-5.

- FERNÁNDEZ GONZALES, Jesús. *Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2004. 32 p.
- GARCÍA, Joan. y CORZO, Angélica. *Depuración con humedales construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. 2008. 108 p.
- García, J., J.M. Bayona y J. Morató. *Depuración con sistemas naturales: humedales construidos*. Ponencia presentada en el “IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua”, Tortosa, España. 2004
- GÓMEZ LORDAN, Yelhsin Miguel. *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento de aguas servidas*. Tesis (Ingeniero agrícola). Lima, Perú. Universidad Agraria la Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, 2017. 165 h.
- HERRERA RAMOS, Harley Junior. *Eficiencia de la *Guadua angustifolia* (Bambú) en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedal artificial en el centro poblado Santa Catalina, distrito y provincia de Moyobamba, 2017*. Tesis (Ingeniero Sanitario). San Martín, Perú. Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ecología, 2017. 113 h.
- MEDINA ABREGU, Freddy Emerson y LÓPEZ BARBARAN, Erwin. *Determinación de la eficiencia del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en el barranco del sector cruce de Uchuglla, de la Ciudad de Moyobamba 2013*. Tesis (Ingeniero Sanitario). San Martín, Perú. Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ecología, 2015. 112 h.
- MONTALVAN GONZALES, Pheter Omar y LOPEZ BARBARAN, Katherin Joel. *Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas residuales domésticas Habana*. Tesis (Ingeniero Sanitario). San Martín, Perú. Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ecología, 2017. 111 h.
- MOREL, A. and DIENER, S. *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of Different Treatment Systems for Households and Neighborhood*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), SANDEC, Dübendorf. 2006.
- ORIHUELA, J. *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)* (En línea). PE. Consultado, 15 de octubre del 2018. Recuperado de: www.vetiver.com.

- PERÚ. Ministerio del ambiente. Ley N° 29338. *Decreto Supremo que modifica el Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG*. Diario el peruano, Perú. 10 de noviembre del 2018.
- PERÚ. Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. *Aprueba límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Diario el peruano, Perú. 17 de marzo de 2010.
- RAMÍREZ CODAVID Juan David. *Evaluación de vetiver (Chrysopogon zizanioides) y la elefanta (Pennisetum purpureum) en el diseño de humedales artificiales*. Tesis (Ingeniero Ambiental.). Medellín, Colombia. Universidad de Medellin, Facultad de Ingeniería, 2015. 260 h.
- RAMSAR, Gland. *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales* (Ramsar, Irán, 1971). Suiza: 4ta.edición. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006.
- Rodríguez, P. *Vetiver una planta para el control de la erosión y la protección ambiental*. 2a ed. Maracay, Venezuela. Editorial Sociedad Conservacionista Aragua, 1997. P 2-12
- ROMERO, Jairo. *Tratamiento de las aguas residuales, teoría y principios de diseño*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2013. 1248 p. ISBN 9588060133.
- RUSSELL, David. *Tratamiento de aguas residuales. Un enfoque práctico*. España: Barcelona. Editorial Reverté S.A., 2012. 273 p. ISBN. 9788429179767
- SCAVO K, Mónica Patricia, RODRIGUEZ P, Oscar S y LUQUE, Oswaldo. *Estudio de un sistema de tratamiento de aguas residuales complementario, con pasto vetiver (Vetiveria zizanioides.), provenientes de una planta de producción de gaseosas, en Villa de Cura, estado Aragua*. Tesis de maestría (Ingeniería Agrícola). Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, 2004. 71 h.
- SEOÁNEZ, Mariano. *Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento*. 2ª ed. España: Madrid. Editorial Mundi-prensa, 1999. 368 p. ISBN: 84-7114-545-6
- TRUONG, P. *Vetiver Grass Technology for Mine Rehabilitation. Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin N° 2. Vetiver Conf.* TH. (En línea).1999 Recuperado de <http://www.vetiver.com>

ANEXOS

Anexo A: Mapa de localización del proyecto de investigación.



Anexo B: Limite máximos permisibles para los efluentes PTAR.

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
Ph	Unidad	6.4 – 8.5
Sólidos totales en suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: D.S. N° 003-2010-MINAM.

