



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 MARTÍN – TARAPOTO**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**



**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 para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario**

**AUTOR:**

**Harley Jhunion Herrera Ramos**

**ASESOR:**

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

**Código N° 6056317**

**Moyobamba – Perú**

**2018**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

## FACULTAD DE ECOLOGÍA

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**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**

**AUTOR:**

**Bach. Harley Jhunion Herrera Ramos**

**Sustentado y aprobado el 19 de diciembre del 2018, por los siguientes jurados**

**Blgo. Pesq. Estela Bances Zapata**  
Presidente

**Ing. Juan José Pinedo Canta**  
Secretario

**Blgo. M. Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez**  
Miembro

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

## Declaratoria de Autenticidad

**Harley Jhonor Herrera Ramos**, identificado con DNI N° 70434761, bachiller de la Facultad de Ecología, Escuela profesional de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **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**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 19 de diciembre del 2018.



  
.....  
**Harley Jhonor Herrera Ramos**  
DNI N° 70434761

**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: <i>Herrera Ramos Harley Jhonor</i>	
Código de alumno : <i>70434761</i>	Teléfono: <i>922223275</i>
Correo electrónico : <i>jhonor_22-12@hotmail.com</i>	DNI: <i>70434761</i>

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

**2. Datos Académicos**

Facultad de: <i>Ecología</i>
Escuela Profesional de: <i>Ingeniería Sanitaria</i>

**3. Tipo de trabajo de investigación**

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

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título: <i>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</i>
Año de publicación: <i>2018</i>

**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".

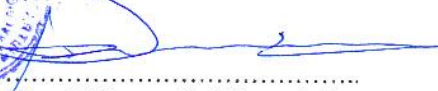
  
.....  
Firma del Autor

## 8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

20 / 03 / 2019



  
.....  
Firma del Responsable de Repositorio  
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso  
Abierto de la UNSM - T.

\* **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 Santos Clemente Herrera Díaz y María Elizabeth Ramos Gálvez por el amor, por sus consejos, por su invaluable apoyo que siempre me han brindado y por guiarme en mi formación personal y profesional.*

*A mis hermanas Mercy, Kathery y Greysi por lo que significan para mí, por estar siempre presentes cada día durante mi vida universitaria y ser parte de una gran familia.*

*El autor*

## **Agradecimiento**

*A Dios por darme la vida y por brindarme días llenos de aprendizajes, a mis queridos padres, por guiarme siempre con sus consejos y por haberme dado la oportunidad de estudiar esta carrera profesional, a mis hermanas, familiares, amigos, por llenarme la vida de alegrías, a la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín por acogerme en sus aulas, a los docentes por compartir e implantar sus conocimientos permitiendo mi formación profesional, al Ing. Santiago Alberto Casas Luna por su apoyo como asesor para el desarrollo de este proyecto de investigación, a Cynthia Lilibeth Carranza Angulo por su compañía y amor incondicional, a Junior Eduardo Zaldivar Díaz por guiarme en el desarrollo de este proyecto y un agradecimiento especial a mi inquebrantable amigo Julio César Arbaiza Rojas por su apoyo desinteresado todo este tiempo.*

*El autor*



## Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento .....	vii
Índice general .....	viii
Índice de tablas .....	x
Índice de figuras .....	xii
Índice de fotografías .....	xiii
Resumen .....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción.....	1
CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
1.1. Antecedentes de la investigación .....	3
1.2. Bases teóricas .....	5
1.2.1. Humedales artificiales .....	7
1.2.2. Mecanismos de remoción en humedales artificiales .....	9
1.2.3. Diseño de humedal sub superficial de flujo horizontal .....	11
1.2.4. <i>Guadua angustifolia</i> “Bambú” .....	14
1.3. Definición de términos básicos .....	18
CAPÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS.....	20
2.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	22
2.2. Procedimiento.....	23
2.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	25
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	27
3.1. Diseño hidráulico del humedal artificial .....	27
3.2. Diseño general del humedal artificial para el proceso de tratamiento .....	30
3.3. Resultados de las muestras .....	31
3.4. Análisis de eficiencias de los resultados obtenidos.....	35
3.5. Eficiencias de remoción obtenidos de los humedales artificiales .....	40
3.6. Comparación de los efluentes de los humedales artificiales con los LMP.....	41
3.7. Comprobación de la hipótesis. ....	52
3.8. Discusión de resultados .....	65

CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES .....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71
ANEXOS .....	73

## Índice de tablas

Tabla 1. Parámetros y LMP de efluentes para vertimientos.....	7
Tabla 2. Características principales de substratos usados en humedales artificiales.....	13
Tabla 3. Parámetros de diseño de los humedales artificiales .....	14
Tabla 4. Operacionalización de las variables .....	20
Tabla 5. Método de ensayo.....	23
Tabla 6. Dotación de agua fría.....	26
Tabla 7. Dotación de agua de terreno.....	26
Tabla 8. Eficiencia de remoción de parámetros de la primera muestra.....	31
Tabla 9. Eficiencia de remoción de parámetros de la segunda muestra .....	32
Tabla 10. Eficiencia de remoción de parámetros de la tercera muestra .....	33
Tabla 11. Eficiencia de remoción de parámetros de la cuarta muestra .....	34
Tabla 12. Eficiencia de remoción de parámetros de la quinta muestra .....	34
Tabla 13. Eficiencia de remoción de parámetros de la sexta muestra.....	35
Tabla 14. Eficiencia de remoción de DQO.....	36
Tabla 15. Eficiencia de remoción de DBO <sub>5</sub> .....	37
Tabla 16. Eficiencia de remoción de turbidez .....	38
Tabla 17. Eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes .....	39
Tabla 18. Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales.....	40
Tabla 19. Eficiencias de remoción de humedales artificiales.....	41
Tabla 20. Comparación del DQO con los LMP .....	41
Tabla 21. Comparación del DBO <sub>5</sub> con los LMP .....	43
Tabla 22. Comparación del pH con los LMP .....	45
Tabla 23. Comparación de la temperatura con los LMP .....	47
Tabla 24. Comparación de coliformes termotolerantes con los LMP .....	48
Tabla 25. Comparación de sólidos suspendidos totales con los LMP.....	51
Tabla 26. IC y prueba T pareada para DQO inicial; DQO final en humedal 1 .....	53
Tabla 27. IC y prueba T pareada para DQO inicial; DQO final en humedal 2 .....	54
Tabla 28. IC y prueba T pareada para DQO inicial; DQO final en humedal 3 .....	54
Tabla 29. IC y Prueba T pareada: DBO <sub>5</sub> inicial; DBO <sub>5</sub> final en humedal 1 .....	54
Tabla 30. IC y Prueba T pareada: DBO <sub>5</sub> inicial; DBO <sub>5</sub> final en humedal 2 .....	55
Tabla 31. IC y Prueba T pareada: DBO <sub>5</sub> inicial; DBO <sub>5</sub> final en humedal 3 .....	55
Tabla 32. IC y Prueba T pareada: CT inicial; CT final en humedal 1 .....	55

Tabla 33. IC y Prueba T pareada: CT inicial; CT final en humedal 2.....	56
Tabla 34. IC y Prueba T pareada: CT inicial; CT final en humedal 3.....	56
Tabla 35. IC y Prueba T pareada: SST inicial; SST final en humedal 1 .....	56
Tabla 36. IC y Prueba T pareada: SST inicial; SST final en humedal 2 .....	57
Tabla 37. IC y Prueba T pareada: SST inicial; SST final en humedal 3 .....	57
Tabla 38. Pruebas de efectos inter-humedales, variable dependiente DQO.....	58
Tabla 39. Pruebas de efectos inter-humedales, variable dependiente DBO <sub>5</sub> .....	58
Tabla 40. Pruebas de efectos inter-humedales, variable dependiente CT .....	59
Tabla 41. Pruebas de efectos inter-humedales, variable dependiente SST .....	59
Tabla 42. Prueba Duncan, parámetro DQO.....	60
Tabla 43. Prueba Duncan, parámetro DBO <sub>5</sub> .....	60
Tabla 44. Prueba Duncan, parámetro coliformes termotolerantes .....	61
Tabla 45. Prueba Duncan, parámetro sólidos suspendidos totales .....	61
Tabla 46. Pruebas de normalidad de parámetros .....	62
Tabla 47. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error <sup>a</sup> .....	62
Tabla 48. Evaluaciones realizadas para los tres humedales artificiales .....	64

## Índice de figuras

Figura 1. Clasificación de humedales artificiales (Delgadillo et al., 2010).....	7
Figura 2. Distribución de la <i>Guadua angustifolia</i> “Bambú” .....	25
Figura 3. Diseño general experimental del tratamiento.....	30
Figura 4. Eficiencia de remoción de DQO .....	36
Figura 5. Eficiencia de remoción de DBO <sub>5</sub> .....	37
Figura 6. Eficiencia de remoción de turbidez.....	38
Figura 7. Eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes .....	39
Figura 8. Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales.....	40
Figura 9. Comparación del DQO con los LMP del humedal 1 .....	42
Figura 10. Comparación del DQO con los LMP del humedal 2 .....	42
Figura 11. Comparación del DQO con los LMP del humedal 3 .....	43
Figura 12. Comparación del DBO <sub>5</sub> con los LMP del humedal 1 .....	44
Figura 13. Comparación del DBO <sub>5</sub> con los LMP del humedal 2 .....	44
Figura 14. Comparación del DBO <sub>5</sub> con los LMP del humedal 3 .....	45
Figura 15. Comparación del pH con los LMP del humedal 1 .....	45
Figura 16. Comparación del pH con los LMP del humedal 2.....	46
Figura 17. Comparación del pH con los LMP del humedal 3.....	46
Figura 18. Comparación de la temperatura con los LMP del humedal 1 .....	47
Figura 19. Comparación de la temperatura con los LMP del humedal 2 .....	47
Figura 20. Comparación de la temperatura con los LMP del humedal 3 .....	48
Figura 21. Comparación de coliformes termotolerantes con los LMP del humedal 1 ...	49
Figura 22. Comparación de coliformes termotolerantes con los LMP del humedal 2 ...	49
Figura 23. Comparación de coliformes termotolerantes con los LMP del humedal 3 ...	50
Figura 24. Comparación de SST con los LMP del humedal 1 .....	51
Figura 25. Comparación de SST con los LMP del humedal 2 .....	51
Figura 26. Comparación de SST con los LMP del humedal 3 .....	52

## Índice de fotografías

Fotografía 1. Selección y limpieza del terreno .....	74
Fotografía 2. Construcción de paredes con ladrillo tipo sogá .....	74
Fotografía 3. Tarrajeo de muros e impermeabilizado con Zika .....	74
Fotografía 4. Sistema de humedales .....	75
Fotografía 5. Instalación de accesorios sanitarios .....	75
Fotografía 6. Accesorios sanitarios a la entrada del humedal artificial .....	75
Fotografía 7. Accesorios sanitarios a la salida del humedal artificial .....	76
Fotografía 8. Colocación de la grava .....	76
Fotografía 9. Siembra de la <i>Guadua angustifolia</i> en el humedal 3 .....	76
Fotografía 10. Siembra de la <i>Guadua angustifolia</i> en el humedal 1 .....	77
Fotografía 11. Crecimiento de la <i>Guadua angustifolia</i> .....	77
Fotografía 12. Recojo de muestras a la salida del humedal .....	77
Fotografía 13. Muestras tomadas de los tres humedales artificiales .....	78
Fotografía 14. Muestras .....	78
Fotografía 15. Recojo de muestras .....	78
Fotografía 16. Planta general del sistema de humedales .....	79

## Resumen

La investigación “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”, tuvo como objetivo determinar la eficiencia del *Guadua angustifolia* “Bambú” en el tratamiento de aguas residuales domésticas y generar una alternativa de tratamiento para disminuir el foco de contaminación generada por la mala disposición final de las aguas residuales domésticas y mejorar la calidad ambiental y sanitaria; con la finalidad de cumplir los objetivos propuestos la investigación se desarrolló entre los meses Febrero – Junio del año 2018 donde se diseñó los humedales artificiales con las aguas residuales domésticas generadas de dos viviendas del centro poblado Santa Catalina y se construyó tres humedales artificiales, el primero con 5 plantas de *Guadua angustifolia*, el segundo (sin plantas) y el tercero con 10 plantas de *Guadua angustifolia*, la evaluación se realizó durante los meses de marzo, abril, mayo y junio, según los resultados, se obtuvo una considerable remoción de la concentración en los parámetros evaluados, las eficiencias de remoción estiman disminuciones de entre 84,14% a 88,92% para la DQO, para la DBO<sub>5</sub> de entre 84,86% a 91,85%; para coliformes termotolerantes de entre 90,84% a 92,93% y para sólidos suspendidos totales valores de remoción de entre 75,85% a 84,20%, lográndose disminuir significativamente los parámetros evaluados, constituyéndose en una alternativa de solución a bajo costo con alta eficiencia de remoción y cumpliendo con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos.

**Palabras Clave:** Agua residual, humedal, humedales artificiales, tratamiento, remoción, DBO, DQO.

## Abstract

The following research titled as "Efficiency of the *Guadua angustifolia*" "Bambú" in the treatment of domestic wastewater through the use of "artificial wetland" in the town of Santa Catalina, district and province of Moyobamba", with the objective of determining the efficiency of the *Guadua angustifolia* "Bambú" in the treatment of domestic wastewater and generate an alternative treatment to reduce the communication focus generated by the final poor disposal of domestic wastewater and improve environmental and sanitary quality; In order to comply with the proposed objectives, the research refers to the months of February - June of 2018, where artificial wetlands are designed with domestic waters, homes are generated in the Santa Catalina town center and wetlands are built artificial, the first with 5 plants of *Guadua angustifolia*, the second (without plants) and the third with 10 plants of *Guadua angustifolia*, the evaluation is carried out during the months of March, April, May and June, depending on the results, a considerable removal of the concentration in the parameters evaluated, the estimated removal efficiencies decrease between 84.14% to 88.92% for the COD, for the BOD5 of between 84.86% to 91.85%; for thermo tolerant coliforms between 90.84% to 92.93% and for total suspended solids removal values between 75.85% to 84.20%, achieving to decrease the parameters evaluated, becoming an alternative solution at low cost with the efficiency of removal and compliance with the maximum permissible limits (LMP) established.

Keywords: Wastewater, wetland, artificial wetlands, treatment, removal, BOD, COD.





## Introducción

El 80 % de las aguas residuales mundiales no reciben un tratamiento adecuado para evitar la contaminación y la propagación de enfermedades, además el daño ocasionado por las aguas residuales a los ecosistemas y la biodiversidad es grave y el manejo inadecuado de las aguas residuales tiene consecuencias muy graves para la salud humana, el medio ambiente y el desarrollo económico porque contamina las fuentes de suministro, lo que aumenta el riesgo de enfermedades infecciosas, el deterioro del agua subterránea y de otros ecosistemas locales frente a este panorama surge la necesidad de crear nuevas alternativas tecnológicas para el tratamiento de las aguas residuales. En el Perú, el inadecuado tratamiento de las aguas residuales es un tema preocupante por el gran impacto generado al medio biótico y la salud humana generando problemas ambientales como la contaminación de los cuerpos de agua y conflictos en la población.

Este proyecto de investigación busca una alternativa de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedal artificial con la especie *Guadua angustifolia* “Bambú” en el centro poblado Santa Catalina, distrito y provincia de Moyobamba, donde las aguas residuales generadas de sus viviendas no tienen un adecuado tratamiento, disponiendo sus excretas en letrinas en mal estado, silos a campo abierto, además sus aguas residuales provenientes de lavatorios y duchas son vertidas directamente en sus huertas al aire libre generándose un foco de contaminación poniendo en riesgo la salud de las personas y el medio ambiente, con problemática descrita anteriormente nos formulamos la siguiente interrogante : ¿Cuál es la eficiencia del *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?.

El proyecto de investigación tuvo como objetivo general: “Determinar la eficiencia del *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” y como objetivos específicos: Diseñar y construir el sistema de tratamiento con humedal artificial usando la especie *Guadua angustifolia* “Bambú” en el centro poblado Santa Catalina, caracterizar los parámetros físicos, químicos y biológicos (DBO<sub>5</sub>, DQO, pH, sólidos suspendidos totales, temperatura, turbiedad y coliformes termotolerantes) de las aguas residuales domésticas generadas del centro poblado Santa Catalina pre y post tratamiento mediante humedal artificial, y comparar los resultados obtenidos con los Límites

Máximos Permisibles establecidos y determinar la eficiencia del *Guadua angustifolia* “Bambú” en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Con la realización del presente proyecto de investigación se pretendió aprovechar la especie *Guadua angustifolia* “Bambú” mediante humedal artificial, para disminuir el foco de contaminación generada por la mala disposición final de las aguas residuales domésticas del centro poblado Santa Catalina, considerando que esta especie tiene un gran volumen de raíces, su crecimiento es rápido y para su reproducción no requiere muchas exigencias, así mismo los humedales artificiales independientemente de la especie heliófita utilizada, tienen en una alta eficiencia en remoción de Demanda Biológica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno (Delgadillo et al., 2010 p. 25).

Este informe del proyecto de investigación está estructurado con tres capítulos, cada uno de los cuales está enfocado en los siguientes aspectos:

**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 análisis de los resultados, comprobación de la hipótesis y la discusión de los resultados.

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

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### Antecedentes de la investigación

#### Antecedentes internacionales

Otálora (2011). En su proyecto de investigación “Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de Caño Gandú” obtuvo una eficiencia para la remoción de la DBO de un 89% sin embargo los valores de remoción en el humedal presentan en promedio un 45%, situación posiblemente influida por la producción de DBO residual debida a la descomposición de los residuos de las plantas y de otra materia orgánica presente en el humedal. En cuanto a los sólidos suspendidos se obtuvo una eficiencia de remoción en promedio del 95% en el reactor de sedimentación y del 92,5% en el humedal artificial. En general el sistema de EDAR-CG-HAAT evaluado reportó buena capacidad para reducir la cantidad de sólidos suspendidos en las aguas residuales. El sistema de tratamiento también logró buena eficiencia en la remoción de nutrientes presentando un valor promedio del 60% del fósforo total.

Marín, *et al.*, (2010). En su proyecto de investigación denominado “Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la *Guadua angustifolia Kunth*” concluyen que en cuestión de remoción de contaminantes de tipo orgánico, obtuvieron mejores resultados con el humedal 1 (con lecho de arena) debido a que su porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> el cual fue de 92,21% y DQO de 84,31% con respecto al humedal 2 (con lecho de grava) el cual presentó un porcentaje de remoción DBO<sub>5</sub> de 72,88% y DQO 64,35%, así mismo con respecto a la remoción de nitrógeno total se aprecia que el humedal 1 presentó un porcentaje de remoción de 62,60% con respecto al humedal 2 de 32,35%; además ambos humedales remueven coliformes fecales y totales mostrando mejores el humedal 1. Los humedales artificiales empleados en el estudio experimental con la *Guadua angustifolia Kunth* demostraron ser ideales para ser empleados como tratamiento terciario de aguas residuales.

### **Antecedentes nacionales**

Torres, *et al.*, (2015). En su proyecto de investigación “Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales de Carapongo-Lurigancho para riecho mediante Humedades Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australi*, en Carapongo Lurigancho” evaluaron la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedades artificiales de Flujo Libre Superficial con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis*, obteniendo una efectividad en el sistema de un aproximado de 80 al 89% en todos los parámetros evaluados. Mientras que, para la determinación de eficiencia de las especies, *Cyperus papyrus* tiene mayor remoción en la calidad de DBO y turbidez un 77% mayor a *Phragmites australis*, mientras ésta un 30% mayor en la remoción Coliformes totales y Coliformes termotolerantes.

Tito (2015). En su proyecto de investigación “Tratamiento de aguas residuales grises domésticas con la especie paraguíta *Cyperus alternifolius* en humedales artificiales, urbanización Zárate – San Juan de Lurigancho 2015” concluyeron que el humedal con la especie *Cyperus alternifolius* logró remover contaminantes físicos – químicos orgánicos de las aguas residuales grises domésticas, es decir el humedal con la especie indicada presenta mayor eficiencia de remoción en los parámetros de turbiedad, DBO y DQO, mientras que en el parámetro de sólidos suspendidos totales fue mayor la eficiencia para el humedal testigo (sin plantas). Además, concluye que el humedal con la especie *Cyperus alternifolius* debe ser considerado como tratamiento secundario para las aguas residuales grises domésticas.

### **Antecedentes locales**

Medina, *et al.*, (2015). En su proyecto de investigación denominado “Determinación de la eficiencia del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el barranco del sector cruce de Uchuglla, de la ciudad de Moyobamba 2013”. De 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 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 5 745 y 5 617 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 utilizando la especie *Arundo donax* (caña brava) 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 DBO varía entre 161 y 97 mg/L, en cuanto a los coliformes fecales los valores están entre 1 995 y 3 541 UFC/100 ml y para los sólidos totales en suspensión los valores oscilan entre 23 y 45 mg/L.

Montalván, *et al.*, (2017). En su proyecto de investigación “Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas residuales domésticas Habana – 2015” en el tercer mes de evaluación obtuvieron como resultados para el parámetro coliformes termotolerantes 972 NMP/100 mL, sólidos totales en suspensión de 18 mg/L, DQO de 132 mg/L, y DBO<sub>5</sub> 75 mg/L; alcanzando una eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes de 82,54%, sólidos totales en suspensión de 90,47%, DQO de 64,98% y DBO<sub>5</sub> de 66,96%.

Flores (2014). En su proyecto de investigación “Aplicación de humedal artificial con macrofitas flotantes en la recuperación de las aguas residuales domésticas, Moyobamba – San Martín” concluye que a 20 cm de profundidad del humedal la eficiencia de remoción para el DBO<sub>5</sub> llega a 84%, en caso de coliformes fecales la eficiencia alcanza el 82% y para los SST la eficiencia es de 56%. El medio filtrante aumenta la eficiencia del sistema, es por ello que a 60 cm de profundidad el porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> llega a 90%, los coliformes fecales logran removerse hasta un 90% y los SST supera una eficiencia de remoción del 83%.

## **Bases teóricas**

### **Aguas residuales**

Son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado. Estas son generadas inevitablemente de actividades humanas y sus características son muy diversas, dependiendo de sus orígenes, a la vez los alcances de su tratamiento dependen del uso específico a los cuales está destinada (Romero, 2004).

### **Aguas residuales domésticas**

Se consideran aguas residuales domésticas a los líquidos provenientes de las viviendas o residencias comerciales e institucionales. También se acostumbra de nominar aguas negras a las aguas provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales (Romero, 2004)

### **Aguas residuales industriales**

Proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales. (García y Pérez, 2005)

### **Aguas pluviales**

Pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración. (García y Pérez, 2005).

### **Humedales**

Los humedales son medios semi terrestres con un elevado grado de humedad y una profusa vegetación, que reúnen ciertas características biológicas, físicas y químicas, que les confieren un elevado potencial auto depurador. Los humedales naturales pueden alcanzar gran complejidad, con un mosaico de lámina de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie (Llagas y Guadalupe, 2006).

### **Parámetros importantes en el tratamiento de aguas residuales (ver tabla 1).**

El gobierno peruano estableció parámetros y LMP para vertimientos de aguas residuales a cuerpos de agua, el cual se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 1***Parámetros y LMP de efluentes para vertimientos*

Parámetros	Unidad	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 MI	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

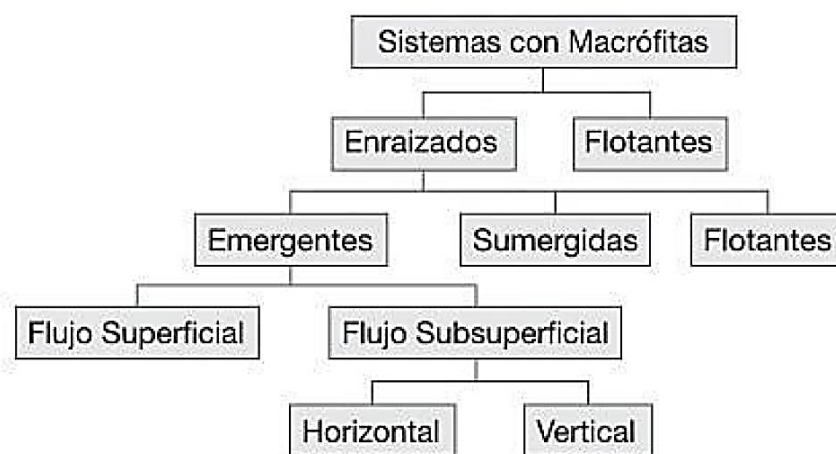
Fuente: Ministerio del Ambiente. Lima 2010

**1.1.1. Humedales artificiales**

Los humedales artificiales son sistemas de Fito depuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un echo de grava impermeabilizado. La acción de las macrofitas 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)

Los humedales artificiales logran el tratamiento de las aguas residuales a través de la sedimentación, adsorción y metabolismo bacterial. Además, interactúan con la atmósfera. Los humedales operan casi a velocidades de flujo y caudal constante y están sujetos a drásticos cambios en la remoción de DBO, debido a los cambios en la temperatura del agua. (Chafloque y Guadalupe, 2006)

Clasificación de humedales artificiales (ver figura 1)

**Figura 1.** Clasificación de humedales artificiales (Delgadillo *et al.*, 2010)

## **Humedales artificiales de flujo sub superficial horizontal**

En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas de las plantas. La profundidad del agua es de entre 0,3 y 0,9. Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie) y con carga de alrededor de 6g DBO/m<sup>2</sup> día (Serrano y Corzo, 2008)

Los humedales de flujo horizontal están compuestos por los siguientes elementos: Estructuras de entrada del efluente, impermeabilización del fondo y laterales ya sea con láminas sintéticas o arcilla compactada, medio granular, vegetación emergente típica de zonas húmedas y estructuras de salida regulables para controlar el nivel del agua.

### **Impermeabilización**

Es necesario disponer de una barrera impermeable para confinar al sistema y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas. Dependiendo de las condiciones locales puede ser suficiente una adecuada compactación del terreno. En otros casos será necesario realizar aportaciones de arcilla o utilizar láminas sintéticas. (Serrano y Corzo, 2008)

### **Estructuras de entrada y de salida**

Los humedales son sistemas que requieren una buena repartición y recogida de las aguas para alcanzar los rendimientos estimados, es por ello que las estructuras de entrada y salida deben ser bien diseñadas y construidas. El agua residual procedente de los tratamientos previos se hace llegar hasta una arqueta donde el caudal se divide equitativamente y mediante diversas tuberías se vierte al lecho. Alternativamente se puede hacer llegar el agua hasta un canal con vertedero que distribuye de forma homogénea en todo el ancho del sistema. La recogida del agua efluente se realiza con una tubería perforada asentada sobre el fondo del humedal. Esta tubería conecta con otra en forma de L invertida y cuya altura es regulable. Dicha estructura permite modificar el nivel de agua y a su vez drenar el humedal durante operaciones de mantenimiento. (Serrano y Corzo, 2008)

### **Medio granular**

En las zonas de entrada y salida se colocan piedras que permiten diferenciar estas zonas de lo que es el medio granular principal. El conjunto medio granular/biopelícula/plantas debe ser considerado como el principal constituyente de los humedales. En el medio granular



ocurren múltiples procesos como la retención y sedimentación de la materia en suspensión, la degradación de la materia orgánica, la transformación y asimilación de los nutrientes y la inactivación de los microorganismos patógenos. El medio granular debe ser limpio (exento de finos), homogéneo, duro, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo. Además, se debe permitir un buen desarrollo de las plantas y de la biopelícula. Diámetros medios de alrededor de 5-8 mm ofrecen muy buenos resultados. Una de las características muy importantes del medio granular es su conductividad hidráulica, ya que de esta propiedad depende la cantidad de flujo de agua que puede circular a través de él. Durante el diseño debe tenerse en cuenta que la conductividad hidráulica disminuirá con el paso del tiempo. (Serrano y Corzo, 2008)

## **Vegetación**

Es indudable que la vegetación en los humedales artificiales es un componente fundamental del sistema, ya que el sistema de tratamiento está estrechamente relacionado con un tipo determinado de vegetación. La vegetación desempeña papeles múltiples en el buen funcionamiento del sistema. En el balance global de las funciones que desempeñan la vegetación en los humedales artificiales, los procesos físicos suponen la función más importante de las plantas para la eficiencia depuradora del sistema. Las funciones que desempeñan activamente las plantas en los humedales artificiales, hay que destacar, el intercambio gaseoso desde las hojas hacia la zona radicular en contacto con el agua residual, y la extracción de contaminantes del agua. (González, 2004)

### **1.1.2. Mecanismos de remoción en humedales artificiales**

#### **Remoción de DBO**

El suelo es un biofiltro que contiene una gran cantidad de bacterias. La remoción de DBO se lleva a cabo por la absorción de compuestos orgánicos en solución y por oxidación bacterial, ya que las capas superiores del suelo contienen microorganismos en abundancia. Los valores más comunes que se estiman respecto a la cantidad de microorganismos son:  $10^7$  bacterias,  $10^6$  actinomicetes y  $10^7$  hongos por gramo de tierra. Estos microorganismos son los responsables de la remoción de DBO en el agua residual aplicada. Para flujo superficial, el crecimiento bacterial que se presenta en la capa superior del suelo y en el humus de las plantas son responsables de la remoción. El crecimiento biológico de organismos es sensible

a la temperatura. Los organismos alcanzan un crecimiento óptimo a temperaturas relativamente altas, pero su reproducción continúa inclusive a temperaturas muy bajas (Crites y Tchobanoglous, 2000).

### **Remoción de nitrógeno**

En los sistemas de tasa baja o flujo subsuperficial, la remoción de nitrógeno ocurre como resultado de la incorporación del nitrógeno a los tejidos vegetales de los cultivos, por nitrificación / de nitrificación, y en menor proporción por volatilización de amonio e incorporación de este en el suelo (almacenamiento en suelo). La nitrificación y la de nitrificación son dos procesos que ocurren inclusive en suelos aerobios, ya que estas condiciones promueven la nitrificación y las zonas anóxicas del suelo permiten la de nitrificación (Crites y Tchobanoglous, 2000).

### **Remoción de sólidos suspendidos**

La remoción de los sólidos suspendidos y sedimentables presentes en las aguas residuales ocurre fundamentalmente en las unidades de pretratamiento, las cuales se instalan previamente a los humedales. Los sólidos suspendidos que permanecen en el agua residual después del pretratamiento son removidos por sedimentación y filtración. Estos procesos que son puramente físicos también eliminan una porción significativa de otros contaminantes presentes en las aguas residuales (DBO, nutrientes, patógenos) (García y Corzo, 2008).

La materia en suspensión queda retenida en los humedales mediante la combinación de diferentes fenómenos de tipo físico que en su conjunto se denominan “filtración del medio granular”. Entre estos fenómenos cabe destacar la sedimentación debida a la baja velocidad de circulación del agua y el tamizado que sucede a nivel de los espacios intersticiales del medio granular. Estos fenómenos se ven potenciados por las fuerzas de adhesión que ocurren entre los sólidos y que tienden a promover la formación de partículas de mayor tamaño (García y Corzo, 2008).

### **Remoción de fósforo**

Los mecanismos de eliminación del fósforo en los humedales artificiales se atribuyen a las plantas, ya que estas pueden absorber el fósforo en diferentes formas iónicas principalmente

en el proceso de fotosíntesis. El fósforo también puede ser aprovechado por los microorganismos o fijado en el sustrato. (García y Corzo, 2008).

### **Remoción de organismos patógenos**

La remoción de microorganismos, incluyendo bacterias patógenas, virus y helmintos, se efectúa por filtración en el suelo, adsorción, desecación, radiación, predación y exposición a otras condiciones ambientales adversas. Debido a su gran tamaño los helmintos y protozoos se remueven en la superficie del suelo mediante filtración. Las bacterias se remueven del agua residual por filtración y adsorción, alcanzando valores habituales de remoción de 99,9% o más. La remoción de virus se presenta principalmente por adsorción (Crites y Tchobanoglous, 2000).

#### **1.1.3. Diseño de humedal sub superficial de flujo horizontal**

El diseño hidráulico de un humedal es crítico para obtener buenos rendimientos en la eficiencia de depuración. En los modelos de diseño se asuma un flujo en condiciones y tipo pistón. Para llegar a poder intentar acercarse al modelo ideal (flujo pistón) es muy importante realizar un cuidadoso diseño hidráulico y los métodos constructivos apropiados. (Delgadillo *et al.*, 2010)

El flujo del agua en el interior del humedal debe romper las resistencias entre el ingreso y salida del humedal, para dar esta energía se le asigna al fondo del humedal una pendiente con una salida de altura variable. Para el diseño se deben considerar los siguientes criterios: Se consideran reactores biológicos, el medio poroso es flujo pistón y en forma uniforme y la ley de Darcy describe a través del medio poroso.

Para el diseño del humedal artificial sub superficial de flujo horizontal los pasos a seguir son (Delgadillo *et al.*, 2010, pág. 40):

#### **Cálculo del área necesaria**

El cálculo del área superficial se realiza en función al parámetro contaminante que se desea disminuir o remover, generalmente los diseños se realizan para disminución de DBO<sub>5</sub>.

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

$$AS = \frac{Q * LN(\frac{Co}{c})}{Kt * h * n} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

Q= Caudal de diseño del humedal (m<sup>3</sup>/día)

C= Concentración efluente (mg/l)

Co= Concentración afluente (mg/l)

Kt=Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura

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.

$$Kt = 1,104 * 1,06^{T2-20} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

T2=Temperatura del agua (°C)

La profundidad del humedal generalmente varía de 0.3 a 1m (valor usual 0.6m) con una pendiente de 0,1 a 1%, siendo el valor usual de 0,5%.

### **Sustrato**

Es el medio donde crecen las plantas, los microorganismos y se realizan los principales procesos de depuración. Para el diseño se recomienda utilizar grava con menos de 30 mm (3/4”) de diámetro que parece ser la que funciona mejor. Si se utiliza grava con diámetros muy grandes de sustrato, origina que se incremente la velocidad del paso del agua, resultado en un flujo turbulento y que no se cumpla la ley de Darcy para el diseño. Caso contrario ocurre con la grava de tamaño demasiado pequeño, esta reduce la velocidad del paso del agua originando zonas con presencia de agua en la superficie y flujos presenciales, pero tienen la ventaja de proporcionar una mayor área superficial para la actividad microbiana y la adsorción.

En algunos casos se utiliza ciertos tipos de suelo (arcillas) para adsorber metales pesado, fosfatos, etc. El inconveniente es la gran reducción de la velocidad del paso del agua. Antes del inicio del diseño se recomienda realizar pruebas de conductividad y de porosidad del sustrato (grava), esto para definir exactamente el tipo de materia a emplearse. Así mismo

se recomienda multiplicar el valor de la conductividad por 1/3 bien por 0.1 (10%) para evitar problemas de atascamiento por acumulación de lodos, raíces y otros. (Delgadillo *et al.*,2010)

Con relación a la uniformidad del material este debe tener un coeficiente de uniformidad entre 1 y 6. En la tabla siguiente se detalla las características principales de los substratos usados en los humedales.

**Tabla 2**

*Características principales de substratos usados en humedales artificiales*

<b>Tipo de material</b>	<b>Tamaño efectivo D10 (mm)</b>	<b>Conductividad hidráulica, Ks (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d)</b>	<b>Porosidad, n %</b>
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 media	32	10.000-50.000	36-40
Roca gruesa	128	50.000-250.000	38-45

Fuente: Delgadillo et al.,2010

### **Relación largo – ancho**

Para calcular el ancho del humedal consideramos la ley de Darcy para flujo en medio poroso.

$$Ac = \frac{Q}{(Ks \cdot S)} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

Ac= área vertical en m<sup>2</sup>

Q= caudal medio en m<sup>3</sup>

Ks= Conductividad hidráulica (m/s)

S=pendiente (m/m)

El ancho del humedal se determina en función al área vertical y la profundidad del nivel de agua a tratar, con la siguiente ecuación:

$$W = \frac{Ac}{h} \dots\dots\dots (4)$$

El largo del humedal se determina en función al ancho y al área superficial como se muestra en la ecuación:

$$L = \frac{As}{W} \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

$A_s$ =Área superficial del humedal ( $m^2$ )

W=Ancho del humedal

Posteriormente calculamos la relación largo-ancho (L/A). mientras mayor es la relación largo-ancho se tiene mejor depuración de las aguas, pero se tiene problemas de cortocircuitos, flujos presenciales, presencia de agua sobre el lecho de grava y otros. Por ello se recomienda relación largo – ancho de: 2 a 1, 3 a 1 y 4 a 1.

En la tabla 3 se muestra un resumen de los principales parámetros de diseño de los humedales de flujo sub superficial de flujo horizontal

**Tabla 3**

*Parámetros de diseño de los humedales artificiales*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Valor usual</b>
Tiempo de retención hidráulico	Días	4-15	7
Profundidad agua	M	0,1-0,8	0,6
Área	m <sup>2</sup> /heq	2,5-5	
Carga orgánica	g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> día	3-7,5	<11
Carga orgánica	kg DQO <sub>5</sub> /heq.di	<70	
Carga hidráulica	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	0,1-0,2	
<b>Características constructivas</b>			
Grava ingreso salida	Mm	50-100	50
		3-6	
Grava media	Mm	5-10	19
		6-12	
Coefficiente uniformidad		3-,	<5
Profundidad medio	M	0,70-1,5	0,7
Pendiente	%	0-1	0,5
Relación largo - ancho		2:1 – 7:1	3:1
<b>Drenaje</b>			
Tubería perforada - ancho	Pulgada	3-4	4
<b>Distribución de agua</b>			
Tubería perforada - canal	Pulgada	2-4	3

Fuente: (Delgadillo *et al.*, 2010)

#### 1.1.4. *Guadua angustifolia* “Bambú”

La *Guadua* pertenece a la Angiospermas o plantas con flores, consideradas plantas bastantes complejas, es una gramínea, una de las familias más antiguas e importantes del reino vegetal, muy abundante en especies y se encuentra en todas las latitudes; el género *Guadua* se

considera el bambú más grande en cuanto a longitud y diámetro (Corporación autónoma regional del Valle del Cauca, 2005).

### **Clasificación taxonómica**

Reino	: <i>Vegetal</i>
División	: <i>Spermatofita</i>
Clase	: <i>Monocotiledóneas</i>
Orden	: <i>Cyperales/Gumiflorales</i>
Familia	: <i>Gramínea o Poaceae</i>
Subfamilia	: <i>Bambusoidea</i>
Supertribu	: <i>Bambusodae</i>
Tribu	: <i>Bambuseae</i>
Subtribu	: <i>Guadinae</i>
Género	: <i>Guadua</i>
Especie	: <i>angustifolia</i>

La *Guadua* constituye el género del bambú nativo más importante de América tropical, es endémica de este continente, con aproximadamente 30 especies distribuidas desde México hasta Argentina, las cuales se pueden encontrar en un rango de altitud que va desde el nivel del mar hasta los 2 200 m.s.n.m. es considerada el tercer bambú más grande del mundo, es una gramínea gigante que puede alcanzar 30 metros de altura o más y cuyo diámetro puede variar de uno a 22 centímetros (Corporación autónoma regional del Valle del Cauca, 2005).

### **Morfología**

En cuanto a la apariencia externa, la *Guadua* constituye agrupaciones o rodales coetáneos, ubicados preferencialmente en zonas cercanas a fuentes de agua, su conformación y desarrollo hace que los tallos crezcan juntos y se entrelacen, los estados de desarrollo de la guadua le permiten tener diferentes matices de verde. Morfológicamente, en una *Guadua angustifolia* se pueden distinguir las siguientes partes: raíz, tallo, hojas, flores y frutos, sin embargo, es el tallo y particularmente el culmo, el que tradicionalmente se ha aprovechado para diferentes aplicaciones. El culmo se origina en el ápice del rizoma, y una vez brota del suelo lo hace cubierto de hojas caulinares con el diámetro máximo que tendrá de por vida. Dependiendo de las condiciones climáticas, edáficas y de la época de brumamiento demora entre 6 a 4 meses. (Corporación autónoma regional del Valle del Cauca, 2005).

## **Raíces**

En el tallo de guadua adulto el sistema subterráneo lo conforman los tallos modificados que se denominan rizomas los cuales crecen en forma horizontal y cumplen la función de anclaje, absorción, conducción y almacenamiento por tres partes: el rizoma, raíces y raicillas adventicias o alimentadoras.

En la *Guadua* las raíces están especializadas en la obtención de agua y nutrientes dejando las funciones de reserva nutricional y soporte en un altísimo porcentaje de rizoma. De la parte ventral del rizoma se generan aproximadamente el 40% de las raíces, el 60% de las raíces brotan de las ramificaciones del rizoma. De las raíces emergen raicillas laterales de diámetros mucho menores, estas raicillas poseen pelos absorbentes que facilitan la absorción de agua y minerales por la planta, a estas se les llama raicillas alimentadoras y están ubicadas en los primeros 30 cm del suelo. (Corporación autónoma regional del Valle del Cauca, 2005).

## **Rizoma**

Es un tallo modificado con funciones altamente especializadas como el almacenamiento de nutrientes, soporte y anclaje de la planta y generación de nuevos rizomas y tallos aéreos. Del rizoma se desprende las raíces, se caracteriza por ser grueso, encorvado, formado por nudos y entrenudos cortos y de longitud variable, está cubierto por hojas llamadas catafilos. Los rizomas crecen generalmente de manera superficial, con un ángulo de inclinación hacia arriba y alcanza profundidades de anclaje entre 1 y 3 metros. (Corporación autónoma regional del Valle del Cauca, 2005).

## **Tallo Culmo o Caña**

Son ejes cilíndricos leñosos y huecos que se origina en la punta (ápice) del rizoma, el cual al modificarse toma una dirección ascendente o vertical. Está conformado por nudos y entrenudos que presentan diámetros y longitudes diferente según la parte donde se ubiquen, a continuación, algunas características:

Su diámetro y altura depende del tamaño del rizoma que los genera. El tallo una vez brota del suelo lo hace con un diámetro definido (no presenta crecimiento diamétrico) el cual disminuye proporcional y gradualmente con la altura.



Un tallo de *guadua* en condiciones ambientales normales presenta entre 70 y 80 entrenudos con longitudes de 26 centímetros y diámetros entre los 6 y 12 centímetros, alcanzando una altura total promedio entre 18 a 20 metros.

El primer tercio del culmo está provisto por ramas basales (riendas), el tercio medio no presenta ramas y el tercio final es más delgado y está provisto por ramas con hojas. Durante sus primeros 6 meses de vida se denominan renuevo y está cubierto en su totalidad por hojas caulinares. (Corporación autónoma regional del Valle del Cauca, 2005).

### **Ramas**

En la *Guadua* se aprecian dos tipos de ramas con funciones específicas.

Ramas Basales (Riendas). Estructuras protectoras del tallo que se ubican en los primeros 8 o 9 metros, tienen una longitud promedio de 3 a 5 metros. Poseen nudos y entrenudos y en cada nudo se originan entre 2 y 4 espinas. Pueden ser empleadas de acuerdo a su edad y posición para propagación del material vegetal.

Ramas Apicales o superiores. Se localizan en el tallo a partir de los 12 metros de altura, en estas ramas se encuentran las hojas y se realizan casi todas las actividades fotosintéticas de la planta. Su longitud disminuye de manera gradual hacia la punta de la *guadua* dando forma de triángulo. Conforman lo que se denomina el copo de la planta. (Corporación autónoma regional del Valle del Cauca, 2005).

### **Hojas**

Hojas Típicas o Láminas Foliáreas. Estas hojas son las que elaboran las sustancias nutritivas de la planta. Su coloración es verde oscuro. En una planta adulta se encuentra entre 14 000 y 22 000 hojas.

Hojas Culinarias. Cumplen funciones de protección, se encuentran en el tallo durante los primeros meses de crecimiento. (Corporación autónoma regional del Valle del Cauca, 2005).

### **Semilla – Fruto**

La semilla de la *guadua* se asemeja a un grano de arroz en su forma, tamaño y cubierta. Tiene una coloración blanca en su interior y café claro en su exterior, tiene entre 5 y 8 mm de largo por 2 a 3 mm de grosor. Está contenida en una espiga. La obtención de semillas de

*Guadua angustifolia* es difícil debido al alto porcentaje de espigas vacías o semillas no fértiles (Corporación autónoma regional del Valle del Cauca, 2005).

### **Definición de términos básicos**

**Afluente.** - Líquido que ingresa a un proceso de tratamiento

**Demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).** - Cantidad de oxígeno que requieren microorganismos aclimatados para degradar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales. (Romero, 2004).

**Demanda química de oxígeno (DQO).** - Cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente las sustancias orgánicas presentes. (Romero, 2004).

**Eficiencia de tratamiento.** - Relación entre la concentración removida y la concentración aplicada, en un proceso o una planta de tratamiento para un parámetro específico, se expresa en decimales o porcentaje.

**Efluente.** - Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

**Humedal.** – Medios semi terrestres con un elevado grado de humedad y una profusa vegetación, con ciertas características biológicas, físicas y químicas, que le confieren un elevado potencial auto depurador. (Llagas y Guadalupe, 2006)

**Humedal artificial.** – Sistemas de fito depuración de aguas residuales (Delgadillo *et al.*, 2010)

**Límite máximo permisible (LMP).** - Medida de concentración o de grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

**Muestreo.** - Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar.

**Parámetro.** - Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica, de un efluente que define su calidad y que se encuentra por debajo de la norma.

**pH.** - Concentración de ion hidrogeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrogeno. (Romero, 2004).

**Temperatura.** - Grado o nivel térmico del agua residual (Delgadillo et. al., 2010).

**Tratamiento.** - Cualquier proceso, método o técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuo sólido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y al ambiente.

**Turbiedad.** - Cantidad de materias en suspensión presentes en las aguas residuales. (Crites y Tchobanoglous, 2000).

## CAPÍTULO II

### MATERIAL Y MÉTODOS

#### Hipótesis de investigación

H1: La *Guadua angustifolia* “Bambú” mediante humedal artificial es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado Santa Catalina, distrito y provincia de Moyobamba 2017.

H0: La *Guadua angustifolia* “Bambú” mediante humedal artificial no es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado Santa Catalina, distrito y provincia de Moyobamba 2017.

#### Sistema de variables

Variable Dependiente: Aguas residuales domésticas

Variable Independiente: Humedal Artificial con la especie *Guadua angustifolia* “Bambú”

**Tabla 4**

*Operacionalización de las variables*

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNID
Variable dependiente: Aguas residuales domésticas	Parámetros físicos	- Temperatura	- °C
		- Turbiedad	- UNT
		- Solidos Suspendidos Totales	- NMP/100ml
Variable independiente: Humedal Artificial con la Especie <i>Guadua angustifolia</i> “Bambú”	Parámetros químicos	- pH	- ---
		- DQO	- mg/L
	Parámetros biológicos	- DBO <sub>5</sub>	- mg/L
- Coliformes termotolerantes		- NMP/100ml	
Variable independiente: Humedal Artificial con la Especie <i>Guadua angustifolia</i> “Bambú”	Remoción	- Tiempo de retención hidráulica	- Día
	Topografía	- Área superficial	- m <sup>2</sup>
	Vegetación	- Número de plantas de <i>Guadua angustifolia</i>	- Unidad

Fuente: elaboración propia

## Tipo y nivel de investigación

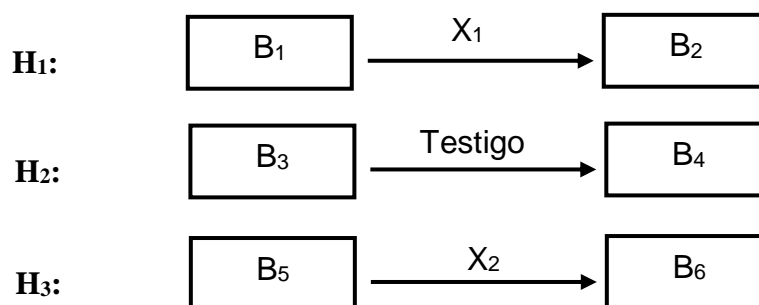
De acuerdo a la orientación: Aplicada

De acuerdo a la técnica de contrastación: Explicativa - Experimental

## Diseño de la investigación

Se utilizó el diseño de pre-prueba - post-prueba adaptado por el autor.

Diagrama del diseño:



Donde:

H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>3</sub>: Humedales

B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>: Medición de los parámetros del agua residual domestica antes del proceso de depuración.

X<sub>1</sub>: 5 especies *Guadua angustifolia* “Bambú”

X<sub>2</sub>: 10 especies *Guadua angustifolia* “Bambú”

B<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>6</sub>: Medición de los parámetros del agua residual domestica después del proceso de depuración.

## Población y Muestra

### Población

La población estuvo conformada por el caudal de aguas residuales domésticas generado por dos viviendas del caserío de Santa Catalina, representada por 2 720 l/día

### Muestra

La muestra de este presente estudio está representada por 36 muestras tomadas a la entrada y salida del humedal artificial, cada muestra con un volumen de 0,625 litros.

## 2.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

### Técnicas de recolección de datos

**Selección de área.** El área para la construcción de los humedales artificiales, se seleccionó dos viviendas del caserío Santa Catalina, cuyas condiciones de disposición de sus aguas residuales eran pésimas, sin contar con algún tipo de tratamiento.

**Observación sistemática.** Permitted recabar información in situ de la evolución de la especie *Guadua angustifolia* “Bambú” en el humedal artificial, además se observó que la depuración del agua residual mediante el humedal artificial funcione correctamente.