Anexo C. Caracterización de parámetros físicos, químicos y biológicos

Parámetro	Unidad	Muestra	Afluente	Efluente	Eficiencia (%)	LMP
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	1	9 250	7 745	16,27	10.000
		2	7 352	5 540	24,65	
		3	4 674	1 243	73,41	
		4	6 241	467	92,52	
		5	7 240	432	94,03	
		6	5 479	146	97,34	
		7	4 352	94	97,84	
Sólidos totales en suspensión	mL/L	1	204	171	16,18	150
		2	182	136	25,27	
		3	232	152	34,48	
		4	235	121	48,51	
		5	253	82	67,59	
		6	214	48	77,57	
		7	285	56	80,35	
DQO	mg/L	1	150	58	61,33	200
		2	154	56	63,64	
		3	186	60	67,74	
		4	174	42	75,86	
		5	162	44	72,84	
		6	127	34	73,23	
		7	218	39	82,11	
DBO ₅	mg/L	1	90	36	60,00	100
		2	90	33	63,33	
		3	129	27	79,07	
		4	129	24	81,40	
		5	126	23	81,75	
		6	109	21	80,73	
		7	177	24	86,44	
Turbiedad	UNT	1	60,49	14,99	75,22	---
		2	59,32	10,43	82,42	
		3	78,36	12,43	84,14	
		4	74	8,35	88,72	
		5	79,44	8,12	89,78	
		6	72,28	7,32	89,87	
		7	85,54	6,38	92,54	
Temperatura (In situ)	°C	1	24,1	23,8	---	< 35°
		2	24,5	24,1	---	
		3	24,1	23,5	---	
		4	24,3	23,8	---	
		5	24,3	23,9	---	
		6	24,2	23,8	---	
		7	24,4	24	---	
pH (In situ)	---	1	7,05	7,6	---	6.5 - 8.5
		2	7,52	7,8	---	
		3	7,18	7,22	---	
		4	7,16	7,69	---	
		5	7,11	7,48	---	
		6	7,2	7,43	---	
		7	7,14	7,4	---	

Fuente: Informe N° 012, 015, 018, 019, 021, 025, 032 de Anaquímicos Servicios Generales; elaboración propia.

Anexo D: Distribución t-Student

Grados de libertad	Niveles de Significancia DOS COLA									
	0.500	0.250	0.200	0.100	0.050	0.025	0.020	0.010	0.005	
1	1.00	2.41	3.08	6.31	12.71	25.45	31.82	63.66	127.32	
2	0.82	1.60	1.89	2.92	4.30	6.21	6.96	9.92	14.09	
3	0.76	1.42	1.64	2.35	3.18	4.18	4.54	5.84	7.45	
4	0.74	1.34	1.53	2.13	2.78	3.50	3.75	4.60	5.60	
5	0.73	1.30	1.48	2.02	2.57	3.16	3.36	4.03	4.77	
6	0.72	1.27	1.44	1.94	2.45	2.97	3.14	3.71	4.32	
7	0.71	1.25	1.41	1.89	2.36	2.84	3.00	3.50	4.03	
8	0.71	1.24	1.40	1.86	2.31	2.75	2.90	3.36	3.83	
9	0.70	1.23	1.38	1.83	2.26	2.69	2.82	3.25	3.69	
10	0.70	1.22	1.37	1.81	2.23	2.63	2.76	3.17	3.58	
11	0.70	1.21	1.36	1.80	2.20	2.59	2.72	3.11	3.50	
12	0.70	1.21	1.36	1.78	2.18	2.56	2.68	3.05	3.43	
13	0.69	1.20	1.35	1.77	2.16	2.53	2.65	3.01	3.37	
14	0.69	1.20	1.35	1.76	2.14	2.51	2.62	2.98	3.33	
15	0.69	1.20	1.34	1.75	2.13	2.49	2.60	2.95	3.29	
16	0.69	1.19	1.34	1.75	2.12	2.47	2.58	2.92	3.25	
17	0.69	1.19	1.33	1.74	2.11	2.46	2.57	2.90	3.22	
18	0.69	1.19	1.33	1.73	2.10	2.45	2.55	2.88	3.20	
19	0.69	1.19	1.33	1.73	2.09	2.43	2.54	2.86	3.17	
20	0.69	1.18	1.33	1.72	2.09	2.42	2.53	2.85	3.15	
21	0.69	1.18	1.32	1.72	2.08	2.41	2.52	2.83	3.14	
22	0.69	1.18	1.32	1.72	2.07	2.41	2.51	2.82	3.12	
23	0.69	1.18	1.32	1.71	2.07	2.40	2.50	2.81	3.10	
24	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.39	2.49	2.80	3.09	
25	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.38	2.49	2.79	3.08	
26	0.68	1.18	1.31	1.71	2.06	2.38	2.48	2.78	3.07	
27	0.68	1.18	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.77	3.06	
28	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.76	3.05	
29	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.36	2.46	2.76	3.04	
30	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.46	2.75	3.03	
31	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.45	2.74	3.02	
32	0.68	1.17	1.31	1.69	2.04	2.35	2.45	2.74	3.01	
33	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.01	
34	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.00	
35	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.44	2.72	3.00	
36	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99	
37	0.68	1.17	1.30	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99	
38	0.68	1.17	1.30	1.69	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98	
39	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98	
40	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.42	2.70	2.97	