**Diseño del humedal artificial.** Para el diseño del humedal artificial se empleó la norma IS.010 Instalaciones Sanitarias, además se empleó fórmulas de cálculo hidráulico descritas en el capítulo de resultados.

**Dibujo del plano y sus detalles del humedal artificial en Auto CAD 2016.** El dibujo del plano se realizó en el software Auto CAD 2016, basados en los datos obtenidos del dimensionamiento hidráulico del humedal artificial, esto con la finalidad de tener una visión general y detallada de la estructura para facilitar su construcción.

**Muestreo.** Se realizó según el Protocolo de Monitoreo de la calidad del agua; el tipo de muestreo fue probalístico, se tomaron muestras a la entrada y salida de cada humedal artificial cada 15 días después de haber realizado la siembra de la *Guadua angustifolia* “Bambú”.

**Análisis físico-químico y microbiológico.** Se midieron 7 parámetros para la caracterización del agua residual doméstica producido por la población en estudio que fueron DBO<sub>5</sub>, DQO, pH, Sólidos Suspendidos Totales, Temperatura, Turbiedad y Coliformes Termotolerantes en el laboratorio BioService consulting & laboratory.

**Ensayos de laboratorio.** Permitted medir los parámetros físicos, químicos y biológicos (DBO<sub>5</sub>, DQO, pH, sólidos suspendidos totales, temperatura, turbiedad y coliformes termotolerantes) de las aguas residuales domésticas generadas de la población seleccionada pre y post tratamiento mediante humedal artificial en el laboratorio BioService consulting & laboratory.

**Tabla 5***Método de ensayo*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método utilizado</b>
Demanda química de oxígeno (DQO)	mgO <sub>2</sub> /L	Colorímetro
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mgO <sub>2</sub> /L	Prueba de DBO 5 días
Turbiedad	NTU	Espectrofotométrico
pH	---	Potenciómetro
Temperatura	°C	Termómetro manual
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	Tubos múltiples
Sólidos suspendidos totales	NMP/100 ml	Diferencia de masas

Fuente: Resultados de laboratorio, elaboración propia

**Instrumentos de recolección de datos**

**Envases rotulados para muestras.** Permitió la recolección de las muestras.

**Cooler:** Usado para conservar las muestras a temperatura ambiental y trasladar al laboratorio.

**Tablas:** Permitió registrar datos en campo y resultados obtenidos en laboratorio.

**2.2. Procedimiento****Construcción de los humedales artificiales**

Con los resultados diseño hidráulico calculo y con apoyo de los planos de AutoCAD, se comenzó con la construcción estructural de los humedales artificiales con las siguientes especificaciones técnicas:

Limpeza y mejoramiento del terreno de forma manual.

Refine y nivelación del terreno considerando una pendiente de 0,5%.

Para el vacceo del solado se preparó la mezcla conteniendo cemento porlant y hormigón, se consideró un espesor de 0,10 m

Para la construcción de las paredes del humedal artificial, se consideró que los humedales artificiales compartan pared divisoria por contar con poco espacio, se empleó ladrillo hueco en muro tipo sogá y mortero en las uniones, a una altura de 0,75 m de acuerdo al diseño.

Los muros se tarrajearon y se impermeabilizaron con Sika (sellador) para evitar posibles filtraciones al exterior y entre humedales por compartir muro; así mismo en el pulido del piso se empleó Sika como impermeabilizante.

Se colocaron cajas de registro a la salida de cada humedal artificial que permitan la toma de la muestra, así mismo se consideró en la entrada una caja de registro y repartidor de caudal, para distribuir de forma homogénea el caudal a los tres humedales artificiales.

Se adecuaron los accesorios sanitarios, a la entrada del humedal se colocó una tée PVC 2" a una altura de 0,50 cm según diseño, donde se instaló una tubería PVC 2" con caños perforados que cubran el ancho del humedal, dejando las perforaciones hacia arriba para permitir una distribución uniforme en todo el ancho del humedal, y en los extremos se colocó un tapón.

Asimismo, a la salida del humedal colocó una tée PVC 2" considerando un pequeño desnivel con respecto a la entrada para permitir la salida del efluente, donde se instaló una tubería PVC 2" a 5 cm sobre el piso con caños perforados que cubran el ancho del humedal, dejando las perforaciones hacia arriba para permitir recoger uniformemente el agua tratada en todo el ancho del humedal y en los extremos se colocó un tapón.

### **Selección y colocación del sustrato**

Según el diseño del humedal artificial de flujo horizontal, se seleccionó grava media (32mm) y grava fina (16mm)

Se colocó grava media en el ingreso y salida del humedal artificial hasta una distancia de 20 cm con respecto a la pared de ingreso y salida respectivamente, y en la parte central del humedal se colocó grava fina.

### **Selección y recolección de *Guadua angustifolia* "Bambú"**

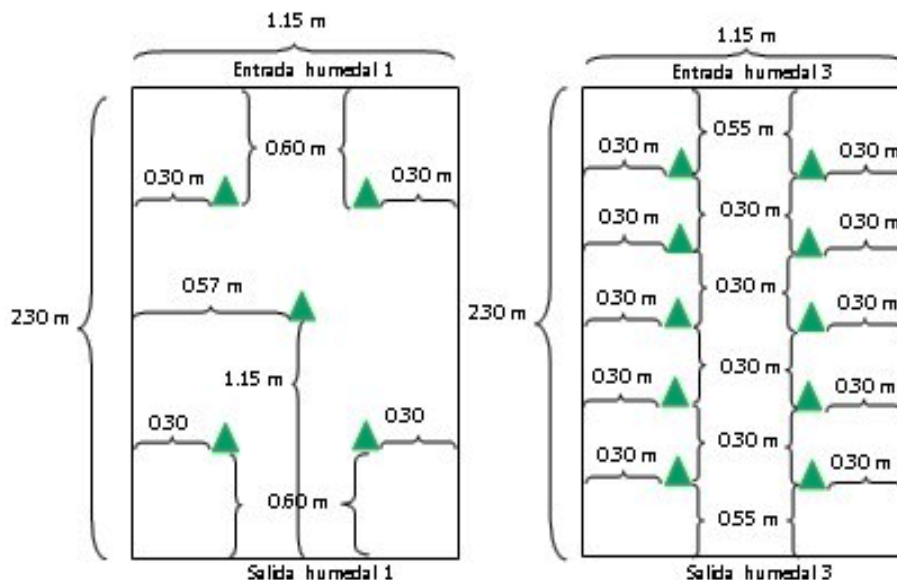
Se seleccionaron plantas de aproximadamente 5 meses de crecimiento y se extrajeron del vivero "Flor de la Selva Verde" de la ciudad de Moyobamba.

### **Siembra de la *Guadua angustifolia* "Bambú"**

Para la siembra de la *Guadua angustifolia* "Bambú" se distribuyó uniformemente en todo el espacio de grava fina para el caso del humedal 1 se sembraron 5 plantas de *Guadua*



*angustifolia* “Bambú” y en el humedal 3 se sembraron 10 plantas de *Guadua angustifolia* “Bambú” distribuidas según figura 9, la siembra se realizó el día 10 de marzo del 2018.



**Figura 2.** Distribución de la *Guadua angustifolia* “Bambú”

### Caracterización

Para el análisis de calidad, se muestreo in situ, tomando muestras del ingreso y salida de cada humedal artificial, durante los meses de marzo, abril, mayo y junio de forma consecutiva. El muestreo se realizó cada 15 días empezando con la primera muestra el día 25 de marzo y culminando el 08 de junio del 2018.

Se tomaron muestras simples, haciendo un total de 36 muestras con un volumen de 0,650 litros cada muestra.

### Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento, análisis e interpretación de datos se realizó a través de la estadística descriptiva e inferencial mediante el software estadístico Minitab (T- Student) y IB SPSS Statistics (ANOVA – DUNCAN) usando el diseño completamente aleatorizado (DCA) para la determinación de la unidad de mayor eficacia.

Los datos de eficiencia fueron calculados mediante fórmulas matemáticas y presentados mediante tablas y gráficos estadísticos de todas las pruebas realizadas para facilitar su interpretación.

Para el análisis de la eficiencia del humedal artificial se utilizó la siguiente fórmula Medina, *et al.*, (2015), pág. 40:

$$\% \text{eficiencia en remoción: } \frac{\text{Concentración}_{\text{entrada}} - \text{Concentración}_{\text{salida}}}{\text{Concentración}_{\text{entrada}}} \times 100$$

Las concentraciones de los parámetros evaluados del humedal artificial obtenidas durante los meses de experimentación fueron comparadas con los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Diseño hidráulico del humedal artificial

Para el dimensionamiento hidráulico del humedal artificial, fue según norma IS. 010 sobre Instalaciones Sanitarias y se tienen los siguientes resultados:

##### Cálculo de caudal de diseño

Dotación: Las dotaciones de agua para vivienda unifamiliar están de acuerdo con el área total del lote según la siguiente tabla:

**Tabla 6**

*Dotación de agua fría*

Área total del lote en m <sup>2</sup>	Dotación L/d
Hasta 200	1500
201 a 300	1700
301 a 400	1900
401 a 500	2100
501 a 600	2200

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias

Dotación de agua según área de terreno:

**Tabla 7**

*Dotación de agua de terreno*

Vivienda	Área terreno (m <sup>2</sup> )	Dotación L/d (Norma IS.010)
Vivienda N°1	300	1700
Vivienda N° 2	300	1700
<b>Dotación Total</b>		<b>3400</b>

Fuente: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias, elaboración propia

##### Cálculo de caudal de diseño:

$$Qd = (3400 \text{ l/día}) / (1000 \text{ l/m}^3) \times 0,80$$

$$Qd = 2,72 \text{ m}^3/\text{día}$$

El número de humedales proyectados en este proyecto de investigación fueron tres.

$$Qd = 0,91 \text{ m}^3/\text{día}$$

### **Cálculo de carga orgánica (DBO en el agua residual cruda)**

Aporte per cápita:

$$\text{Aporte per cápita} = 50 \text{ g/hab/día DBO}_5$$

Cálculo de carga orgánica (DBO):

$$DBO = (50 \times 7) / 2.72 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$DBO = 128.6 \text{ mg/L O}_2$$

$$\mathbf{DBO = 129 \text{ mg/L O}_2}$$

### **Cálculo del área superficial (As) (Delgadillo *et al.*, 2010, pág. 40)**

Condiciones:

$$DBO_{\text{ingreso}} = 129 \text{ mg/L}, T^\circ = 25 \text{ }^\circ\text{C}, DBO_{\text{salida}} < 39 \text{ mg/L}$$

Constante de reacción de primer orden según ecuación 2.

$$K_T = 1,104 \times 1,06^{(25-20)}$$

$$\mathbf{K_T = 1,48 \text{ d}^{-1}}$$

### **Porosidad del medio granular**

Sustrato:

Grava media 32 mm y grava fina 16 mm

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

### **Profundidad entre los intervalos 0.1 m y 0.8 m**

Asumimos  $h = 0,75$ :

Nivel de agua a tratar  $h = 0,60 \text{ m}$

Borde libre  $h = 0,15 \text{ m}$

**Pendiente varía entre 0.1 – 1.0 %**

Asumimos 0.5 % = 0,005 m/m

**Área superficial (As) según ecuación 1.**

$$As = \frac{0,91 \times \ln \frac{129}{39}}{1,48 \times 0,75 \times 0,38}$$

$$As = 2,58 \text{ m}^2$$

**Dimensionamiento del humedal artificial basados en la relación L:W - 2:1**

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

$$As = L * W$$

$$2,58 \text{ m}^2 = L * W$$

$$2,58 \text{ m}^2 = 2W * W$$

$$\frac{2,58}{2} \text{ m}^2 = W^2$$

$$W = 1,13 \text{ m}$$

Por requerimientos de construcción redondeamos: W = 1,15 m

**Largo del humedal (L), según ecuación 5**

$$L = \frac{AS}{W}$$

$$L = \frac{2,58 \text{ m}^2}{1,15 \text{ m}}$$

$$L = 2,24 \text{ m}$$

Por requerimientos de construcción redondeamos: L = 2,30 m

**Cálculo del tiempo de retención hidráulica**

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

$$TRH = \frac{2,58 * 0,75 * 0,38}{0,91}$$

$$TRH = 19,4 \text{ horas}$$

### 3.2. Diseño general del humedal artificial para el proceso de tratamiento

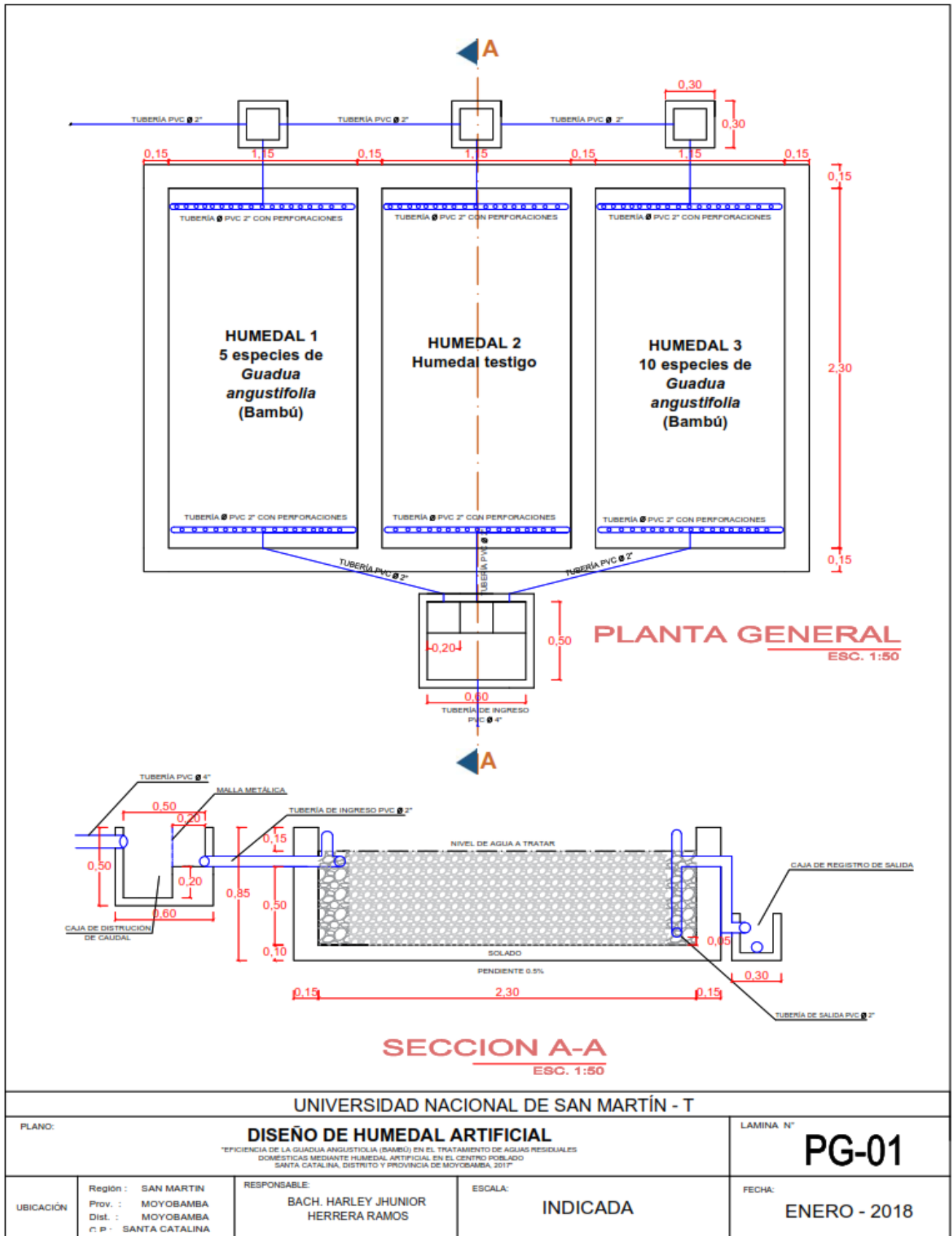


Figura 3. Diseño general experimental del tratamiento

### 3.3. Resultados de las muestras

#### Resultados obtenidos de la primera muestra

Se realizó la primera caracterización del agua residual doméstica después de 15 días de haber realizado la siembra de la *Guadua angustifolia* “Bambú”, la toma de las muestras se realizó a la entrada y salida de cada humedal artificial, se observó que la planta estaba en un proceso de adaptación, pero a pesar de ello se obtuvieron resultados muy significativos, para el caso de DBO<sub>5</sub> el humedal 1 tuvo mejor eficiencia de remoción con un 90,63%, con un valor de 192 mg/L en el ingreso y 18 mg/l en la salida, en cuanto al DQO el humedal 1 también presentó mayor eficiencia con un 87,42% de remoción, teniendo valores de 318 mg/L a la entrada y 40 mg/L en la salida; con respecto a la turbiedad y coliformes termotolerantes el humedal 2 muestra mejores eficiencias de remoción con un 84,29% y 92,71% respectivamente, presentando valores 210 NTU en el ingreso y 33 NTU en la salida para el caso de turbidez y 488 NMP/100ml al ingreso y 350 NMP/100ml en la salida en cuanto a los coliformes termotolerantes, con respecto a los SST el humedal 3 presentó mayor eficiencia de remoción con un 81,69% presentado valores al ingreso y salida de 710 NMP/100ml y 150 NMP/100ml respectivamente.

**Tabla 8**

*Eficiencia de remoción de parámetros de la primera muestra*

Parámetro	Unidad	Humedal 1			Humedal 2			Humedal 3		
		Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)
DQO	mg/L	318	40	87,42	335	48	85,67	327	44	86,54
DBO <sub>5</sub>	mg/L	192	18	90,63	247	30	87,85	212	23	89,15
Turbiedad	NTU	78	20	74,36	210	33	84,29	124	24	80,65
pH	---	6,84	7,01	---	6,98	7,05	---	6,92	7,12	---
Temperatura	°C	22,8	23,2	---	22,6	23	---	22,4	23,1	---
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	3784	321	91,52	4800	350	92,71	4250	336	92,09
Sólidos suspendidos totales	NMP/100 ml	810	205	74,69	782	194	75,19	710	130	81,69

Fuente: Informe de laboratorio, Anexo N° 5, elaboración propia

#### Resultados obtenidos de la segunda muestra

La segunda caracterización del agua residual doméstica se realizó después de 30 días de haber realizado la siembra de la *Guadua angustifolia* “Bambú”, se notó una mejor adaptación de planta con respecto a la primera muestra, igualmente se obtuvieron resultados

muy significativos, en cuanto al DQO y DBO<sub>5</sub> el humedal 2 tuvo mejor eficiencia de remoción con un 88,85% y 91,85% respectivamente, presentando valores de 305 mg/L en el ingreso y 34 mg/L a la salida para el caso de DQO, y 185 mg/L al ingreso y 15 mg/L a la salida para el parámetro de DBO<sub>5</sub>; el humedal 2 también presentó mayor eficacia en la turbiedad con un 84,57% de remoción teniendo una concentración al ingreso de 175 NTU y 27 NTU a la salida del humedal, en el caso de los Coliformes termotolerantes el humedal 3 presentó mejor eficiencia ingresando al humedal 4750 NMP/100ml y saliendo con una concentración de 336 NMP/100ml presentando una eficiencia de remoción del 92,93%, los SST en el humedal 2 ingresa con 845 NMP/100ml y sale con 145 NMP/100ml presentó la mejor eficiencia de remoción con un 82,96%.

**Tabla 9**

*Eficiencia de remoción de parámetros de la segunda muestra*

Parámetro	Unidad	Humedal 1			Humedal 2			Humedal 3		
		Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)
DQO	mg/L	342	47	86,26	305	34	88,85	327	44	86,54
DBO <sub>5</sub>	mg/L	205	24	88,29	184	15	91,85	234	35	85,04
Turbiedad	NTU	98	19	80,61	175	27	84,57	124	24	80,65
pH	---	6,88	7,18	---	6,97	7,23	---	6,84	7,09	---
Temperatura	°C	22,5	22,7	---	22,3	22,6	---	22,5	23,7	---
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	4375	328	92,50	4240	320	92,45	4750	336	92,93
Sólidos suspendidos totales	NMP/100 ml	920	185	79,89	851	145	82,96	828	200	75,85

Fuente: Informe de laboratorio, Anexo N° 5, elaboración propia

### Resultados obtenidos de la tercera muestra

La tercera caracterización del agua residual doméstica se realizó después de 45 días de haber realizado la siembra de la *Guadua angustifolia* “Bambú”, donde se obtuvieron resultados con variaciones aleatorias positivas y negativas con respecto a la primera y segunda muestra; en cuanto al DQO se observa una mejor eficiencia en el humedal 2 con un 88,36% teniendo una concentración de 275 mg/L al ingreso y 32 mg/L a la salida; en caso del DBO<sub>5</sub> en el humedal 3 se observa mejor eficiencia de remoción del 91,86% teniendo una concentración de 172 mg/L al ingreso y 14 mg/L a la salida; en el humedal 2 se observa mejor remoción de la turbiedad con un 85,03 % de remoción con concentraciones de 147 NTU y 22 NTU al ingreso y salida respectivamente; con respecto a los coliformes termotolerantes el humedal



1 presenta mayor eficiencia de remoción con un 92,81% con una concentración de ingreso de 4 562 NMP/100ml y en la salida de 328 NMP/100ml, y para los SST el humedal 3 registra una mayor eficiencia de remoción con un 82,21% teniendo una concentración de 697 NMP/100ml al ingreso y 124 NMP/100ml a la salida.

**Tabla 10**

*Eficiencia de remoción de parámetros de la tercera muestra*

Parámetro	Unidad	Humedal 1			Humedal 2			Humedal 3		
		Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)
DQO	mg/L	286	37	87,06	275	32	88,36	250	32	87,20
DBO <sub>5</sub>	mg/L	197	20	89,85	186	16	91,40	172	14	91,86
Turbiedad	NTU	165	25	84,85	147	22	85,03	138	24	82,61
pH	---	6,92	7,34	---	6,97	7,28	---	6,9	7,24	---
Temperatura	°C	22,2	23,8	---	22,5	23,4	---	22,3	23,1	---
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	4562	328	92,81	4357	342	92,15	4218	330	92,18
Sólidos suspendidos totales	NMP/100 ml	780	150	80,77	745	138	81,48	697	124	82,21

Fuente: Informe de laboratorio, Anexo N° 5, elaboración propia

### Resultados obtenidos de la cuarta muestra

La cuarta caracterización del agua residual doméstica se realizó después de 60 días de haber realizado la siembra de la *Guadua angustifolia* “Bambú”, donde se obtuvieron resultados con variaciones aleatorias positivas y negativas con respecto a las anteriores muestras; en cuanto al DQO y DBO<sub>5</sub> el humedal 3 tuvo mejor eficiencia de remoción con un 85,50% y 90,72 % respectivamente, presentando valores de 262 mg/L en el ingreso y 38 mg/L a la salida para el caso de DQO, y 194 mg/L al ingreso y 18 mg/L a la salida para el parámetro de DBO<sub>5</sub>; en el humedal 2 se observa mejor remoción de la turbiedad con un 88,59 % de remoción con concentraciones de 184 NTU y 21 NTU al ingreso y salida respectivamente; con respecto a los coliformes termotolerantes el humedal 1 presenta mayor eficiencia de remoción con un 92,49% con una concentración de ingreso de 4 632 NMP/100ml y en la salida de 348 NMP/100ml, y para los SST el humedal 3 registra una mayor eficiencia de remoción con un 81,48% teniendo una concentración de 718 NMP/100ml al ingreso y 133 NMP/100ml a la salida.

**Tabla 11***Eficiencia de remoción de parámetros de la cuarta muestra*

Parámetro	Unidad	Humedal 1			Humedal 2			Humedal 3		
		Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)
DQO	mg/L	322	52	83,85	290	46	84,14	262	38	85,50
DBO <sub>5</sub>	mg/L	201	35	82,59	190	22	88,42	194	18	90,72
Turbiedad	NTU	221	42	81,00	184	21	88,59	144	30	79,17
pH	---	6,9	7,12	---	7,01	7,18	---	6,72	7,04	---
Temperatura	°C	22,4	23,3	---	23	23,4	---	23	23,6	---
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	4632	348	92,49	4120	402	90,24	4020	310	92,29
Sólidos suspendidos totales	NMP/100 ml	794	215	72,92	750	146	80,53	718	133	81,48

Fuente: Informe de laboratorio, Anexo N° 5, elaboración propia

**Resultados obtenidos de la quinta muestra**

La quinta caracterización del agua residual doméstica se realizó después de 75 días de haber realizado la siembra de la *Guadua angustifolia* “Bambú”, donde se obtuvieron resultados con variaciones aleatorias positivas y negativas con respecto a las anteriores muestras; en cuanto al DQO se observa una mejor eficiencia en el humedal 3 con un 90,20% teniendo una concentración de 306 mg/L al ingreso y 30 mg/L a la salida; en caso del DBO<sub>5</sub> en el humedal 1 se observa mejor eficiencia de remoción con un 88,57% teniendo una concentración de 210 mg/L al ingreso y 24 mg/L a la salida; en el humedal 2 se observa mejor remoción de la turbiedad con un 87,21 % de remoción con concentraciones de 172 NTU y 22 NTU al ingreso y salida respectivamente; con respecto a los coliformes termotolerantes el humedal 2 presenta mayor eficiencia de remoción con un 91,53% con una concentración de ingreso de 3 564 NMP/100ml y en la salida de 302 NMP/100ml, y para los SST el humedal 3 registra una mayor eficiencia de remoción con un 82,42% teniendo una concentración de 694 NMP/100ml al ingreso y 122 NMP/100ml a la salida.

**Tabla 12***Eficiencia de remoción de parámetros de la quinta muestra*

Parámetro	Unidad	Humedal 1			Humedal 2			Humedal 3		
		Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)
DQO	mg/L	340	62	81,76	325	36	88,92	306	30	90,20
DBO <sub>5</sub>	mg/L	210	24	88,57	185	28	84,86	158	23	85,44
Turbiedad	NTU	85	18	78,82	172	22	87,21	115	21	81,74
pH	---	6,62	7,06	---	6,9	7,35	---	6,84	7,02	---
Temperatura	°C	22,5	23,2	---	22,5	23,4	---	22,6	23,4	---
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	3956	340	91,41	3564	302	91,53	3364	308	90,84
Sólidos suspendidos totales	NMP/100 ml	917	209	77,21	760	147	80,66	694	122	82,42

Fuente: Informe de laboratorio, Anexo N° 5, elaboración propia

## Resultados obtenidos de la sexta muestra

La sexta caracterización del agua residual doméstica se realizó después de 90 días de haber realizado la siembra de la *Guadua angustifolia* “Bambú”, donde se obtuvieron resultados con variaciones aleatorias positivas y negativas con respecto a las anteriores muestras; en cuanto al DQO y DBO<sub>5</sub> el humedal 2 tuvo mejor eficiencia de remoción con un 88,55% y 91,49 % respectivamente, presentando valores de 297 mg/L en el ingreso y 34 mg/L a la salida para el caso de DQO, y 188 mg/L al ingreso y 16 mg/L a la salida para el parámetro de DBO<sub>5</sub>; también en el humedal 2 se observa mejor remoción de la turbiedad con un 80,56 % de remoción con concentraciones de 108 NTU y 21 NTU al ingreso y salida respectivamente; con respecto a los coliformes termotolerantes el humedal 3 presenta mayor eficiencia de remoción con un 92,84% con una concentración de ingreso de 3992 NMP/100ml y en la salida de 286 NMP/100ml, y para los SST el humedal 3 registra una mayor eficiencia de remoción con un 84,20% teniendo una concentración de 766 NMP/100ml al ingreso y 121 NMP/100ml a la salida.

**Tabla 13**

*Eficiencia de remoción de parámetros de la sexta muestra*

Parámetro	Unidad	Humedal 1			Humedal 2			Humedal 3		
		Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)
DQO	mg/L	306	40	86,93	297	34	88,55	304	50	83,55
DBO <sub>5</sub>	mg/L	169	20	88,17	188	16	91,49	169	28	83,43
Turbiedad	NTU	95	24	74,74	108	21	80,56	114	23	79,82
pH	---	6,74	7,06	---	6,8	7,01	---	6,79	6,98	---
Temperatura	°C	23,5	23,8	---	23,5	23,4	---	23	23,8	---
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	4318	304	92,96	4150	332	92,00	3992	286	92,84
Sólidos suspendidos totales	NMP/100 ml	853	165	80,66	794	133	83,25	766	121	84,20

Fuente: Informe de laboratorio, Anexo N° 5, elaboración propia

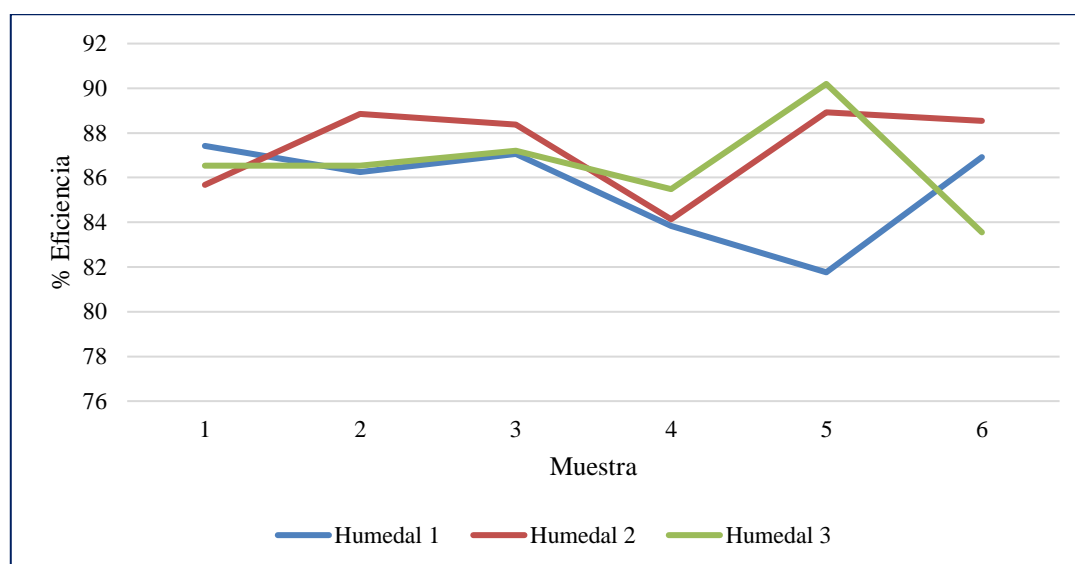
### 3.4. Análisis de eficiencias de los resultados obtenidos

#### Análisis de eficiencia en la disminución de DQO

En la siguiente tabla se presenta las eficiencias de remoción para el parámetro DQO expresados en porcentajes, resultantes de las 6 muestras tomadas de los tres humedales artificiales evaluados.

**Tabla 14***Eficiencia de remoción de DQO*

Humedal	Unidad	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3			Muestra 4			Muestra 5			Muestra 6		
		DQO <sub>0</sub>	DQO <sub>f</sub>	Efic. (%)	DQO <sub>0</sub>	DQO <sub>f</sub>	Efic. (%)	DQO <sub>0</sub>	DQO <sub>f</sub>	Efic. (%)	DQO <sub>0</sub>	DQO <sub>f</sub>	Efic. (%)	DQO <sub>0</sub>	DQO <sub>f</sub>	Efic. (%)	DQO <sub>0</sub>	DQO <sub>f</sub>	Efic. (%)
Humedal 1		318	40	87,42	342	47	86,26	286	37	87,06	322	52	83,85	340	62	81,76	306	40	86,93
Humedal 2	mg/L	335	48	85,67	305	34	88,85	275	32	88,36	290	46	84,14	325	36	88,92	297	34	88,55
Humedal 3		327	44	86,54	327	44	86,54	250	32	87,20	262	38	85,50	306	30	90,20	304	50	83,55

DQO<sub>0</sub>: DQO entrada; DQO<sub>f</sub>: DQO salida; elaboración propia.**Figura 4.** Eficiencia de remoción de DQO

En la presente figura, se evidencia que la mayor eficiencia de remoción en el Humedal 1 se encuentra en la muestra 1 con un 87,42%, siendo la muestra 5 la de menor eficiencia con un 81,76%; para el humedal 2 la mayor eficiencia de remoción se encuentra en la muestra 5 con un 88,92%, y la de menor eficiencia pertenece a la muestra a la muestra 4 con un 84,14%; en el humedal 3, la muestra 6 registra la menor eficiencia con un 83,55% así mismo la muestra 5 presenta la mayor eficiencia de remoción con un 90,20% siendo el valor máximo de remoción para este parámetro con respecto al humedal 1 y 2.

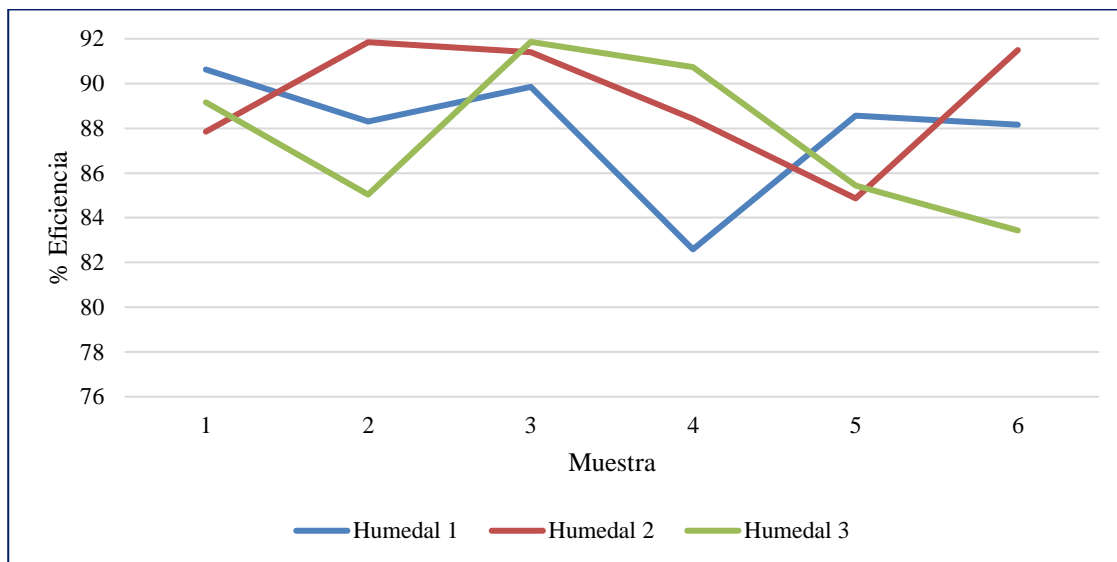
#### **Análisis de eficiencia en la disminución de DBO<sub>5</sub>**

En la siguiente tabla se presenta las eficiencias de remoción para el parámetro DBO<sub>5</sub> expresados en porcentajes, resultantes de las 6 muestras tomadas de los tres humedales artificiales evaluados.

**Tabla 15***Eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>*

Humedal	Unidad	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3			Muestra 4			Muestra 5			Muestra 6		
		DBO <sub>0</sub>	DBO <sub>f</sub>	Efic. (%)	DBO <sub>0</sub>	DBO <sub>f</sub>	Efic. (%)	DBO <sub>0</sub>	DBO <sub>f</sub>	Efic. (%)	DBO <sub>0</sub>	DBO <sub>f</sub>	Efic. (%)	DBO <sub>0</sub>	DBO <sub>f</sub>	Efic. (%)	DBO <sub>0</sub>	DBO <sub>f</sub>	Efic. (%)
Humedal 1		192	18	90,63	205	24	88,29	197	20	89,85	201	35	82,59	210	24	88,57	169	20	88,17
Humedal 2	mg/L	247	30	87,85	184	15	91,85	186	16	91,40	190	22	88,42	185	28	84,86	188	16	91,49
Humedal 3		212	23	89,15	234	35	85,04	172	14	91,86	194	18	90,72	158	23	85,44	169	28	83,43

DBO<sub>0</sub>: DBO<sub>5</sub> entrada; DBO<sub>f</sub>: DBO<sub>5</sub> salida; elaboración propia.

**Figura 5.** Eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>

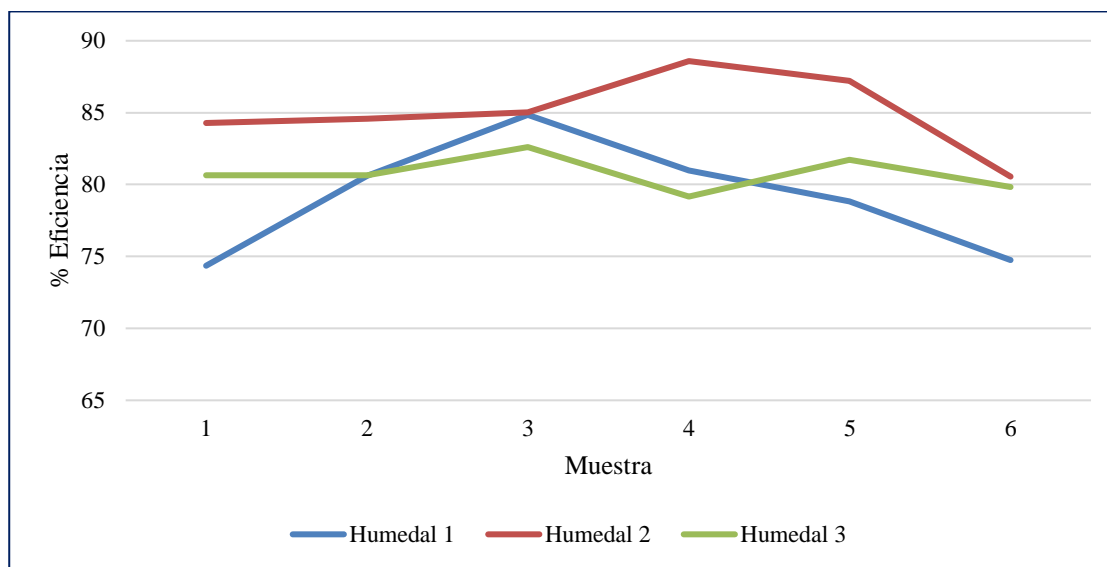
En la presente figura se evidencia que la mayor eficiencia de remoción en el humedal 1, corresponde a la muestra 1 con 90,63%, siendo la muestra 4 la de menor eficiencia con 82,59%. Sin embargo, el humedal 2 presenta una mayor eficiencia de remoción en la muestra 2 con un 91,85%, mientras que en la muestra 5 se registra una eficiencia de 84,86%. Asimismo, el humedal 3 registra su mejor eficiencia en la muestra 3 con 91,86%, siendo la más baja en la muestra 4 con 83,43%, el cual los datos obtenidos varían de acuerdo al tipo de humedal.

### **Análisis de eficiencia en la disminución de turbidez**

En la siguiente tabla se presenta las eficiencias de remoción para el parámetro turbidez expresados en porcentajes, resultantes de las 6 muestras tomadas de los tres humedales artificiales evaluados.

**Tabla 16***Eficiencia de remoción de turbidez*

Humedal	Unidad	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3			Muestra 4			Muestra 5			Muestra 6		
		T <sub>0</sub>	T <sub>r</sub>	Efic. (%)	T <sub>0</sub>	T <sub>r</sub>	Efic. (%)	T <sub>0</sub>	T <sub>r</sub>	Efic. (%)	T <sub>0</sub>	T <sub>r</sub>	Efic. (%)	T <sub>0</sub>	T <sub>r</sub>	Efic. (%)	T <sub>0</sub>	T <sub>r</sub>	Efic. (%)
Humedal 1		78	20	74,36	98	19	80,61	165	25	84,85	221	42	81,00	85	18	78,82	95	24	74,74
Humedal 2	NTU	210	33	84,29	175	27	84,57	147	22	85,03	184	21	88,59	172	22	87,21	108	21	80,56
Humedal 3		124	24	80,65	124	24	80,65	138	24	82,61	144	30	79,17	115	21	81,74	114	23	79,82

T<sub>0</sub>: Turbidez entrada; T<sub>r</sub>: Turbidez salida; elaboración propia.*Figura 6.* Eficiencia de remoción de turbidez

En el humedal 1 se observa una mejor eficiencia de remoción en la muestra 3 con 84,85% y la más baja en la muestra 1 con 74,36%. En el humedal 2 se encuentra la máxima eficiencia de remoción con 88,59% perteneciente a la muestra 4, y en la muestra 6 se evidencia la menor eficiencia con 80,56%. Así mismo para el humedal 3, la mejor eficiencia se aprecia en la muestra 3 con 82,61% y siendo un 79,17% la eficiencia menor correspondiente a la muestra 4.

### **Análisis de eficiencia en la disminución de coliformes termotolerantes**

En la siguiente tabla se presenta las eficiencias de remoción para el parámetro coliformes termotolerantes expresados en porcentajes, resultantes de las 6 muestras tomadas de los tres humedales artificiales evaluados.

**Tabla 17***Eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes*

Humedal	Unidad	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3			Muestra 4			Muestra 5			Muestra 6		
		CT <sub>0</sub>	CT <sub>r</sub>	Efic. (%)	CT <sub>0</sub>	CT <sub>r</sub>	Efic. (%)	CT <sub>0</sub>	CT <sub>r</sub>	Efic. (%)	CT <sub>0</sub>	CT <sub>r</sub>	Efic. (%)	CT <sub>0</sub>	CT <sub>r</sub>	Efic. (%)	CT <sub>0</sub>	CT <sub>r</sub>	Efic. (%)
Humedal 1	NMP/ 100ml	3784	321	91,52	4375	328	92,50	4562	328	92,81	4632	348	92,49	3956	340	91,41	4318	304	92,96
Humedal 2		4800	350	92,71	4240	320	92,45	4357	342	92,15	4120	402	90,24	3564	302	91,53	4150	332	92,00
Humedal 3		4250	336	92,09	4750	336	92,93	4218	330	92,18	4020	310	92,29	3364	308	90,84	3992	286	92,84

CT<sub>0</sub>: Coliformes termotolerantes entrada; CT<sub>r</sub>: Coliformes termotolerantes salida; elaboración propia.

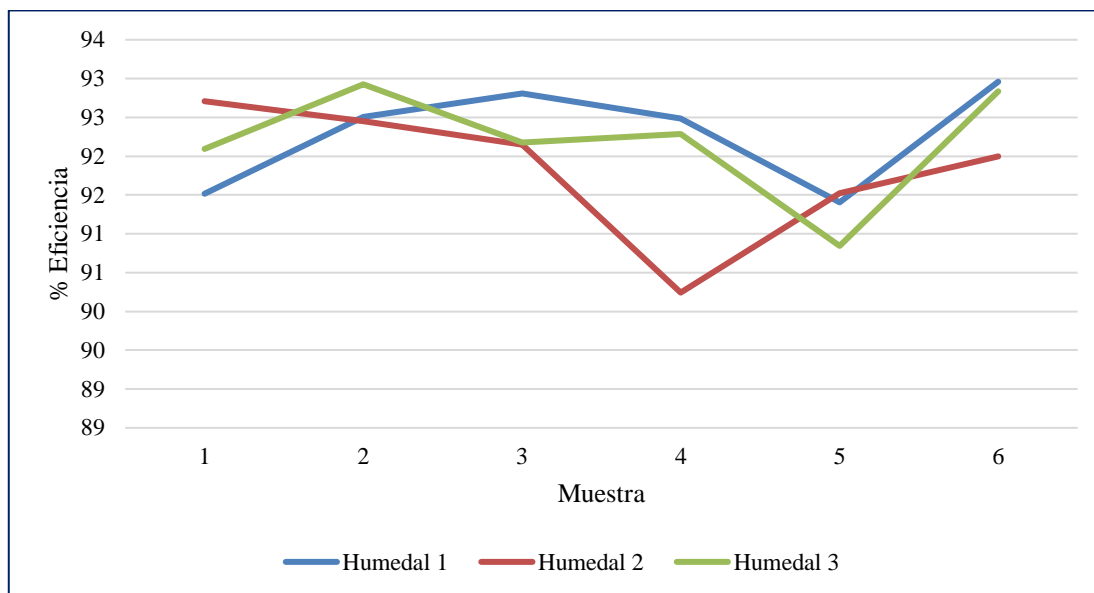


Figura 7. Eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes

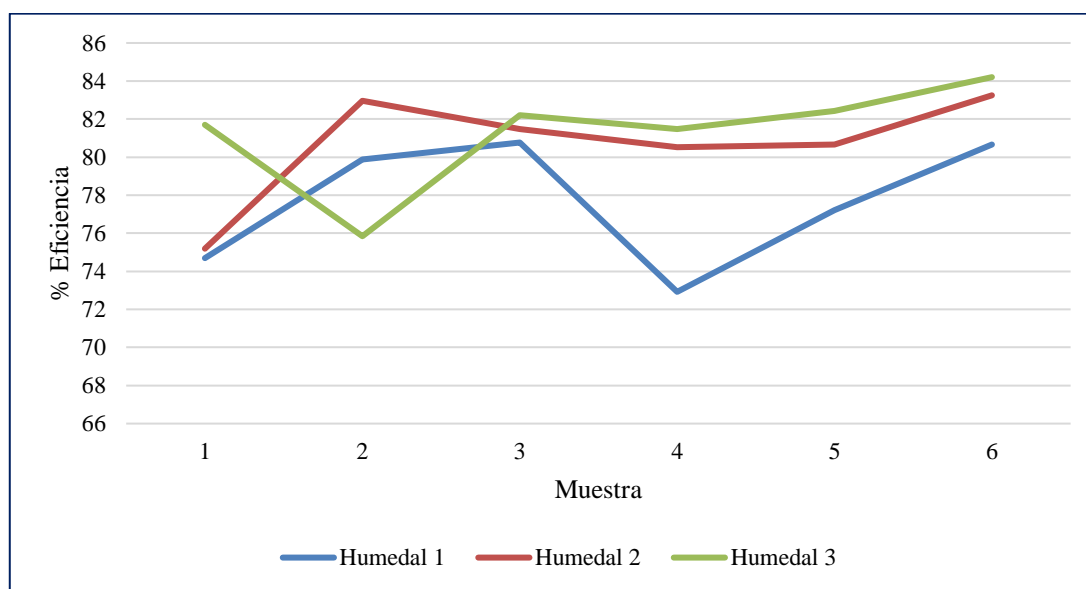
Se observa que la mejor eficiencia de remoción para este parámetro se encuentra en el humedal 1 correspondiente a la muestra 4 con un 92,96%, así mismo la menor eficiencia del humedal 1 se encuentra en la muestra 5 con 91,41%. En el humedal 2 observamos mayor eficiencia en la muestra 1 con 92,71% y la menor en la muestra 4 con 90,24% de eficiencia. Para el humedal 3 en la muestra observamos que la mayor eficiencia de remoción se encuentra en la muestra 2 con 92,93% y la menor con un 90,84% de la muestra 5.

### **Análisis de eficiencia en la disminución de SST**

En la siguiente tabla se presenta las eficiencias de remoción para el parámetro SST expresados en porcentajes, resultantes de las 6 muestras tomadas de los tres humedales artificiales evaluados.

**Tabla 18***Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales*

Humedal	Unidad	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3			Muestra 4			Muestra 5			Muestra 6		
		SST <sub>0</sub>	SST <sub>r</sub>	Efic. (%)	SST <sub>0</sub>	SST <sub>r</sub>	Efic. (%)	SST <sub>0</sub>	SST <sub>r</sub>	Efic. (%)	SST <sub>0</sub>	SST <sub>r</sub>	Efic. (%)	SST <sub>0</sub>	SST <sub>r</sub>	Efic. (%)	SST <sub>0</sub>	SST <sub>r</sub>	Efic. (%)
Humedal 1	NMP/ 100ml	810	205	74,69	920	185	79,89	780	150	80,77	794	215	72,92	917	209	77,21	853	165	80,66
Humedal 2		782	194	75,19	851	145	82,96	745	138	81,48	750	146	80,53	760	147	80,66	794	133	83,25
Humedal 3		710	130	81,69	828	200	75,85	697	124	82,21	718	133	81,48	694	122	82,42	766	121	84,20

SST<sub>0</sub>: Sólidos suspendidos totales entrada; CT<sub>r</sub>: Sólidos suspendidos totales salida; elaboración propia.**Figura 8.** Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales

En el humedal 1 se evidencia la mayor eficiencia de remoción en la muestra 3 con 80,77%, siendo la muestra 4 la de menor eficiencia con 72,92%. Para el humedal 2 la mayor eficiencia de remoción corresponde a la muestra 6 con un 83,25%, sin embargo, en la muestra 1 se aprecia la menor eficiencia de remoción con 75,19%. Así mismo en el humedal 3 encontramos la máxima eficiencia para este parámetro con un 84,20% de remoción en la muestra 6, y en la muestra 2 refleja la menor eficiencia en este humedal con un 75,85%.

### 3.5. Eficiencias de remoción obtenidos de los humedales artificiales

En la siguiente tabla se presenta los promedios de las eficiencias de remoción resultantes de las 6 muestras tomadas para cada uno de los humedales.