Fuente: Distribución t Student. (Gosset Wiliam, 1908)

Anexo E. Análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos

ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS N° 1

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:

“Humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* para la remoción de aguas residuales domésticas en el distrito de Habana – Moyobamba, 2018”

RESPONSABLE DEL LABORATORIO : Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardales.

SOLICITANTES : Danny Deyby Córdova Agreda

Telesforo Huamán García

PUNTO DE MUESTREO : Humedal artificial; afluyente-efluente

TIPO DE MUESTRA : Agua residual.

LUGAR : PTAR-Habana

LUGAR DEL ANÁLISIS : Laboratorio de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología-UNSM-T

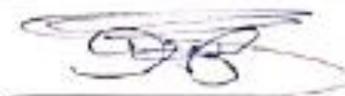
FECHA DE MUESTREO : 08/03/2019 hasta 08/07 2019

HORA : 3:00pm

FECHA DE EMISIÓN : 20/07/2019

Muestreo N° 01: 08 de marzo del 2019

Parámetro	Método utilizado	Unidad	Resultados del humedal artificial	
			Afluyente	Efluente
Sólidos totales en suspensión	Diferencia de masas	ml/L	204	171
DQO	Colorímetro	mg/L	150	58
DBO ₅	Prueba de DBO 5 días	mg/L	90	36
Turbiedad	Nefelométrico	UNT	60,49	14,99



Muestreo N° 02: 28 de marzo del 2019

Parámetro	Método utilizado	Unidad	Resultados del humedal artificial	
			Afluente	Efluente
Sólidos totales en suspensión	Diferencia de masas	mL/L	182	136
DQO	Colorímetro	mg/L	154	56
DBO ₅	Prueba de DBO 5 días	mg/L	90	33
Turbiedad	Nefelométrico	UNT	59,32	10,43

Muestreo N° 03: 19 de abril del 2019

Parámetro	Método utilizado	Unidad	Resultados del humedal artificial	
			Afluente	Efluente
Sólidos totales en suspensión	Diferencia de masas	mL/L	232	152
DQO	Colorímetro	mg/L	186	60
DBO ₅	Prueba de DBO 5 días	mg/L	129	27
Turbiedad	Nefelométrico	UNT	78,36	12,43

Muestreo N° 04: 09 de mayo del 2019

Parámetro	Método utilizado	Unidad	Resultados del humedal artificial	
			Afluente	Efluente
Sólidos totales en suspensión	Diferencia de masas	mL/L	235	121
DQO	Colorímetro	mg/L	174	42
DBO ₅	Prueba de DBO 5 días	mg/L	129	24
Turbiedad	Nefelométrico	UNT	74	8,35

Muestreo N° 05: 29 de mayo del 2019

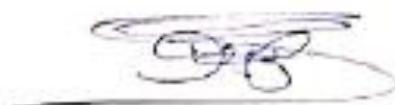
Parámetro	Método utilizado	Unidad	Resultados del humedal artificial	
			Afluente	Efluente
Sólidos totales en suspensión	Diferencia de masas	mL/L	253	82
DQO	Colorímetro	mg/L	162	44
DBO ₅	Prueba de DBO 5 días	mg/L	126	23
Turbiedad	Nefelométrico	UNT	79,44	8,12

Muestreo N° 06: 18 de junio del 2019

Parámetro	Método utilizado	Unidad	Resultados del humedal artificial	
			Afluente	Efluente
Sólidos totales en suspensión	Diferencia de masas	mL/L	214	48
DQO	Colorímetro	mg/L	127	34
DBO ₅	Prueba de DBO 5 días	mg/L	109	21
Turbiedad	Nefelométrico	UNT	72,28	7,32