**Tabla 19***Eficiencias de remoción de humedales artificiales*

Parámetro	Unidad	Humedal 1	Humedal 2	Humedal 3
DQO	mg/L	85,55%	<b>87,42%</b>	86,59%
DBO <sub>5</sub>	mg/L	88,01%	<b>89,31%</b>	87,61%
Turbidez	NTU	79,06%	<b>85,04%</b>	80,77%
pH	---	---	---	---
Temperatura	°C	---	---	---
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	<b>92,28%</b>	91,85%	92,19%
SST	NMP/100ml	77,69%	80,68%	<b>81,31%</b>

El humedal que tuvo máxima eficiencia de remoción para el parámetro DQO es el humedal 2 con un 87,42%; para el parámetro DBO<sub>5</sub> se aprecia que el humedal 2 presenta en promedio una máxima eficiencia de remoción con un 89,31%; sin embargo también el humedal 2 evidencia en promedio una mejor eficiencia de remoción en turbidez con un 85,04%, en cuanto a los coliformes termotolerantes los tres humedales presentan una eficiencia de remoción superior al 91% siendo el humedal 1 con un promedio de eficiencia el más elevado con un 92,28%, y para el parámetro de sólidos suspendidos totales el humedal 3 refleja la mayor eficiencia de remoción con 81,31% en promedio.

### 3.6. Comparación de los efluentes de los humedales artificiales con los LMP

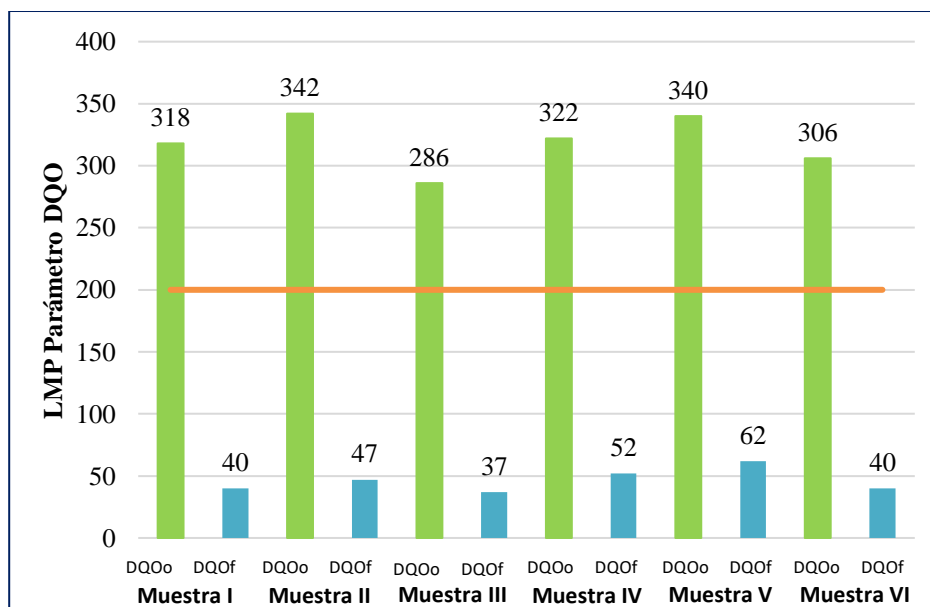
Los resultados de la caracterización de los parámetros físicos, químicos y biológicos obtenidos de los tres humedales artificiales se compararon con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S. N°003-2010-MINAN para plantas de tratamiento de efluentes domésticos, para analizar si cumplen con la norma.

#### Comparación de la DQO con los LMP

**Tabla 20***Comparación del DQO con los LMP*

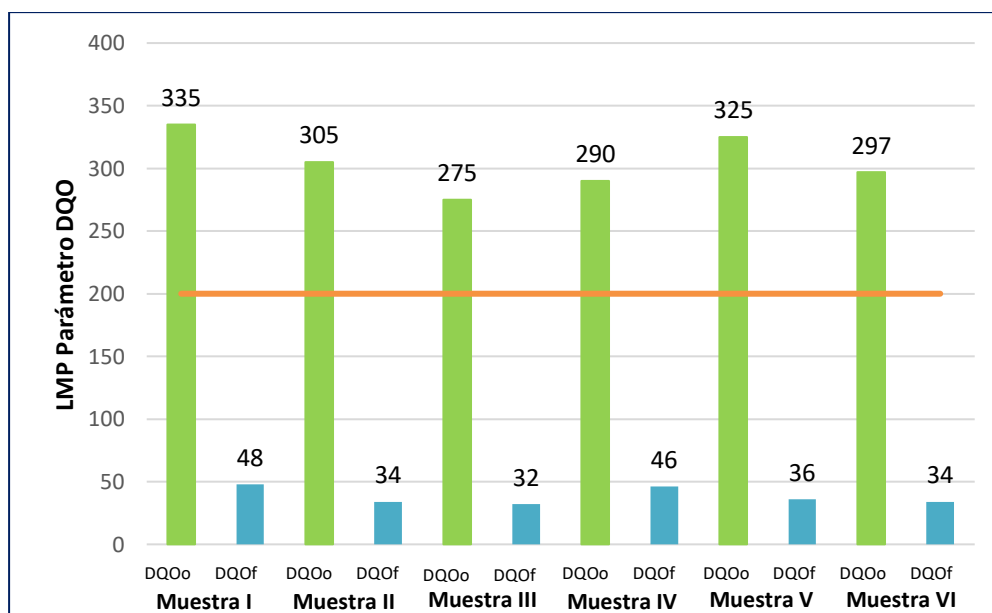
Humedal	Unid.	Muestra I		Muestra II		Muestra III		Muestra IV		Muestra V		Muestra VI		LMP
		DQO <sub>0</sub>	DQO <sub>f</sub>	DQO <sub>0</sub>	DQO <sub>f</sub>	DQO <sub>0</sub>	DQO <sub>f</sub>	DQO <sub>0</sub>	DQO <sub>f</sub>	DQO <sub>0</sub>	DQO <sub>f</sub>	DQO <sub>0</sub>	DQO <sub>f</sub>	
Humedal 1		318	40	342	47	286	37	322	52	340	62	306	40	
Humedal 2	mg/L	335	48	305	34	275	32	290	46	325	36	297	34	200
Humedal 3		327	44	327	44	250	32	262	38	306	30	304	50	

DQO<sub>0</sub>: DQO entrada; DQO<sub>f</sub>: DQO salida; LMP: Límites máximos permisibles; elaboración propia.



**Figura 9.** Comparación del DQO con los LMP del humedal 1

Análisis: El límite máximo permisible para el parámetro DQO es de 200 mg/L; se observa que todos los afluentes superan el LMP, pero después de aplicar el tratamiento mediante el humedal 1 con la especie *Guadua angustifolia* “Bambú” se observa que las concentraciones se reducen significativamente cumpliendo con lo dispuesto en el LPM para este parámetro.



**Figura 10.** Comparación del DQO con los LMP del humedal 2

Análisis: Se observa que todos los afluentes superan el LMP, pero después de aplicar el tratamiento mediante el humedal 2 las concentraciones del afluente se reducen significativamente cumpliendo con lo dispuesto en el LPM para este parámetro.

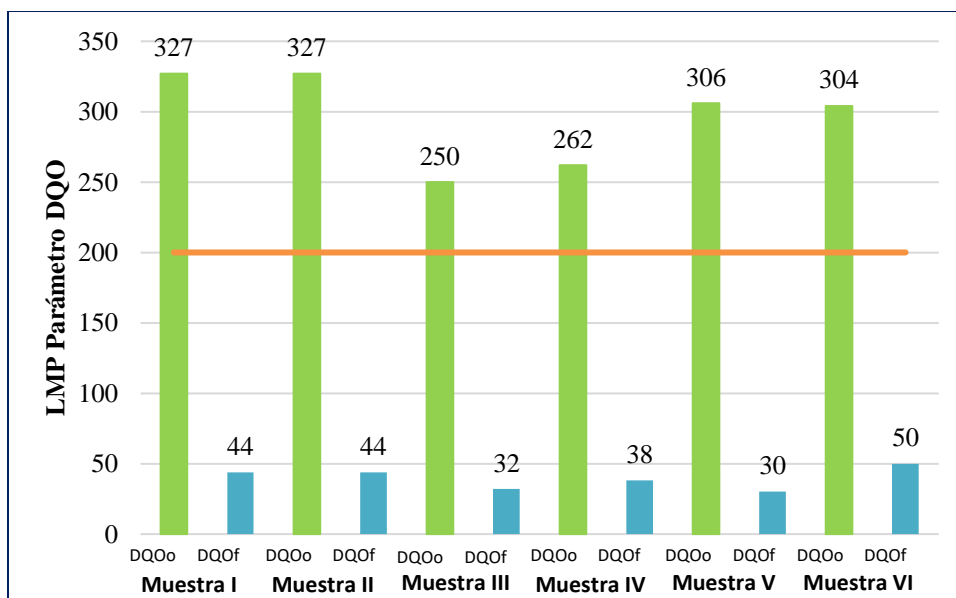


Figura 11. Comparación del DQO con los LMP del humedal 3

Análisis: Se observa que todos los afluentes superan el LMP, pero después de aplicar el tratamiento mediante el humedal 3 con la especie *Guadua angustifolia* “Bambú” las concentraciones del efluente se reducen significativamente cumpliendo con lo dispuesto en el LMP para este parámetro.

### Comparación de la DBO<sub>5</sub> con los LMP

Tabla 21

Comparación del DBO<sub>5</sub> con los LMP

Humedal	Unid.	Muestra I		Muestra II		Muestra III		Muestra IV		Muestra V		Muestra VI		LMP
		DBO <sub>o</sub>	DBO <sub>f</sub>	DBO <sub>o</sub>	DBO <sub>f</sub>	DBO <sub>o</sub>	DBO <sub>f</sub>	DBO <sub>o</sub>	DBO <sub>f</sub>	DBO <sub>o</sub>	DBO <sub>f</sub>	DBO <sub>o</sub>	DBO <sub>f</sub>	
Humedal 1		192	18	205	24	197	20	201	35	210	24	169	20	
Humedal 2	mg/L	247	30	184	15	186	16	190	22	185	28	188	16	100
Humedal 3		212	23	234	35	172	14	194	18	158	23	169	28	

DBO<sub>o</sub>: DBO entrada; DBO<sub>f</sub>: DBO salida; LMP: Límites máximos permisibles; elaboración propia.

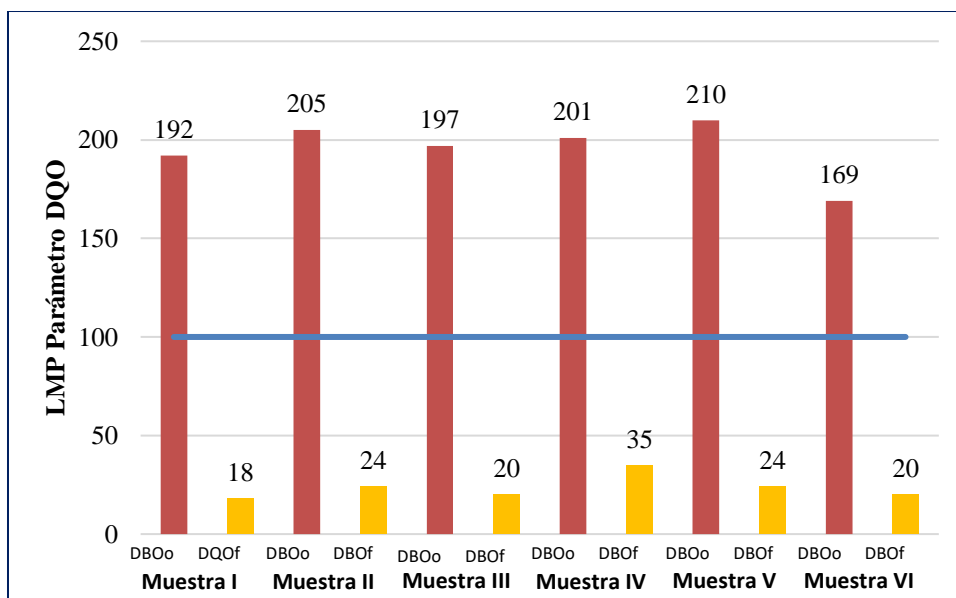


Figura 12. Comparación del DBO<sub>5</sub> con los LMP del humedal 1

Análisis: El límite máximo permisible para el parámetro DBO<sub>5</sub> es 100 mg/L; se observa que todos los afluentes superan el LMP, pero después de aplicar el tratamiento mediante el humedal 1 con la especie *Guadua angustifolia* “Bambú” se observa que las concentraciones del efluente se reducen significativamente cumpliendo con lo dispuesto en el LMP para este parámetro.

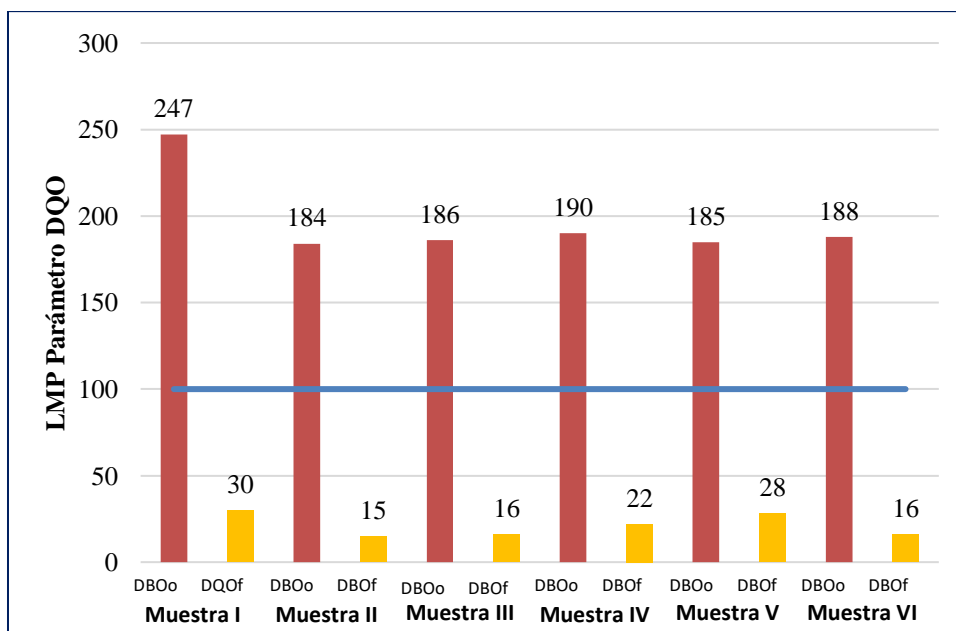


Figura 13. Comparación del DBO<sub>5</sub> con los LMP del humedal 2

Análisis: Se observa que todos los afluentes superan el LMP, pero después de aplicar el tratamiento mediante el humedal 2 las concentraciones del efluente se reducen significativamente cumpliendo con lo dispuesto en el LMP para este parámetro.

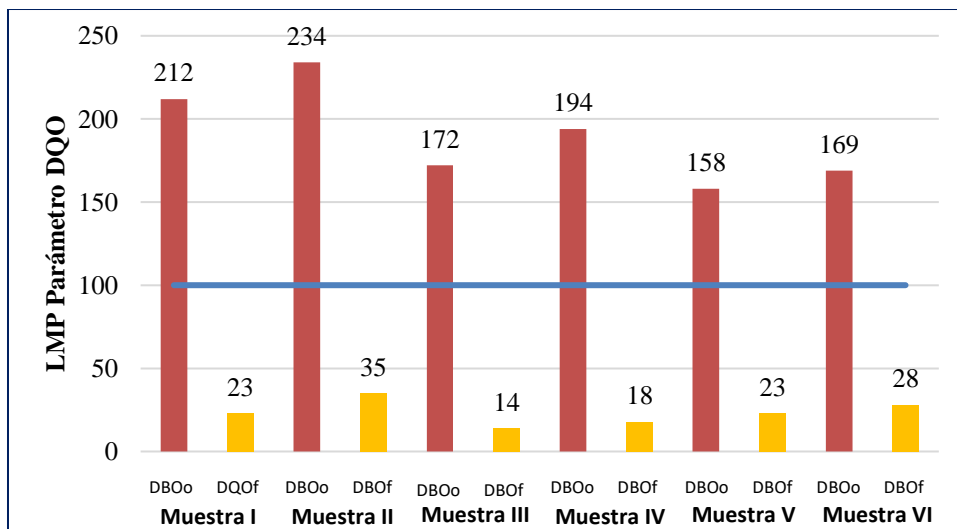


Figura 14. Comparación del DBO<sub>5</sub> con los LMP del humedal 3

Análisis: Se observa que todos los afluentes superan el LMP, pero después de aplicar el tratamiento mediante el humedal 3 con la especie *Guadua angustifolia* “Bambú” las concentraciones del efluente se reducen significativamente cumpliendo con lo dispuesto en el LMP para este parámetro.

### Comparación del pH con los LMP

Tabla 22

Comparación del pH con los LMP

Humedal	Unid.	Muestra I		Muestra II		Muestra III		Muestra IV		Muestra V		Muestra VI		LMP
		pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	
Humedal 1		6,84	7,01	6,88	7,18	6,92	7,34	6,9	7,12	6,62	7,06	6,74	7,06	
Humedal 2	---	6,98	7,05	6,97	7,23	6,97	7,28	7,01	7,18	6,9	7,35	6,8	7,01	6.5 - 8.5
Humedal 3		6,92	7,12	6,84	7,09	6,9	7,24	6,72	7,04	6,84	7,02	6,79	6,98	

pH<sub>0</sub>:pH entrada; pH<sub>f</sub>: pH salida; LMP: Límites máximos permisibles; elaboración propia.

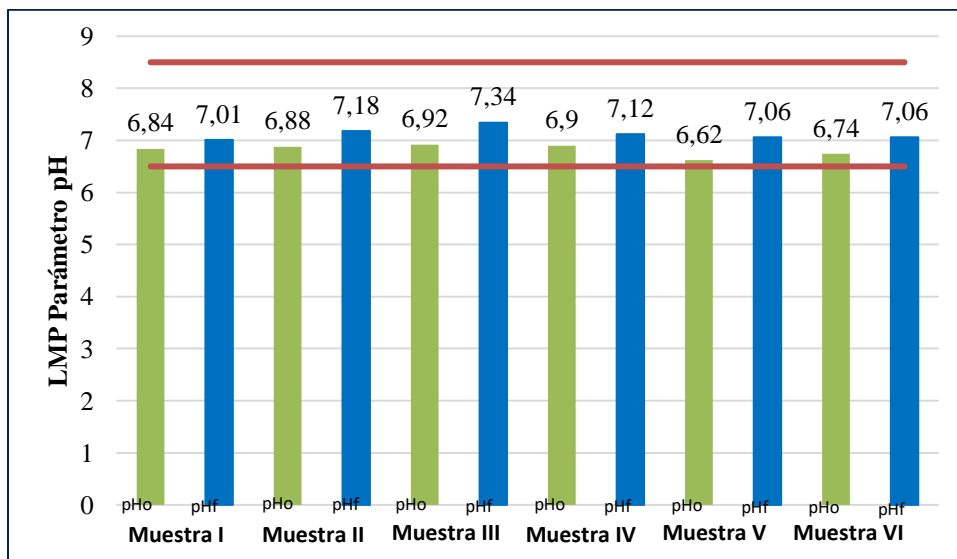


Figura 15. Comparación del pH con los LMP del humedal 1

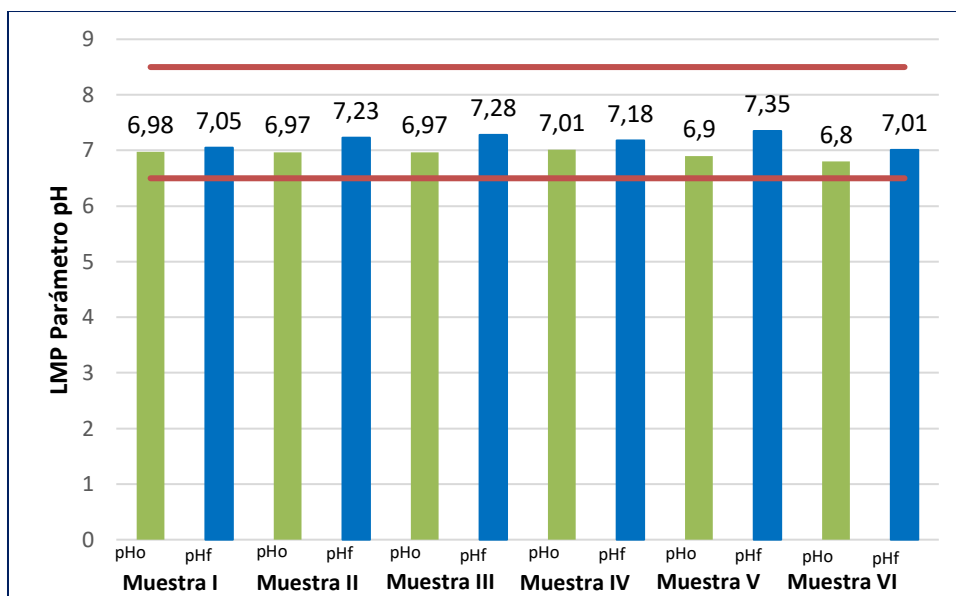


Figura 16. Comparación del pH con los LMP del humedal 2

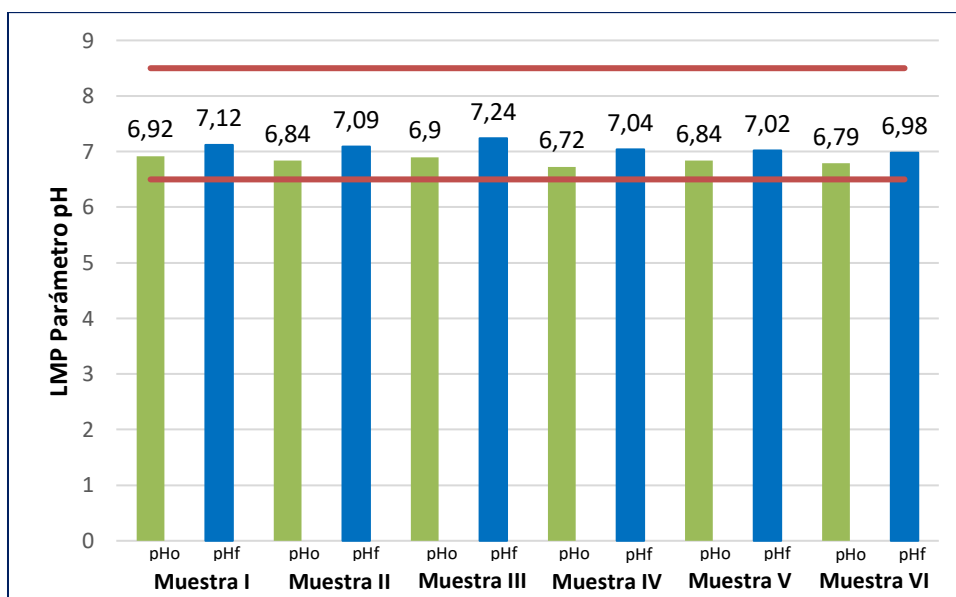


Figura 17. Comparación del pH con los LMP del humedal 3

Análisis: El límite máximo permisible para el parámetro pH es 6,5 – 8,5; se observa que tanto los afluentes y efluentes de los tres humedales artificiales están dentro del rango establecido cumpliendo con lo dispuesto en el LMP para este parámetro.