Muestreo N° 07: 08 de julio del 2019

Parámetro	Método utilizado	Unidad	Resultados del humedal artificial	
			Afluente	Efluente
Sólidos totales en suspensión	Diferencia de masas	mL/L	285	56
DQO	Colorímetro	mg/L	218	39
DBO ₅	Prueba de DBO 5 días	mg/L	177	24
Turbiedad	Nefelométrico	UNT	85,54	6,38



Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardales
Responsable del laboratorio de Ingeniería
Sanitaria, Facultad de Ecología-UNSM-T

Anexo F. Análisis del parámetro coliformes Termotolerantes



INFORME N° 012-2019/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : DANNY DEYBY CÓRDOVA AGREDA
TELÉSFORO HUAMÁN GARCÍA

PROYECTO DE TESIS : "HUMEDAL ARTIFICIAL CON *chrysopogon zizanioides*
PARA LA REMOCIÓN DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS EN EL DISTRITO DE HABANA-
MOYOBAMBA, 2018".

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual

PUNTO DE MUESTREO : Entrada al humedal artificial de flujo vertical y Salida
del Humedal Artificial.

SECTOR : Distrito de Habana

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 08-03-2019

MUESTREADO POR : Solicitante

FECHA DE EMISIÓN : 14-03-2019

RESULTADOS DE ENSAYOS

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	
		Entrada al humedal artificial de flujo Vertical	Salida del Humedal artificial
Coliformes Termotolerantes (44.5 +/- 0.2°C)	NMP/100ml	9250	7745

Metodología: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 23rd Ed-2017.

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

INFORME N° 015-2019/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : DANNY DEYBY CÓRDOVA AGREDA
TELÉSFORO HUAMÁN GARCÍA

PROYECTO DE TESIS : "HUMEDAL ARTIFICIAL CON *chrysopogon zizanioides*
PARA LA REMOCIÓN DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS EN EL DISTRITO DE HABANA-
MOYOBAMBA, 2018".

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual

PUNTO DE MUESTREO : Entrada al humedal artificial de flujo vertical y Salida
del Humedal Artificial.

SECTOR : Distrito de Habana

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 28-03-2019

MUESTREO POR : Solicitante

FECHA DE EMISIÓN : 04-04-2019

RESULTADOS DE ENSAYOS

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	
		Entrada al humedal artificial de flujo Vertical	Salida del Humedal artificial
Coliformes Termotolerantes (44.5 +/- 0.2°C)	NMP/100ml	7352	5540

Metodología: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 23rd Ed-2017.

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL

Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

INFORME N° 018-2019/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : DANNY DEYBY CÓRDOVA AGREDA
TELÉSFORO HUAMÁN GARCÍA

PROYECTO DE TESIS : "HUMEDAL ARTIFICIAL CON *chrysopogon zizanioides*
PARA LA REMOCIÓN DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS EN EL DISTRITO DE HABANA-
MOYOBAMBA, 2018".

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual

PUNTO DE MUESTREO : Entrada al humedal artificial de flujo vertical y Salida
del Humedal Artificial.

SECTOR : Distrito de Habana

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 19-04-2019

MUESTREADO POR : Solicitante

FECHA DE EMISIÓN : 25-04-2019

RESULTADOS DE ENSAYOS

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	
		Entrada al humedal artificial de flujo Vertical	Salida del Humedal artificial
Coliformes Termotolerantes (44.5 +/- 0.2°C)	NMP/100ml	4674	1243

Metodología: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 23rd Ed-2017.

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

INFORME N° 019-2019/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : DANNY DEYBY CÓRDOVA AGREDA
TELÉSFORO HUAMÁN GARCÍA

PROYECTO DE TESIS : "HUMEDAL ARTIFICIAL CON *chrysopogon zizanioides*
PARA LA REMOCIÓN DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS EN EL DISTRITO DE HABANA-
MOYOBAMBA, 2018".

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual

PUNTO DE MUESTREO : Entrada al humedal artificial de flujo vertical y Salida
del Humedal Artificial.

SECTOR : Distrito de Habana

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 09-05-2019

MUESTREADO POR : Solicitante

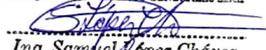
FECHA DE EMISIÓN : 14-05-2019

RESULTADOS DE ENSAYOS

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	
		Entrada al humedal artificial de flujo Vertical	Salida del Humedal artificial
Coliformes Termotolerantes (44.5 +/- 0.2°C)	NMP/100ml	6241	467

Metodología: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 23rd Ed-2017.

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

INFORME N° 021-2019/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : DANNY DEYBY CÓRDOVA AGREDA
TELÉSFORO HUAMÁN GARCÍA

PROYECTO DE TESIS : "HUMEDAL ARTIFICIAL CON *crhysopogon zizanioides*
PARA LA REMOCIÓN DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS EN EL DISTRITO DE HABANA-
MOYOBAMBA, 2018".

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual

PUNTO DE MUESTREO : Entrada al humedal artificial de flujo vertical y Salida
del Humedal Artificial.

SECTOR : Distrito de Habana

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 29-05-2019

MUESTREADO POR : Solicitante

FECHA DE EMISIÓN : 06-06-2019

RESULTADOS DE ENSAYOS

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	
		Entrada al humedal artificial de flujo Vertical	Salida del Humedal artificial
Coliformes Termotolerantes (44.5 +/- 0.2°C)	NMP/100ml	7240	432

Metodología: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 23rd Ed-2017.

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

INFORME N° 025-2019/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : DANNY DEYBY CÓRDOVA AGREDA
TELÉSFORO HUAMÁN GARCÍA

PROYECTO DE TESIS : "HUMEDAL ARTIFICIAL CON *crhysopogon zizanioides*
PARA LA REMOCIÓN DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS EN EL DISTRITO DE HABANA-
MOYOBAMBA, 2018".

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual

PUNTO DE MUESTREO : Entrada al humedal artificial de flujo vertical y Salida
del Humedal Artificial.

SECTOR : Distrito de Habana

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 18-06-2019

MUESTREADO POR : Solicitante

FECHA DE EMISIÓN : 24-06-2019

RESULTADOS DE ENSAYOS

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	
		Entrada al humedal artificial de flujo Vertical	Salida del Humedal artificial
Coliformes Termotolerantes (44.5 +/- 0.2°C)	NMP/100ml	5479	146

Metodología: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 23rd Ed-2017.

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140074
TITULAR GERENTE



ANAQUIMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

INFORME N° 032-2019/ANAQUIMICOS/CC/SLCH

SOLICITANTES : DANNY DEYBY CÓRDOVA AGREDA
TELÉSFORO HUAMÁN GARCÍA

PROYECTO DE TESIS : "HUMEDAL ARTIFICIAL CON *crhysopogon zizanioides*
PARA LA REMOCIÓN DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS EN EL DISTRITO DE HABANA-
MOYOBAMBA, 2018".

TIPO DE MUESTRA : Agua Residual

PUNTO DE MUESTREO : Entrada al humedal artificial de flujo vertical y Salida
del Humedal Artificial.

SECTOR : Distrito de Habana

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 08-07-2019

MUESTREADO POR : Solicitante

FECHA DE EMISIÓN : 15-07-2019

RESULTADOS DE ENSAYOS

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	
		Entrada al humedal artificial de flujo Vertical	Salida del Humedal artificial
Coliformes Termotolerantes (44.5 +/- 0.2°C)	NMP/100ml	4352	94

Metodología: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 23rd Ed-2017.

ANAQUIMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL


Ing. Santael López Chávez
CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE

Anexo G: Panel fotográfico



Fotografía 1. Selección y limpieza del terreno



Fotografía 2. Nivelación de terreno



Fotografía 3. Solado de 10 cm



Fotografía 4. Construcción de la caja de registro



Fotografía 5. Construcción del humedal artificial



Fotografía 6. Colocación de la grava gruesa



Fotografía 7. Colocación de la grava fina.



Fotografía 8. Colocación de arena gruesa.



Fotografía 9. Sembrío de los esquejes de *Chrysopogon zizanioides*



Fotografía 10. Crecimiento del pasto vetiver al tercer mes.



Fotografía 11. Pasto vetiver a los cuatro meses y 20 días de sembrado



Fotografía 12. Toma de muestras a la entrada del humedal artificial.



Fotografía 13. Toma de muestras a la salida del humedal artificial



Fotografía 14. Muestras tomadas pre-post tratamiento del humedal artificial



Fotografía 15. Medición de los parámetros en el laboratorio