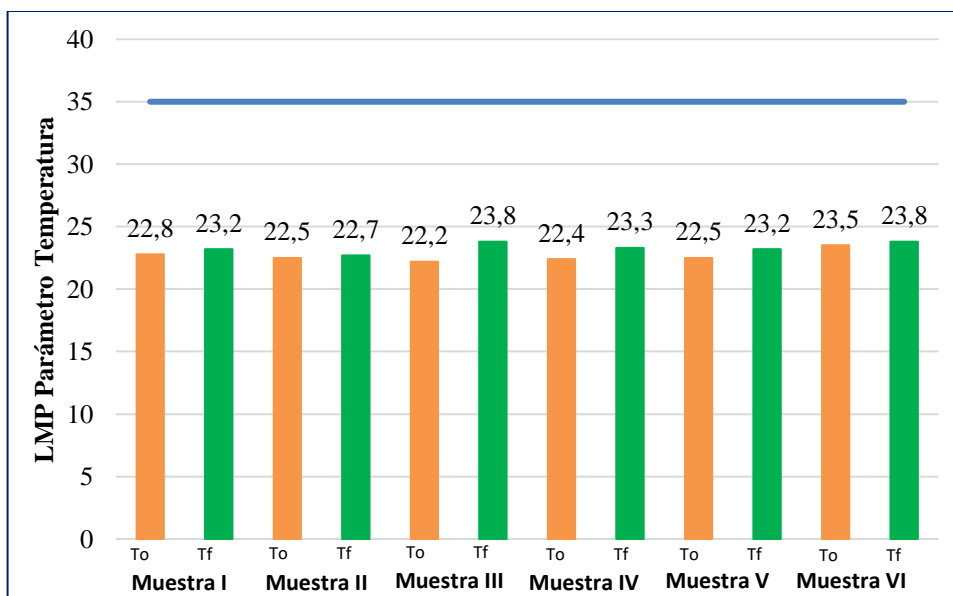
## Comparación de la temperatura con los LMP

**Tabla 23**

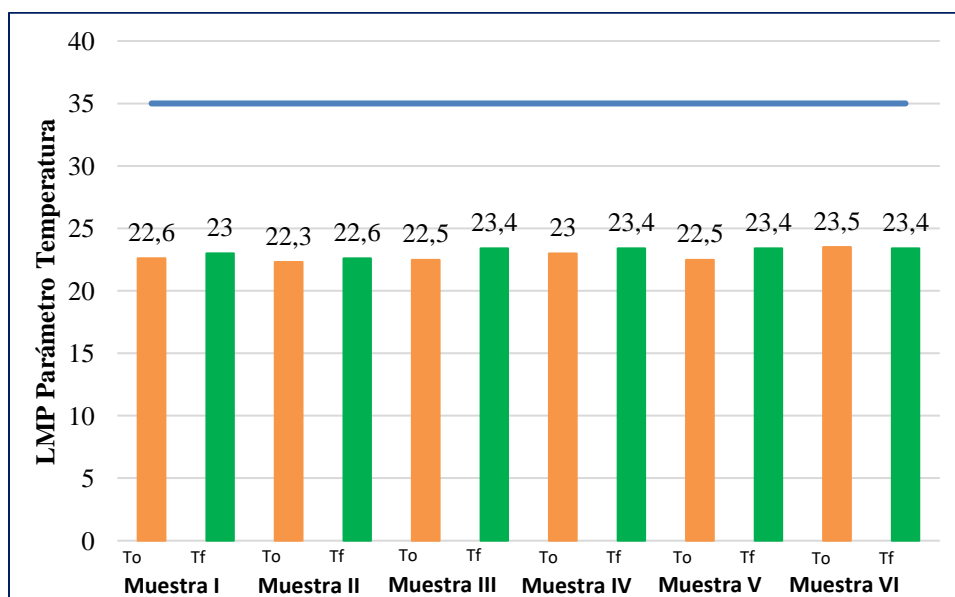
*Comparación de la temperatura con los LMP*

Humedal	Unid.	Muestra I		Muestra II		Muestra III		Muestra IV		Muestra V		Muestra VI		LMP
		T <sub>0</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>f</sub>	
Humedal 1		22,8	23,2	22,5	22,7	22,2	23,8	22,4	23,3	22,5	23,2	23,5	23,8	
Humedal 2	°C	22,6	23	22,3	22,6	22,5	23,4	23	23,4	22,5	23,4	23,5	23,4	<35
Humedal 3		22,4	23,1	22,5	23,7	22,3	23,1	23	23,6	22,6	23,4	23	23,8	

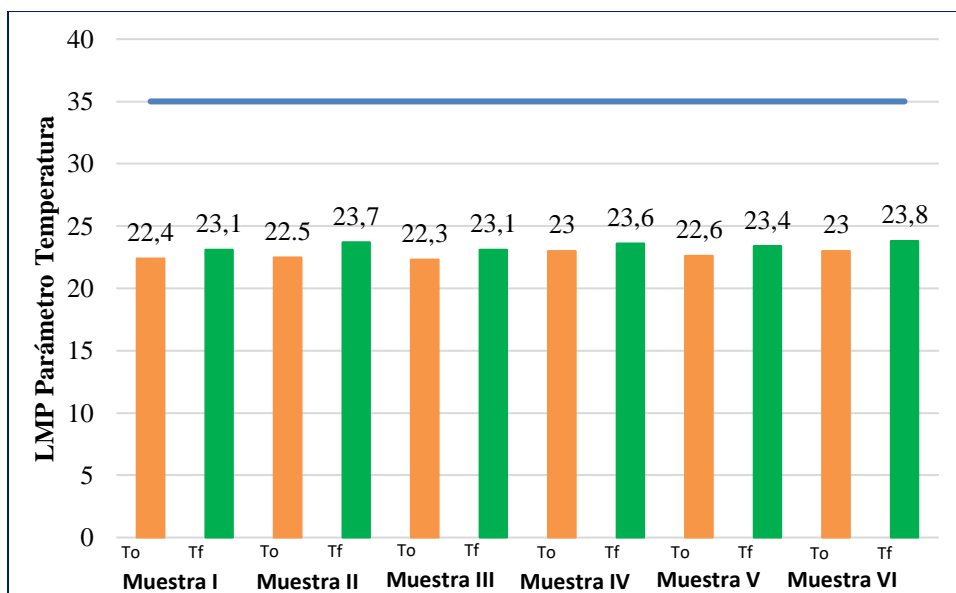
T<sub>0</sub>:Temperatura entrada; T<sub>f</sub>: Temperatura salida; LMP: Límites máximos permisibles; elaboración propia.



**Figura 18.** Comparación de la temperatura con los LMP del humedal 1



**Figura 19.** Comparación de la temperatura con los LMP del humedal 2



**Figura 20.** Comparación de la temperatura con los LMP del humedal 3

Análisis: El límite máximo permisible para el parámetro temperatura es menor de 35°; se observa que tantos los afluentes y efluentes de los tres humedales artificiales están dentro del rango establecido cumpliendo con lo dispuesto en el LMP para este parámetro.

### Comparación de coliformes termotolerantes con los LMP

**Tabla 24**

*Comparación de coliformes termotolerantes con los LMP*

Humedal	Unid.	Muestra I		Muestra II		Muestra III		Muestra IV		Muestra V		Muestra VI		LMP
		CT <sub>0</sub>	CT <sub>f</sub>	CT <sub>0</sub>	CT <sub>f</sub>	CT <sub>0</sub>	CT <sub>f</sub>	CT <sub>0</sub>	CT <sub>f</sub>	CT <sub>0</sub>	CT <sub>f</sub>	CT <sub>0</sub>	CT <sub>f</sub>	
Humedal 1		3784	321	4375	328	4562	328	4632	348	3956	340	4318	304	
Humedal 2	NMP/100 ml	4800	350	4240	320	4357	342	4120	402	3564	302	4150	332	10,000
Humedal 3		4250	336	4750	336	4218	330	4020	310	3364	308	3992	286	

CT<sub>0</sub>: Coliformes termotolerantes entrada; CT<sub>f</sub>: Coliformes termotolerantes salida; LMP: Límites máximos permisibles; elaboración propia.



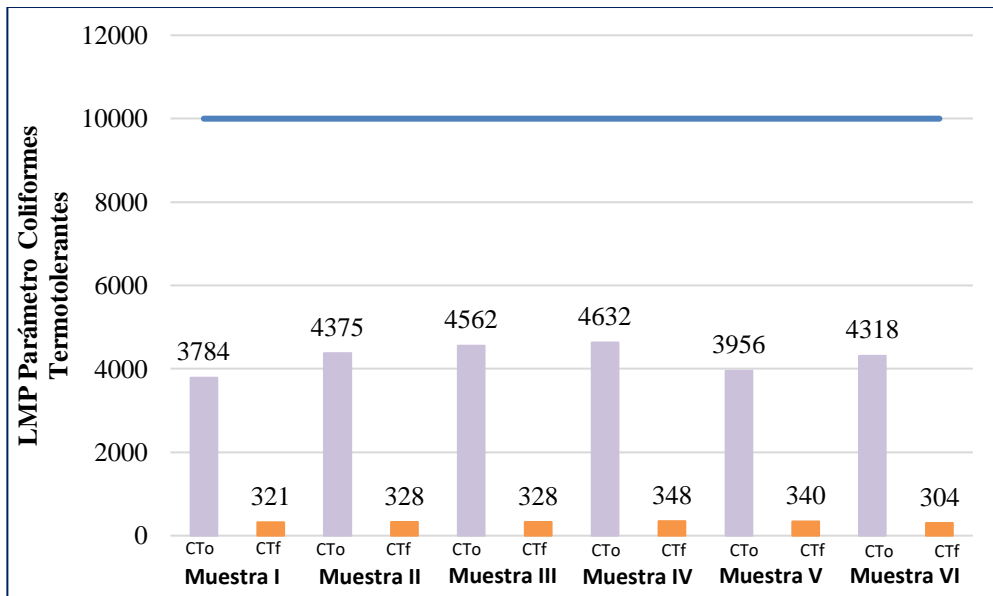


Figura 21. Comparación de coliformes termotolerantes con los LMP del humedal 1

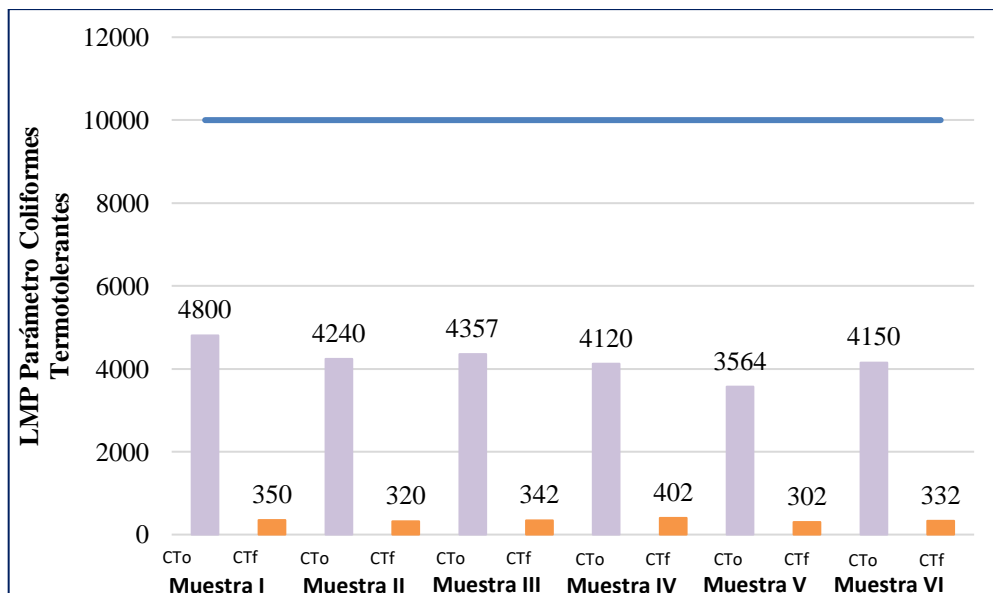


Figura 22. Comparación de coliformes termotolerantes con los LMP del humedal 2

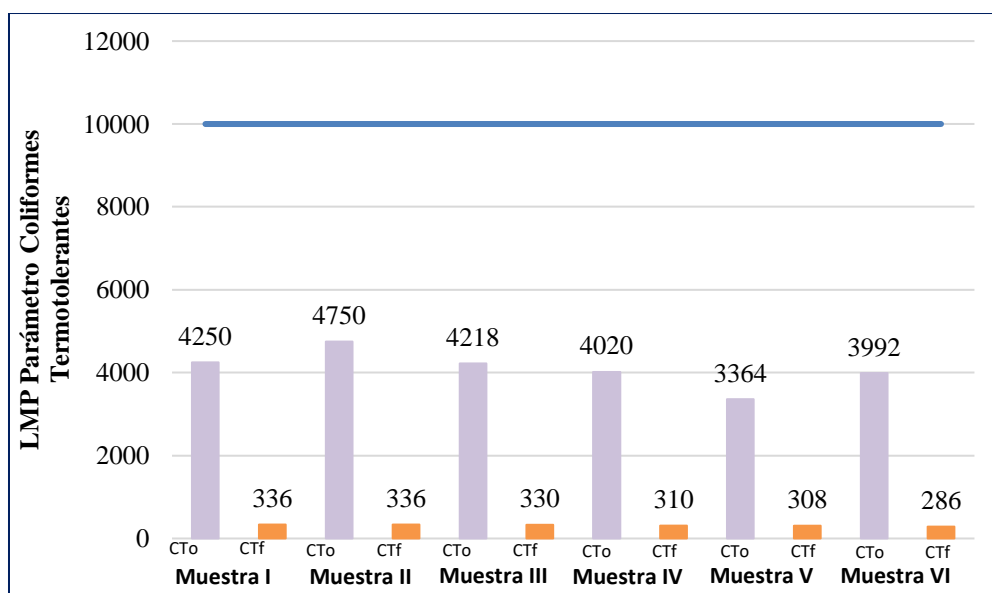


Figura 23. Comparación de coliformes termotolerantes con los LMP del humedal 3

Análisis: El límite máximo permisible para el parámetro Coliformes termotolerantes es 10,000 NMP/100ml, se observa que los afluentes y efluentes de los tres humedales artificiales están dentro del rango establecido cumpliendo con lo dispuesto en el LMP para este parámetro.

### Comparación de SST con los LMP

Tabla 25

Comparación de sólidos suspendidos totales con los LMP

Humedal	Unid.	Muestra I		Muestra II		Muestra III		Muestra IV		Muestra V		Muestra VI		LMP
		SST <sub>0</sub>	SST <sub>f</sub>	SST <sub>0</sub>	SST <sub>f</sub>	SST <sub>0</sub>	SST <sub>f</sub>	SST <sub>0</sub>	SST <sub>f</sub>	SST <sub>0</sub>	SST <sub>f</sub>	SST <sub>0</sub>	SST <sub>f</sub>	
Humedal 1	NMP/ 100 ml	810	205	920	185	780	150	794	215	917	209	853	165	150
Humedal 2		782	194	851	145	745	138	750	146	760	147	794	133	
Humedal 3		710	130	828	200	697	124	718	133	694	122	766	121	

SST<sub>0</sub>: Sólidos suspendidos totales entrada; SST<sub>f</sub>: Sólidos suspendidos totales salida; LMP: Límites máximos permisibles; elaboración propia.

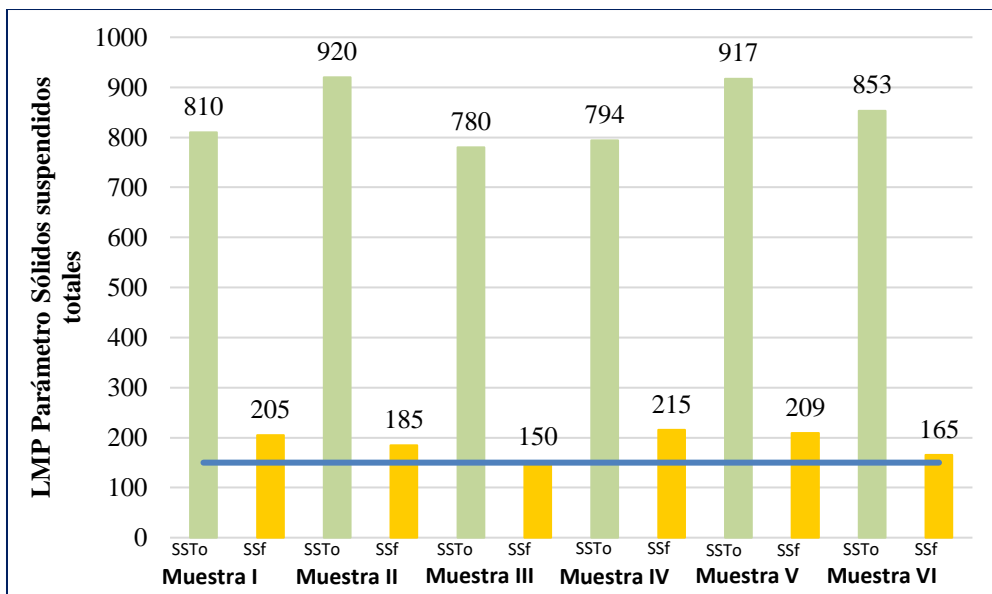


Figura 24. Comparación de SST con los LMP del humedal 1

Análisis: El límite máximo permisible para el parámetro SST es 150 NMP/100ml; se observa que todos los afluentes superan el LMP, pero después de aplicar el tratamiento mediante el humedal 1 con la especie *Guadua angustifolia* “Bambú” se observa que solo la muestra III tiene una concentración de 150 NMP/100ml cumpliendo con el LMP.

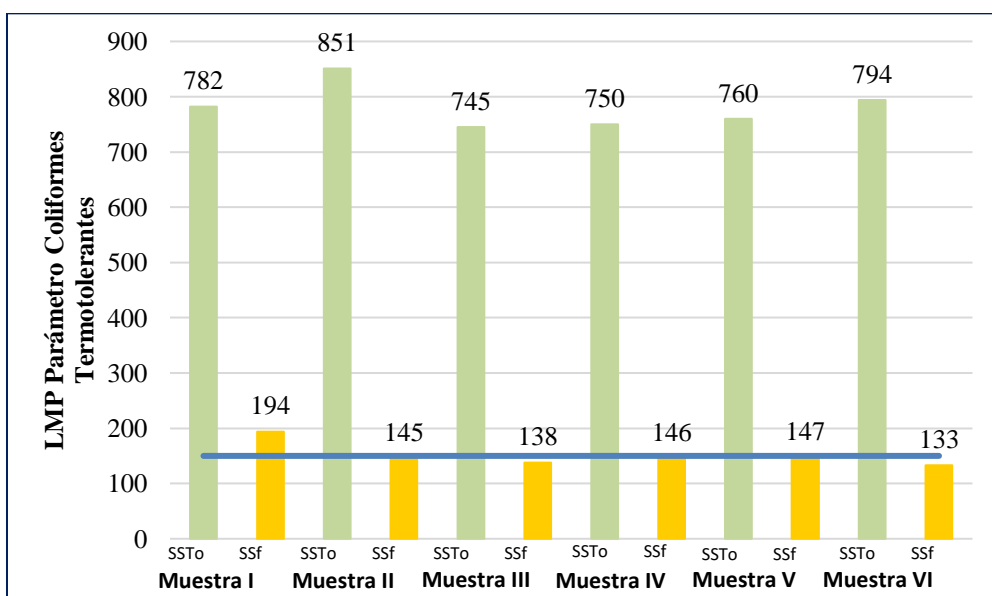
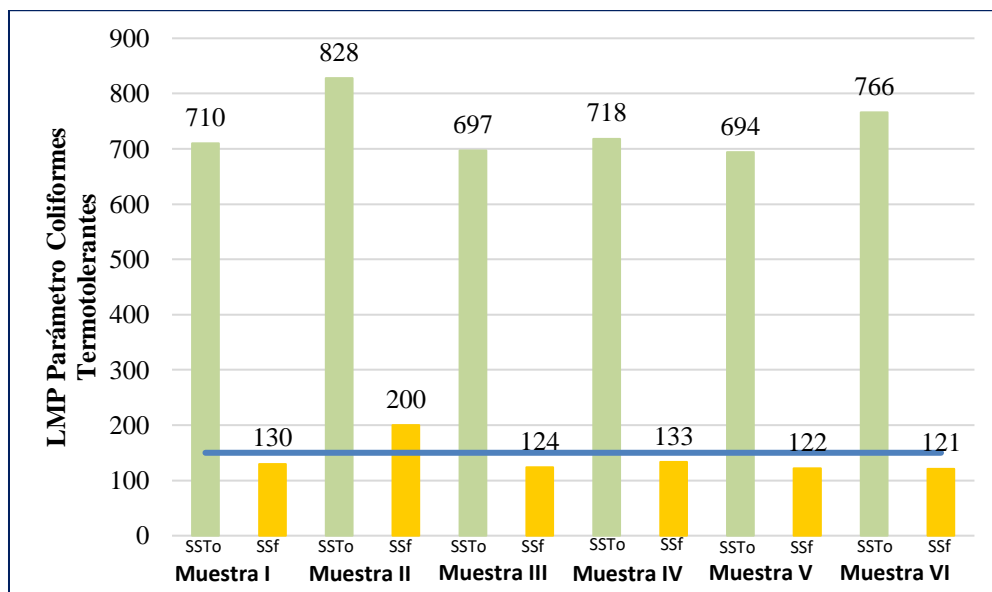


Figura 25. Comparación de SST con los LMP del humedal 2

Análisis: Se observa que todos los afluentes superan el LMP, pero después de aplicar el tratamiento mediante el humedal 2 hay una reducción significativa de las concentraciones

de los efluentes, pero a pesar de ello la muestra I supera el LMP con una concentración de 194 NMP/100ml, las demás muestras si cumplen lo dispuesto en el LMP para este parámetro.



**Figura 26.** Comparación de SST con los LMP del humedal 3

Análisis: Se observa que todos los afluentes superan el LMP, pero después de aplicar el tratamiento mediante el humedal 3 con la especie *Guadua angustifolia* “Bambú” hay una reducción significativa de las concentraciones de los efluentes, pero a pesar de ello la muestra II supera el LMP con una concentración de 200 NMP/100ml, las demás muestras si cumplen lo dispuesto en el LMP para este parámetro.

### 3.7. Comprobación de la hipótesis.

La prueba estadística desarrollado para validar los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio, correspondientes a la DQO, DBO<sub>5</sub>, coliformes termotolerantes y solidos suspendidos totales se realizó por medio de la prueba estadística de distribución t- Student pareada entre la preprueba y postprueba, con  $\alpha = 5\%$  con Minitab y usando el diseño completamente aleatorizado (DCA) a través del software IBM SPSS.

### 3.7.1. Hipótesis estadística

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):  $H_0: \mu\bar{d} = 0$**

$H_0$ : “La *Guadua angustifolia* “Bambú” mediante humedal artificial no es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado Santa Catalina, distrito y provincia de Moyobamba 2017”

**Hipótesis alterna ( $H_1$ ):  $H_1: \mu\bar{d} \neq 0$**

$H_1$ : “La *Guadua angustifolia* “Bambú” mediante humedal artificial es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado Santa Catalina, distrito y provincia de Moyobamba 2017”

**Obtención de la significancia (p) por parámetros:**

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

**Análisis estadístico de la eficiencia de la disminución de DQO**

**Tabla 26**

*IC y prueba T pareada para DQO inicial; DQO final en humedal 1*

	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Coefficiente de variación
DQO inicial	6	319,00	21,16	8,64	6,63%
DQO final	6	46,33	9,44	3,85	20,38%
Diferencia	6	272,67	15,28	6,24	5,60%

IC de 95% para la diferencia media: (256,63 ; 288,70)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs.  $\neq 0$ ):

Valor T = 43,71 **Valor p = 0,000**

Fuente: Software estadístico Minitab

**Tabla 27***IC y prueba T pareada para DQO inicial; DQO final en humedal 2*

	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Coefficiente de variación
DQO inicial	6	304,50	22,30	9,11	7,32%
DQO final	6	38,83	6,59	2,69	19,97%
Diferencia	6	265,67	20,22	8,25	7,61%

IC de 95% para la diferencia media: (244,45 ; 286,88)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs.  $\neq$  0):Valor T = 32,19 **Valor p = 0,000**

Fuente: Software estadístico Minitab

**Tabla 28***IC y prueba T pareada para DQO inicial; DQO final en humedal 3*

	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Coefficiente de variación
DQO inicial	6	296,0	32,7	13,4	11,05%
DQO final	6	39,7	7,7	3,2	19,40%
Diferencia	6	256,3	29,4	12,0	11,47%

IC de 95% para la diferencia media: (225,5 ; 287,2)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs.  $\neq$  0):Valor T = 21,34 **Valor p = 0,000**

Fuente: Software estadístico Minitab

**Análisis estadístico de la eficiencia de la disminución de DBO<sub>5</sub>****Tabla 29***IC y Prueba T pareada: DBO<sub>5</sub> inicial; DBO<sub>5</sub> final en humedal 1*

	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Coefficiente de variación
DBO <sub>5</sub> inicial	6	195,67	14,47	5,91	7,40%
DBO <sub>5</sub> final	6	23,50	6,12	2,50	26,04%
Diferencia	6	172,17	13,20	5,39	7,67%

IC de 95% para la diferencia media: (158,32 ; 186,02)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs.  $\neq$  0):Valor T = 31,96 **Valor p = 0,000**

Fuente: Software estadístico Minitab

**Tabla 30***IC y Prueba T pareada: DBO<sub>5</sub> inicial; DBO<sub>5</sub> final en humedal 2*

	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Coefficiente de variación
DBO <sub>5</sub> inicial	6	196,7	24,8	10,1	12,61%
DBO <sub>5</sub> final	6	21,2	6,6	2,7	31,13%
Diferencia	6	175,50	21,00	8,57	11,97%

IC de 95% para la diferencia media: (156,46 ; 197,54)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. ≠ 0):

Valor T = 20,47 **Valor p = 0,000**

Fuente: Software estadístico Minitab

**Tabla 31***IC y Prueba T pareada: DBO<sub>5</sub> inicial; DBO<sub>5</sub> final en humedal 3*

	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Coefficiente de variación
DBO <sub>5</sub> inicial	6	189,8	29,1	11,9	15,33%
DBO <sub>5</sub> final	6	23,5	7,4	3,0	31,49%
Diferencia	6	166,3	26,0	10,6	15,63%

IC de 95% para la diferencia media: (139,1 ; 193,6)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. ≠ 0):

Valor T = 15,70 **Valor p = 0,000**

Fuente: Software estadístico Minitab

**Análisis estadístico de la eficiencia de la disminución de coliformes termotolerantes****Tabla 32***IC y Prueba T pareada: CT inicial; CT final en humedal 1*

	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Coefficiente de variación
CT inicial	6	4 271	336	137	7,87%
CT final	6	328	15	6	4,57%
Diferencia	6	3 943	333	136	8,45%

IC de 95% para la diferencia media: (3 594 ; 4 292)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. ≠ 0):

Valor T = 29,01 **Valor p = 0,000**

Fuente: Software estadístico Minitab

**Tabla 33***IC y Prueba T pareada: CT inicial; CT final en humedal 2*

	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Coefficiente de variación
CT inicial	6	4 205	400	163	9,51%
CT final	6	341	34	14	9,97%
Diferencia	6	3 864	389	159	10,07%

IC de 95% para la diferencia media: (3 456 ; 4 272)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs.  $\neq$  0):Valor T = 24,35 **Valor p = 0,000**

Fuente: Software estadístico Minitab

**Tabla 34***IC y Prueba T pareada: CT inicial; CT final en humedal 3*

	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Coefficiente de variación
CT inicial	6	4 099	451	184	11,00%
CT final	6	318	20	8	6,29%
Diferencia	6	3781	440	179	11,64%

IC de 95% para la diferencia media: (3 320 ; 4 243)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs.  $\neq$  0):Valor T = 21,07 **Valor p = 0,000**

Fuente: Software estadístico Minitab

**Análisis estadístico de la eficiencia de la disminución de sólidos suspendidos totales****Tabla 35***IC y Prueba T pareada: SST inicial; SST final en humedal 1*

	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Coefficiente de variación
SST inicial	6	845,7	61,5	25,1	7,27%
SST final	6	188,2	26,2	10,7	13,92%
Diferencia	6	657,5	61,9	25,3	9,41%

IC de 95% para la diferencia media: (592,5 ; 722,5)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs.  $\neq$  0):Valor T = 26,02 **Valor p = 0,000**

Fuente: Software estadístico Minitab



**Tabla 36***IC y Prueba T pareada: SST inicial; SST final en humedal 2*

	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Coefficiente de variación
SST inicial	6	780,3	39,4	16,1	5,05%
SST final	6	150,5	22,0	9,0	14,62%
Diferencia	6	629,8	44,7	18,3	7,10%

IC de 95% para la diferencia media: (582,9 ; 676,8)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs.  $\neq$  0):Valor T = 34,51 **Valor p = 0,000**

Fuente: Software estadístico Minitab

**Tabla 37***IC y Prueba T pareada: SST inicial; SST final en humedal 3*

	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Coefficiente de variación
SST inicial	6	735,5	52,2	21,3	7,10%
SST final	6	138,3	30,6	12,5	22,13%
Diferencia	6	597,2	31,3	12,8	5,24%

IC de 95% para la diferencia media: (564,3 ; 630,0)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs.  $\neq$  0):Valor T = 46,73 **Valor p = 0,000**

Fuente: Software estadístico Minitab

**Regla de decisión:**Si el Valor p (Sig)  $\geq$  0,05 se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ).Si el Valor p (Sig)  $<$  0,05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ )**Decisión**

Como el p valor (Sig) en todos los parámetros y en los tres humedales son menores que 0,05, valor de nivel de significancia previamente establecido, por lo tanto, rechazamos  $H_0$  y aceptamos  $H_1$ .

### 3.7.2. Pruebas estadísticas para determinar el humedal más eficiente.

#### ANOVA para DQO, DBO<sub>5</sub>, CT y SST

H<sub>0</sub>: T<sub>1</sub> = T<sub>2</sub> = T<sub>3</sub>

H<sub>1</sub>: T<sub>1</sub> ≠ T<sub>2</sub> ≠ T<sub>3</sub> (Al menos dos tratamientos son diferentes)

**Tabla 38**

*Pruebas de efectos inter-humedales, variable dependiente DQO*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	202,778 <sup>a</sup>	2	101,389	1,582	,238
Interceptación	31166,722	1	31166,722	486,220	,000
Tratamiento	202,778	2	101,389	1,582	,238
Error	961,500	15	64,100		
Total	32331,000	18			
Total corregido	1164,278	17			

(<sup>a</sup>) R al cuadrado = ,174 (R al cuadrado ajustada = ,064)

Como Sig. = 0,238 se acepta la H<sub>0</sub>, los tratamientos en los tres humedales correspondiente al DQO no varían.

**Tabla 39**

*Pruebas de efectos inter-humedales, variable dependiente DBO<sub>5</sub>*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	21,778 <sup>a</sup>	2	10,889	,241	,789
Interceptación	9293,389	1	9293,389	205,657	,000
Tratamiento	21,778	2	10,889	,241	,789
Error	677,833	15	45,189		
Total	9993,000	18			
Total corregido	699,611	17			

(<sup>a</sup>). R al cuadrado = ,031 (R al cuadrado ajustada = -,098)

Como Sig. = 0,789 se acepta la H<sub>0</sub>, los tratamientos en los tres humedales correspondiente al DBO<sub>5</sub> no varían.

**Tabla 40***Pruebas de efectos inter-humedales, variable dependiente CT*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	1687,444 <sup>a</sup>	2	843,722	1,407	,275
Interceptación	1948996,056	1	1948996,056	3250,674	,000
Tratamiento	1687,444	2	843,722	1,407	,275
Error	8993,500	15	599,567		
Total	1959677,000	18			
Total corregido	10680,944	17			

(a). R al cuadrado = ,158 (R al cuadrado ajustada = ,046)

Como Sig. = 0,275 se acepta la H<sub>0</sub>, los tratamientos en los tres humedales correspondiente a Coliformes Termotolerantes no varían.

**Tabla 41***Pruebas de efectos inter-humedales, variable dependiente SST*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	8100,333 <sup>a</sup>	2	4050,167	5,769	,014
Interceptación	455058,000	1	455058,000	648,128	,000
Tratamiento	8100,333	2	4050,167	5,769	,014
Error	10531,667	15	702,111		
Total	473690,000	18			
Total corregido	18632,000	17			

(a). R al cuadrado = ,435 (R al cuadrado ajustada = ,359)

Como Sig. = 0,014 se rechaza la H<sub>0</sub>, los tratamientos en los tres humedales correspondiente a Sólidos Suspendidos Totales varían al menos en 2.

**DUNCAN para DQO, DBO<sub>5</sub>, CT y SST**

Determinamos el mejor tratamiento para cada parámetro con la cual permita cumplir con los LMP.

**Tabla 42***Prueba Duncan, parámetro DQO*

Duncan <sup>a,b</sup>		
Tratamiento	N	Subconjunto
		1
Humedal 2	6	38,83
Humedal 3	6	39,67
Humedal 1	6	46,33
Sig.		,144

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 64,100.

(<sup>a</sup>). Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.

(<sup>b</sup>). Alfa = 0,05.

Decisión: En el humedal 2 (testigo) con 0 plantas se recomienda para obtener un tratamiento más eficiente respecto a la DQO y cumplir con las concentraciones por debajo de los LMP.

**Tabla 43***Prueba Duncan, parámetro DBO<sub>5</sub>*

Duncan <sup>a,b</sup>		
Tratamiento	N	Subconjunto
		1
Humedal 2	6	21.17
Humedal 1	6	23.50
Humedal 3	6	23.50
Sig.		,578

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 45,189.

(<sup>a</sup>). Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.

(<sup>b</sup>). Alfa = 0,05.

Decisión: En el humedal 2 (testigo) con 0 plantas se recomienda para obtener un tratamiento más eficiente respecto a la DBO<sub>5</sub> y cumplir con las concentraciones por debajo de los LMP.

**Tabla 44***Prueba Duncan, parámetro coliformes termotolerantes*Duncan<sup>a,b</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto	
		1	
Humedal 3	6	317,67	
Humedal 1	6	328,17	
Humedal 2	6	341,33	
Sig.			,132

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 599,567

(<sup>a</sup>). Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.

(<sup>b</sup>). Alfa = 0,05.

Decisión: En el humedal 3 con 10 plantas se recomienda para obtener un tratamiento más eficiente respecto a coliformes termotolerantes y cumplir con las concentraciones por debajo de los LMP.

**Tabla 45***Prueba Duncan, parámetro sólidos suspendidos totales*Duncan<sup>a,b</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto	
		1	2
Humedal 3	6	138,33	
Humedal 2	6	150,50	
Humedal 1	6		188,17
Sig.		,439	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 702,111.

(<sup>a</sup>). Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.

(<sup>b</sup>). Alfa = 0.05.

Decisión: En el humedal 3 con 10 plantas se recomienda para obtener un tratamiento eficiente respecto a sólidos suspendidos totales y cumplir con las concentraciones por debajo de los LMP.

### Validación del modelo

Diseño: intercepción + tratamiento

### Prueba de normalidad de errores - Shapiro-Wilk (n<50)

H0: Los residuales tienen una distribución normal

H1: Los residuales no tienen una distribución normal

**Tabla 46**

*Pruebas de normalidad de parámetros*

Variable dependiente	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
DQO	,938	18	,27
DBO <sub>5</sub>	,918	18	,12
Coliformes Termotolerantes	,947	18	,38
Sólidos Suspendidos Totales	,895	18	,05

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

(<sup>a</sup>). Corrección de significación de Lilliefors

**Decisión:** El nivel de significancia para todos los parámetros Sig  $\geq 0,05$ , en todos los casos, entonces se acepta la H<sub>0</sub>, es decir los residuales tienen una distribución normal.

### Homogeneidad de varianzas

H<sub>0</sub>: Las varianzas en los resultados de los humedales son iguales

H<sub>1</sub>: Las varianzas en los resultados de los humedales son diferentes

**Tabla 47**

*Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error<sup>a</sup>*

Variable dependiente	F	df1	df2	Sig.
DQO	,365	2	15	,700
DBO <sub>5</sub>	,214	2	15	,809
Coliformes Termotolerantes	1,066	2	15	,369
Sólidos Suspendidos Totales	,328	2	15	,726

(<sup>a</sup>). Diseño: Interceptación + tratamiento

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

**Decisión:** En todos los parámetros como sig  $> 0.05$ , entonces se acepta H<sub>0</sub>, es decir el tratamiento en los tres humedales presentan varianzas homogéneas.

Además, en términos porcentuales en el humedal más eficiente tenemos:

**Reducción de la materia orgánica en términos DQO:** En efecto los ensayos finales alcanzaron una eficiencia en el humedal 2 (testigo) con 0 plantas cuya reducción de demanda química de oxígeno (DQO) en las seis pruebas son 85,67%, 88,85%, 88,36%, 84,14%, 88,92% y 88,55%, obteniendo concentraciones por debajo del límite máximo permisible de 200 mg/L cuya eficiencia queda comprobada.

**Reducción de la materia orgánica en términos de DBO<sub>5</sub>:** En efecto se redujo la materia orgánica en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) con mayores eficiencias en el humedal 2 (testigo) con 0 plantas de 87,85%, 91,85%, 91,40%, 88,42%, 84,86% y 91,49%, obteniendo concentraciones por debajo del límite máximo permisible de 100 mg/L los que indican un significativo tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado Santa Catalina, distrito y provincia de Moyobamba 2017.

**Disminución de coliformes termotolerantes (CT):** Obtenido los resultados para el parámetro coliformes termotolerantes tenemos las eficiencias en el humedal 3 con 10 plantas de 92,09%, 92,93%, 92,18%, 92,29%, 90,84% y 92,84%, lo que indica concentraciones por debajo del límite máximo permisible de 10 000 NMP/100 ml, afirmando así la eficiencia del tratamiento.

**Remoción de sólidos suspendidos totales (SST):** Como resultado final en las pruebas de sólidos suspendidos totales (SST) tenemos las más bajas concentraciones en el humedal 3 con 10 plantas, cuyas eficiencias son 81,69%, 75,85%, 82,21%, 81,48%, 82,42% y 84,20%, las cuales se ubican por debajo del límite máximo permisible de 150 mg/L,

#### **Decisión final:**

Finalmente se rechaza la  $H_0$  a un nivel de significancia de 5%; por lo tanto, se acepta  $H_1$ , es decir se afirma que si existe una eficiencia estadísticamente significativa antes y después del tratamiento con respecto a los LMP.

Por lo tanto, este resultado nos permite declarar parcialmente como verdadera a la hipótesis de investigación: *“La Guadua angustifolia “Bambú” mediante humedal artificial es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado Santa Catalina, distrito y provincia de Moyobamba 2017”*.

La siguiente tabla contiene un consolidado de todos los resultados obtenidos durante los meses de experimentación para cada uno de los tres humedales artificiales, comparando con el Límite Máximo Permisible correspondiente por cada parámetro evaluado.

**Tabla 48**

*Evaluaciones realizadas para los tres humedales artificiales*

Parámetro	N° muestra	Unidad	Humedal 1			Humedal 2			Humedal 3			LMP
			Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)	Entrada	Salida	Efic. (%)	
DQO	1	mg/L	318	40	87,42	335	48	85,67	327	44	86,54	200
	2		342	47	86,26	305	34	88,85	327	44	86,54	
	3		286	37	87,06	275	32	88,36	250	32	87,20	
	4		322	52	83,85	290	46	84,14	262	38	85,50	
	5		340	62	81,76	325	36	88,92	306	30	90,20	
	6		306	40	86,93	297	34	88,55	304	50	83,55	
DBO <sub>5</sub>	1	mg/L	192	18	90,63	247	30	87,85	212	23	89,15	100
	2		205	24	88,29	184	15	91,85	234	35	85,04	
	3		197	20	89,85	186	16	91,40	172	14	91,86	
	4		201	35	82,59	190	22	88,42	194	18	90,72	
	5		210	24	88,57	185	28	84,86	158	23	85,44	
	6		169	20	88,17	188	16	91,49	169	28	83,43	
Turbiedad	1	NTU	78	20	74,36	210	33	84,29	124	24	80,65	---
	2		98	19	80,61	175	27	84,57	124	24	80,65	
	3		165	25	84,85	147	22	85,03	138	24	82,61	
	4		221	42	81,00	184	21	88,59	144	30	79,17	
	5		85	18	78,82	172	22	87,21	115	21	81,74	
	6		95	24	74,74	108	21	80,56	114	23	79,82	
pH	1	---	6,84	7,01	---	6,98	7,05	---	6,92	7,12	---	6,5 - 8,5
	2		6,88	7,18	---	6,97	7,23	---	6,84	7,09	---	
	3		6,92	7,34	---	6,97	7,28	---	6,9	7,24	---	
	4		6,9	7,12	---	7,01	7,18	---	6,72	7,04	---	
	5		6,62	7,06	---	6,9	7,35	---	6,84	7,02	---	
	6		6,74	7,06	---	6,8	7,01	---	6,79	6,98	---	
Temperatura	1	°C	22,8	23,2	---	22,6	23	---	22,4	23,1	---	< 35°
	2		22,5	22,7	---	22,3	22,6	---	22,5	23,7	---	
	3		22,2	23,8	---	22,5	23,4	---	22,3	23,1	---	
	4		22,4	23,3	---	23	23,4	---	23	23,6	---	
	5		22,5	23,2	---	22,5	23,4	---	22,6	23,4	---	
	6		23,5	23,8	---	23,5	23,4	---	23	23,8	---	
Coliformes termotolerantes	1	NMP /100ml	3784	321	91,52	4800	350	92,71	4250	336	92,09	10 000
	2		4375	328	92,50	4240	320	92,45	4750	336	92,93	
	3		4562	328	92,81	4357	342	92,15	4218	330	92,18	
	4		4632	348	92,49	4120	402	90,24	4020	310	92,29	
	5		3956	340	91,41	3564	302	91,53	3364	308	90,84	
	6		4318	304	92,96	4150	332	92,00	3992	286	92,84	
Solidos suspendidos totales	1	NMP /100ml	810	205	74,69	782	194	75,19	710	130	81,69	150
	2		920	185	79,89	851	145	82,96	828	200	75,85	
	3		780	150	80,77	745	138	81,48	697	124	82,21	
	4		794	215	72,92	750	146	80,53	718	133	81,48	
	5		917	209	77,21	760	147	80,66	694	122	82,42	
	6		853	165	80,66	794	133	83,25	766	121	84,20	

Fuente: Informe de laboratorio, Anexo N° 5, elaboración propia



### 3.8. Discusión de resultados

Para la caracterización del agua residual doméstica de los tres humedales artificiales usando la especie *Guadua angustifolia* “Bambú” se evaluó 7 parámetros físicos, químicos y biológicos que son DQO, DBO<sub>5</sub>, turbiedad, pH, temperatura, coliformes termotolerantes y sólidos suspendidos totales, de los afluentes y efluentes de los tres humedales artificiales diseñados y construidos para la presente investigación

Del análisis realizado durante el desarrollo de la investigación durante los meses de marzo, abril, mayo y junio se obtuvieron resultados positivos con altas eficiencias de remoción donde el humedal 2 con 0 plantas de *Guadua angustifolia* “Bambú” obtuvo mejores resultados en relación a los humedales 1 y 3 presentando una significativa remoción del parámetro DQO con valores de eficiencias del 85,67% (335 a 48 mg/L), 88,85% (305 a 34 mg/L), 88,36% (275 a 32 mg/L), 84,14% (290 a 46 mg/L), 88,92% (325 a 36 mg/L) y 88,55% (297 a 34 mg/L); para el parámetro DBO<sub>5</sub> eficiencias en remoción del 87,85% (247 a 30 mg/L), 91,85% (184 a 15 mg/L), 91,40% (186 a 16 mg/L), 88,42% (190 a 22 mg/L), 84,86% (185 a 28 mg/L) y 91,49% (188 a 16 mg/L), sin embargo para Marín, *et al.*, (2010) en su investigación evaluaron la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la *Guadua angustifolia Kunth* concluye que, en cuestión de remoción de contaminantes de tipo orgánico, obtuvieron mejores resultados con el humedal 1 (con lecho de arena) debido a que su porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> el cual fue de 92,21% y DQO de 84,31% con respecto al humedal 2 (con lecho de grava) el cual presentó un porcentaje de remoción DBO<sub>5</sub> de 72,88% y DQO 64,35%, y ambos humedales remueven coliformes fecales y totales mostrando mejores el humedal 1 y menciona que los humedales artificiales empleados en el estudio experimental con la *Guadua angustifolia Kunth* demostraron ser ideales para ser empleados como tratamiento terciario de aguas residuales.

Así mismo Tito (2015) en su investigación “Tratamiento de aguas residuales grises domésticas con la especie paraguaitas *Cyperus alternifolius* en humedales artificiales, urbanización Zárate – San Juan de Lurigancho” concluye que el humedal con la especie *Cyperus alternifolius* logró remover contaminantes físicos – químicos orgánicos de las aguas residuales grises domésticas, es decir el humedal con la especie indicada presenta mayor eficiencia de remoción en los parámetros de turbiedad, DBO y DQO, mientras que en el parámetro de sólidos suspendidos totales fue mayor la eficiencia para el humedal testigo (sin

plantas). Además, concluye que el humedal con la especie *Cyperus alternifolius* debe ser considerado como tratamiento secundario para las aguas residuales grises domésticas.

Además, para Torres, *et al.*, (2015). en su proyecto de investigación, la especie *Cyperus papyrus* tiene mayor remoción en la calidad de DBO y turbidez un 77% mayor a *Phragmites australis*, mientras ésta un 30 % mayor en la remoción coliformes totales y coliformes termotolerantes

Se coincide con lo manifestado por Delgadillo *et al.*, (2010) que los humedales artificiales independientemente de la especie heliófila utilizada tienen en una alta eficiencia en remoción de DBO y DQO, teniendo como resultado que el humedal 2 (solo con grava) obtuvo mejores resultados de eficiencia de remoción para los parámetros DQO y DBO<sub>5</sub> con eficiencias de remoción que varían desde 84,14% a 88,92% y 84,86% a 91,85% respectivamente.

El humedal 3 con 10 plantas de *Guadua angustifolia* “Bambú” logró mejores eficiencias con una significativa remoción del parámetro Coliformes Termotolerantes con valores de eficiencia del 92,09% (4 250 a 336 NMP/100ml), 92,93% (4 750 a 336 NMP/100ml), 92,18% (4 218 a 330 NMP/100ml), 92,29% (4 020 a 310 NMP/100ml), 90,84% (3 364 a 308 NMP/100ml) y 92,84% (3 992 a 286 NMP/100ml); para el parámetro Sólidos Suspendidos Totales eficiencias en remoción del 81,69% (710 a 130 NMP/100ml), 75,85% (828 a 200 NMP/100ml), 82,21% (697 a 124 NMP/100ml), 81,48% (718 a 133 NMP/100ml), 82,42% (694 a 122 NMP/100ml) y 84,20% (766 a 121 NMP/100ml); resultados similares al proyecto de investigación de Otálora (2011) donde evaluó un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de Caño Gandú en cuanto a los sólidos suspendidos se obtuvo una eficiencia de remoción en promedio del 95% en el reactor de sedimentación y del 92,5% en el humedal artificial.

La remoción de coliformes termotolerantes en el humedal 3 con 10 especies de *Guadua angustifolia* “Bambú” presenta mejores eficiencias entre 90,84% (3 364 a 308 NMP/100ml) a 92,93% (4 750 a 336 NMP/100ml) y de entre 75,85% (828 a 200 NMP/100ml) a 84,20% (766 a 121 NMP/100ml) para sólidos suspendidos totales, lográndose disminuir significativamente los parámetros evaluados, sin embargo para Medina, *et al.*, (2015) en su investigación evaluó la eficiencia de humedal artificial con la especie *Arundo donax* (caña

brava) obtuvo efluentes que 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 DBO varía entre 161 y 97 mg/L, en cuanto a los coliformes fecales los valores están entre 1 995 y 3 541 UFC/100 ml y para los Sólidos Totales en Suspensión los valores oscilan entre 23 y 45 mg/L.

En la presente investigación se logró disminuir los parámetros evaluados para cumplir con los LMP establecidas en las normas; donde finalmente se concluye, valida y demostramos la efectividad que la *Guadua angustifolia* “Bambú” mediante humedales artificiales es eficiente y siendo una alternativa de tratamiento de bajo costo en la depuración de físico, química y biológica, presentando una alta eficiencia de remoción de la concentración de contaminantes de los parámetros evaluados, por su parte Medina, *et al.*, (2015) afirma también en su proyecto de investigación que después de los tres meses de análisis los valores obtenidos cumplen con los límites máximos permisibles, el humedal artificial con *Arundo donax* está cumpliendo su función de depurar las aguas residuales, además firma que son una alternativa de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales, que no requiere de mantenimiento de consumo de energía eléctrica y su efectividad es óptima, son ambientalmente amigables por que no contaminan, no genera residuos y el agua tratada puede ser reutilizada para riego de jardines.

## CONCLUSIONES

El diseño experimental mediante humedales artificiales donde se empleó como sustrato grava fina (16 mm) y grava media (32 mm), consistió en 3 humedales; el humedal 1 con 5 plantas de *Guadua angustifolia* “Bambú”, el humedal 2 (sin plantas) y el humedal 3 con 10 plantas de *Guadua angustifolia* “Bambú”, con un caudal de diseño de 2,72 m<sup>3</sup>/s, el ancho y largo del humedal artificial fue diseñado con la relación 2:1 contando con un ancho de 1,15 m y 2,30 m de largo.

El humedal 2 (sin plantas) es eficiente al lograr una significativa remoción del parámetro demanda química de oxígeno con valores de eficiencias del 85,67% (335 a 48 mg/L), 88,85% (305 a 34 mg/L), 88,36% (275 a 32 mg/L), 84,14% (290 a 46 mg/L), 88,92% (325 a 36 mg/L) y 88,55% (297 a 34 mg/L); para el parámetro demanda bioquímica de oxígeno eficiencias en remoción del 87,85% (247 a 30 mg/L), 91,85% (184 a 15 mg/L), 91,40% (186 a 16 mg/L), 88,42% (190 a 22 mg/L), 84,86% (185 a 28 mg/L) y 91,49% (188 a 16 mg/L).

El humedal 3 con 10 plantas de *Guadua angustifolia* “Bambú” es eficiente al lograr una significativa remoción del parámetro coliformes termotolerantes con valores de eficiencia del 92,09% (4250 a 336 NMP/100ml), 92,93% (4750 a 336 NMP/100ml), 92,18% (4218 a 330 NMP/100ml), 92,29% (4020 a 310 NMP/100ml), 90,84% (3364 a 308 NMP/100ml) y 92,84% (3992 a 286 NMP/100ml); para el parámetro Sólidos Suspendidos totales eficiencias en remoción del 81,69% (710 a 130 NMP/100ml), 75,85% (828 a 200 NMP/100ml), 82,21% (697 a 124 NMP/100ml), 81,48% (718 a 133 NMP/100ml), 82,42% (694 a 122 NMP/100ml) y 84,20% (766 a 121 NMP/100ml).

Los resultados obtenidos del análisis físico, químico y biológico de los efluentes de los tres humedales artificiales para los parámetros, DQO; DBO<sub>5</sub>, Turbiedad, pH, Temperatura y Coliformes Termotolerantes durante el desarrollo de la investigación cumplen con los Límites Máximos Permisibles. Para el parámetro Sólidos Suspendidos Totales en el humedal 1 con 5 plantas de *Guadua angustifolia* “Bambú” solo la muestra 3 si cumple los LMP, en el humedal 2 con 0 plantas de *Guadua angustifolia* “Bambú” de las 6 muestras evaluadas solo la muestra 1 no cumple con los establecido en los LMP; así mismo en el humedal 3 con 10 plantas de *Guadua angustifolia* “Bambú” la muestra 2 no cumple con los LMP.

Se concluye finalmente que la *Guadua angustifolia* “Bambú” mediante humedales artificiales es eficiente y de bajo costo en la depuración de físico, química y biológica, presentando una alta eficiencia de remoción de la concentración de contaminantes de los parámetros evaluados, dado que al realizarse la comparación con los límites máximos permisibles establecidos, en todos los casos estaban por debajo del valor establecido, por lo que queda validada y demostrada la efectividad del estímulo en esta investigación.

## RECOMENDACIONES

A los profesionales, autoridades locales cuando se requiera aplicar este diseño de humedal artificial como planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, anteceder por un pre sedimentador para evitar colmataciones de sólidos en las tuberías de ingreso al humedal artificial, así mismo mantenerlo en correcto funcionamiento con un adecuado mantenimiento para evitar atascamientos, presentación de vectores, entre otros factores que puedan afectar su rendimiento.

A los investigadores de las ciencias de la Ingeniería Sanitaria realizar estudios con el efluente del humedal artificial con la finalidad de recomendar su aplicación en otros ámbitos, como riego en la agricultura y otros usos en caso se requiera.

A los profesionales e investigadores en general que desean realizar una investigación sobre este diseño de humedal artificial aplicarlo con afluentes provenientes de camales, mataderos, etc. para conocer su comportamiento con concentraciones altas de DBO y DQO.

A los Gobiernos Locales, impulsar la implementación en comunidades rurales este tipo de sistema como alternativa de tratamiento de aguas residuales domésticas por su bajo costo, alta eficiencia y no requiere de muchas exigencias para su correcto funcionamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

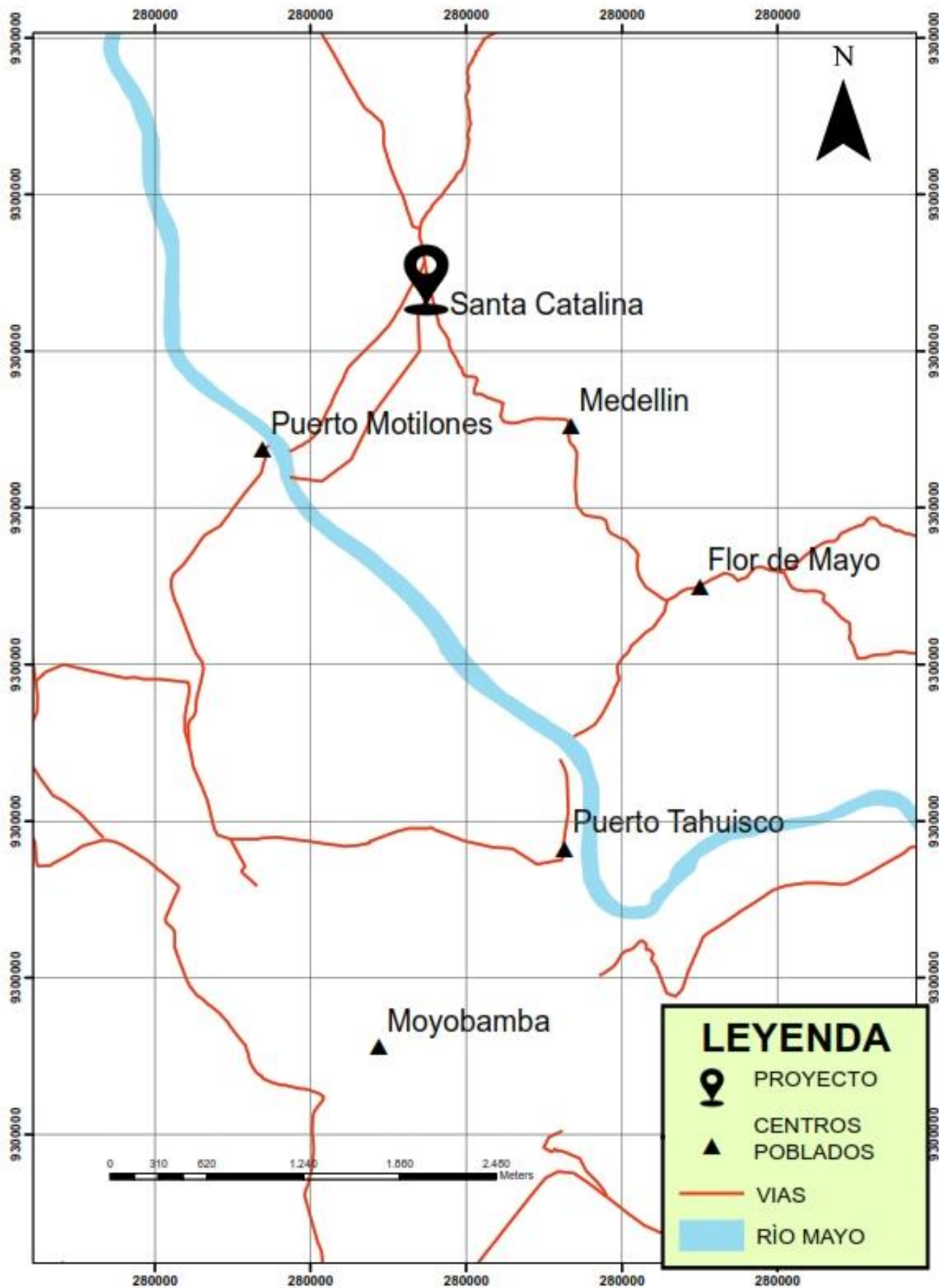
- Chafloque, W. A., y Guadalupe Gómez, E. (2006). *Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM*. Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, 85-96.
- Corporación Autónoma regional del Valle del Cauca y Corporación Aldea Global (2005). *Silvicultura y manejo sostenible de la Guadua*. Colombia.
- Crites, R y Tchobanoglous, G. (2000) *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Mc.Graw Hill, Santafé de Bogota.
- Delgadillo, O., Camacho, A., F. Pérez, L., y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Flores, S. M (2014). *Aplicación de humedal artificial con macrofitas flotantes en la recuperación de las aguas residuales domésticas, Moyobamba – San Martín* (Tesis pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú.
- García, J., y Corzo, A. (2008) *Depuración con humedales construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*.
- García, M. y Pérez, J. (2005). *Aguas residuales: Composición*. Universidad de Granada, Granada.
- González, J. F. (2004). *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Llagas, W. y Guadalupe E. (2006). *Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM*. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMM
- Marín, J. y Correa, J. (2010). *Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la Guadua angustifolia Kunth*. (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Medina, F. y López, E. (2015). *Determinación de la eficiencia del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en el barranco sector cruce de Uchuglla, de la ciudad de Moyobamba 2013* (Tesis pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú.

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2013). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Oficina de Medio Ambiente, Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (2010). *Límite Máximo Permisible para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Diario El Peruano.
- Montalván, P. y López, K. (2017). *Eficiencia del humedal artificial con *Cyperus papyrus* y *Typha angustifolia* en la depuración de aguas residuales domésticas Habana - 2015* (Tesis pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú.
- OEFA (2014). *Informe de Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. San Isidro, Lima, Perú.
- Otálora A. (2011). *Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de Caño Gandú*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- PNUMA & ONU-Hábitat (2010), OMS (2014). *Informe de Gestión de Aguas Residuales*
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de Diseño*. Bogotá. Editorial Escuela Colombiana de ingeniería, Cuarta Edición, 1248p.
- SENHAMI (2018). *Red de estaciones a nivel nacional: Datos meteorológicos*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=datos-historicos>
- Serrano, J. G., y Corzo Hernández, A. (2008). *Depuración con Humedales Construidos*. Catalunya: Politècnica de Catalunya.
- Tito, R. (2015). *Tratamiento de aguas residuales grises domésticas con la especie *Cyperus alternifolius* en humedales artificiales, urbanización Zárate – San Juan de Lurigancho 2015* (Tesis pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Torres J., Magno J., Pineda R. y Cruz M., (2015). *Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales de Carapongo-Lurigancho para riecho mediante Humedades Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australi*, en Carapongo Lurigancho*. Universidad Peruana Unión, Lima, Perú.



# ANEXOS

## Anexo 1. Mapa de ubicación del proyecto de investigación.



## Anexo 2. Panel fotográfico



*Fotografía 1. Selección y limpieza del terreno*



*Fotografía 2. Construcción de paredes con ladrillo tipo sogá*



*Fotografía 3. Tarrajeo de muros e impermeabilizado con Zika*



*Fotografía 4. Sistema de humedales*



*Fotografía 5. Instalación de accesorios sanitarios*



*Fotografía 6. Accesorios sanitarios a la entrada del humedal artificial*



Fotografía 7. Accesorios sanitarios a la salida del humedal artificial



Fotografía 8. Colocación de la grava



Fotografía 9. Siembra de la *Guadua angustifolia* en el humedal 3



Fotografía 10. Siembra de la *Guadua angustifolia* en el humedal 1



Fotografía 11. Crecimiento de la *Guadua angustifolia*



Fotografía 12. Recojo de muestras a la salida del humedal



Fotografía 13. Muestras tomadas de los tres humedales artificiales



Fotografía 14. Muestras tomadas pre y post tratamiento de cada humedal artificial



Fotografía 15. Recojo de muestras



*Fotografía 16.* Planta general del sistema de humedales

**Anexo 3. Ficha de registro de datos de campo**

<b>Humedal N°</b>			
<b>Muestra N°</b>			
<b>Afluyente</b>			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
<b>Observaciones:</b>			
<b>Efluente</b>			
Fecha	Hora	pH	Temperatura
<b>Observaciones:</b>			

Santa Catalina, ..... de ..... del 201...

**Nombre y Apellidos  
Responsable de Monitoreo**



**Anexo 4.**  
**Datos meteorológicos Moyobamba – SENAMHI**

Estación: MOYOBAMBA, Tipo convencional - Meteorológica												
Departamento : SAN MARTÍN			Provincia : MOYOBAMBA			Distrito : MOYOBAMBA			Ir: 2018 – 02			
Latitud : 6° 0' 0"			Longitud : 76° 58' 0"			Altitud : 860			Febrero			
Día/mes/año	Temperatura Máx (°C)	Temperatura Mín (°C)	Temperatura Bulbo			Temperatura Bulbo Húmedo (°C)			Precipitación (mm)		Dirección del viento 13 h	Velocidad del viento 13 h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-Feb-2018	30.8	20.6	21	28.2	24.2	20.6	22.2	21.2	0	0	W	2
02-Feb-2018	30.4	20	20.8	28.6	25.4	20.4	22.8	22.2	0	0	C	
03-Feb-2018	30.6	19.8	21	29.6	26.6	20.6	22.8	22	0	0	C	
04-Feb-2018	29	21.2	21.2	27.6	24.6	20.8	22	21.8	0	0	E	2
05-Feb-2018	30	19.8	20.4	27.6	22.2	20.2	23.2	22	0	5.7	E	4
06-Feb-2018	26.2	18.8	20.2	22.2	21	20.2	20	20.4	63.7	11.4	C	
07-Feb-2018	25	20.6	20.8	23.6	22.6	20.4	20.8	20.4	.3	.5	C	
08-Feb-2018	26.8	19	19.2	25.6	23.2	19	20.8	20.4	0	0	NW	2
09-Feb-2018	26	20	20	25.4	22.2	19.6	20.8	20.2	2	0	C	
10-Feb-2018	27.4	19.6	20	25.8	23	19.8	20.6	20.2	0	0	C	
11-Feb-2018	30.4	17.6	18	29.4	24.4	18	21.8	20.2	0	0	W	6
12-Feb-2018	26.6	18.2	20.4	23.2	21.2	19.8	20.8	20	.5	0	C	
13-Feb-2018	29.6	19	19.6	29	23.6	19.4	23	20.6	0	0	N	2
14-Feb-2018	25.8	19.2	19.6	23	21.8	19.4	21.6	21	1.2	6.1	C	
15-Feb-2018	23	19	19.6	22.8	19	19.4	21.4	18.8	1.5	6.5	C	
16-Feb-2018	23.8	18.4	18.6	23.6	19.4	18.4	21.4	19	5	.9	C	
17-Feb-2018	26.6	18.2	19	26.2	22.6	18.6	22.2	20.8	0	0	NE	4
18-Feb-2018	28.8	17.8	19.4	27.2	22.8	19	22	20.8	0	0	NW	4
19-Feb-2018	26.2	20.2	20.8	25	23.6	19.8	22.8	20.8	0	0	C	
20-Feb-2018	25	20.6	20.6	24	22	20.2	20.6	19.6	.9	0	C	
21-Feb-2018	26.8	19	19.6	26	22.4	18.4	21.2	19.6	0	0	W	6
22-Feb-2018	28.6	19.8	20.6	22.6	22.4	19.6	21	20.2	0	0	NW	2
23-Feb-2018	26.8	19	19.4	24.6	23.4	19	21.2	21	0	0	C	
24-Feb-2018	30.6	19.2	20	27.8	25.4	19.2	23	20.8	0	0	C	
25-Feb-2018	25.6	20.4	21.8	20.4	22	20.4	18.8	20.2	0	0	E	8
26-Feb-2018	25.4	19.4	19.6	22.6	20.2	19.4	21.4	19.6	0	19	NW	4
27-Feb-2018	26.6	17.6	18.8	26.2	23.2	18.8	22	21.2	0	17.8	W	6
28-Feb-2018	28.8	19	20.2	25.8	24.4	20	21.8	21.6	0	0	NW	4

\* Fuente: SENAMHI – Oficina de Estadística

\* Información sin control de calidad

\* El uso de esta información es bajo su entera responsabilidad

Estación: MOYOBAMBA, Tipo convencional - Meteorológica												
Departamento : SAN MARTÍN Provincia : MOYOBAMBA Distrito : MOYOBAMBA Ir: 2018 – 03												
Latitud : 6° 0' 0" Longitud : 76° 58' 0" Altitud : 860 Marzo												
Día/mes/año	Temperatura Máx (°C)	Temperatura Mín (°C)	Temperatura Bulbo			Temperatura Bulbo Húmedo (°C)			Precipitación (mm)		Dirección del viento 13 h	Velocidad del viento 13 h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-Mar-2018	27.6	19.2	19.6	25.4	21	19.2	22.2	20.2	0	1.4	E	4
02-Mar-2018	23	19.2	19.4	21.4	21	19.2	20.8	20	0	3.7	C	
03-Mar-2018	26.6	18.4	19	24.8	22.2	18.8	21	20.8	0	0	C	
04-Mar-2018	30.2	19.4	19.4	26.2	21.4	19.4	21.4	20.6	0	.9	C	
05-Mar-2018	30.6	18.2	18.8	27.4	23.8	18.8	22.2	22	0	0	C	
06-Mar-2018	24	18.2	20.8	20.6	19.2	20.6	20.4	18.4	26.2	24.4	C	
07-Mar-2018	28	17.8	19.2	24.6	22.4	28.2	22	21.2	0	0	C	
08-Mar-2018	24.8	17.2	20	23.8	20.6	19.8	21.6	20.2	.2	4.5	W	4
09-Mar-2018	29.2	19.6	20.4	23.4	22	20.2	21.6	21.2	0	1.2	NW	6
10-Mar-2018	28.6	19.4	21.2	27.6	23.6	20.6	21.8	21.8	0	1.7	NW	4
11-Mar-2018	24.6	19.2	19.8	21.2	21.6	19.4	20.4	20.8	3.7	6.1	W	4
12-Mar-2018	25.6	19	19.6	20.6	21.4	19.4	20	20.4	0	15.4	W	2
13-Mar-2018	30.4	18.4	19.6	27	25.4	19.4	21.6	21.4	0	0	C	
14-Mar-2018	31.4	18.6	19.2	29	26	19	22	21.6	0	0	NE	4
15-Mar-2018	30	19.8	21.8	21.6	25	20.8	20.8	21.8	0	2.5	NE	4
16-Mar-2018	27.8	19.6	20.8	23.8	23.2	19.8	22	20.6	.3	1.9	E	2
17-Mar-2018	28.2	20	20.4	26.2	23.6	20	22.2	21.2	0	3.3	NW	2
18-Mar-2018	29.6	19.8	20.2	25.8	25	20	21.2	21.2	0	0	W	2
19-Mar-2018	26.8	19.2	19.4	24.2	21.4	19	21	19.6	.9	3.9	N	2
20-Mar-2018	30.4	19.2	21.2	28.2	23	20	21.8	21.6	0	.4	N	8
21-Mar-2018	26.2	20.6	20.6	22.8	22.4	20.4	21.2	21.4	3.1	6	SW	2
22-Mar-2018	27.2	19.8	20	23	22.8	19.8	21.8	21.2	1.4	.8	E	2
23-Mar-2018	27	19.6	19.6	25.8	21.2	19.6	22.2	20.4	0	13.2	C	
24-Mar-2018	27.2	19.4	19.6	25.6	23.8	19.6	21	21.6	0	0	C	
25-Mar-2018	27.6	19.8	20.8	24	22.8	20.4	21.8	21.2	0	.7	C	
26-Mar-2018	23.4	18.4	21	20	18.8	20.2	19.6	18.6	0	13.1	C	
27-Mar-2018	26.8	18.4	20	25.8	21	19.2	22	20.6	0	3.9	C	
28-Mar-2018	29.4	18.6	19.4	28.6	22.4	19	22.2	21.4	0	3.8	C	
29-Mar-2018	28.4	19.8	20.2	27.8	23.2	20	22.8	21	2	0	E	2
30-Mar-2018	27.6	20.4	21	22.8	23	20.4	20.8	21.4	0	0	C	
31-Mar-2018	30.6	20	20.6	29.4	22.6	20.2	22.2	21.6	0	0	NW	6

\* Fuente: SENAMHI – Oficina de Estadística

\* Información sin control de calidad

\* El uso de esta información es bajo su entera responsabilidad

Estación: MOYOBAMBA, Tipo convencional - Meteorológica												
Departamento : SAN MARTÍN			Provincia : MOYOBAMBA			Distrito : MOYOBAMBA			Ir: 2018 – 04			
Latitud : 6° 0' 0''			Longitud : 76° 58' 0''			Altitud : 860			Abril			
Día/mes/año	Temperatura Máx (°C)	Temperatura Mín (°C)	Temperatura Bulbo			Temperatura Bulbo Húmedo (°C)			Precipitación (mm)		Dirección del viento 13 h	Velocidad del viento 13 h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-Abr-2018	20	20.8	21.2	27.4	24	20.8	22.4	21.8	0	0	NW	4
02-Abr-2018	24.4	19.4	19.4	20.2	20	19.2	19.8	19.6	17.5	33.3	C	
03-Abr-2018	27	18.6	18.6	25.2	20	18.6	21.2	19.6	0	3.8	C	
04-Abr-2018	29	19	20.4	27.2	23.4	20.2	21	21.2	0	0	NW	2
05-Abr-2018	30.2	18.6	19.6	27.6	23.6	19.4	21.2	21.2	0	0	C	
06-Abr-2018	26.8	20	20.4	26.2	23.4	20.2	22	21.4	4.5	0	NW	2
07-Abr-2018	24	20.2	20.2	21.6	20.8	20	21.2	20.4	0	3	C	
08-Abr-2018	23	19.2	19.8	21.2	20.2	19.6	20	20	0	24.3	C	
09-Abr-2018	25.2	19.2	19.4	24	19.4	19.2	21.4	19.2	1.2	14.5	W	2
10-Abr-2018	29.4	18.6	18.8	25.8	24	18.6	21.2	21.4	0	0	SW	2
11-Abr-2018	29.6	19.2	20.6	27.8	24	20	22.4	21.6	0	0	N	2
12-Abr-2018	28.2	20.6	21.2	27.4	22.8	20.6	22.6	21	0	0	W	4
13-Abr-2018	25	19.6	19.6	24.6	21.2	19	21.2	20.4	.6	.3	C	
14-Abr-2018	27	19.6	19.8	24.4	20.4	19.2	20.4	19.4	0	0	E	6
15-Abr-2018	28.4	19	21	25.6	22.6	20	21.4	20.8	0	0	E	6
16-Abr-2018	29	20.4	20.6	28.2	23.8	20.2	21	20.4	0	0	NE	8
17-Abr-2018	28.8	19.2	20	28.2	21.8	18.6	21	19.4	0	0	NE	8
18-Abr-2018	28.8	19.6	19.6	27.2	23.4	18.8	21.6	20.4	0	0	NE	6
19-Abr-2018	28.4	20.2	21	26.4	22	20.2	21.2	20.2	0	.3	NE	4
20-Abr-2018	28.6	19.2	19.2	22.8	23.2	19.2	21.4	21.2	1.6	9	C	
21-Abr-2018	27.4	20.2	20.4	26	22.4	19.6	21.6	21.2	0	0	E	2
22-Abr-2018	27.2	19.6	19.8	26.4	22	19.2	21.6	20.6	.3	2.6	C	
23-Abr-2018	26.8	20.2	20.2	24.6	21.4	20	21.6	20.2	1.5	2.8	E	2
24-Abr-2018	28.4	20	20.2	23.4	23.6	19.8	21.6	21.2	0	2.7	SW	4
25-Abr-2018	29.4	19.8	20.2	27	21.6	19.6	21.8	20.2	0	0	SE	8
26-Abr-2018	29.2	19.8	20.6	28	23.4	19.8	21.8	20.6	0	0	E	8
27-Abr-2018	29.8	17.8	18.6	28.2	23.8	18.2	21.8	21	0	0	C	
28-Abr-2018	30.2	19.8	20.6	27.2	21.6	20.4	21.4	20.4	.7	0	E	6
29-Abr-2018	28.8	19.6	20.2	26.8	20.8	19.8	22.2	20.4	.3	4.1	E	4
30-Abr-2018	29.8	18.8	19.2	27.2	23.2	19	21.6	20.6	0	0	C	

\* Fuente: SENAMHI – Oficina de Estadística

\* Información sin control de calidad

\* El uso de esta información es bajo su entera responsabilidad

Estación: MOYOBAMBA, Tipo convencional - Meteorológica												
Departamento : SAN MARTÍN			Provincia : MOYOBAMBA			Distrito : MOYOBAMBA			Ir: 2018 – 05			
Latitud : 6° 0' 0"			Longitud : 76° 58' 0"			Altitud : 860			Mayo			
Día/mes/año	Temperatura Máx (°C)	Temperatura Min (°C)	Temperatura Bulbo			Temperatura Bulbo Húmedo (°C)			Precipitación (mm)		Dirección del viento 13 h	Velocidad del viento 13 h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-May-2018	29.6	19	19.2	26	22.4	18.8	21.8	20.2	0	0	NE	8
02-May-2018	29	19.6	20.8	28.2	23	20.4	22.4	20.2	0	0	E	4
03-May-2018	30.4	18.4	19.2	28.8	23.6	18.6	23	21.2	0	0	NW	4
04-May-2018	30.8	19.6	20.8	28.8	24.6	20.2	23	22	0	0	C	
05-May-2018	28.2	20.6	21.6	23.8	21.6	20.8	22	21	0	3.9	NW	2
06-May-2018	27.6	19.2	19.4	23.2	22.6	19	20.4	21.2	12	0	C	
07-May-2018	24.6	19.8	20	21.6	20	19.6	20.4	19.8	0	5	E	4
08-May-2018	28.8	18.4	18.6	28.4	22.2	18.6	22.4	20.8	.5	0	E	4
09-May-2018	29	19.2	20	28	24	19.8	22.6	21	0	0	NE	6
10-May-2018	30	20	20.4	26.2	21.8	20	21.8	21.4	0	5.1	NW	6
11-May-2018	30.2	19.8	20.2	27.2	22	20	21.8	21.6	0	0	E	2
12-May-2018	30	20.6	21	28	22.8	20.8	22.2	21.4	13.6	0	C	
13-May-2018	29	19.6	19.8	27.4	23.8	19.4	21.8	21	9.7	0	C	
14-May-2018	30.2	20.2	21.8	28.4	23.4	21	22.6	21.4	.4	0	C	
15-May-2018	31	20.2	21.2	28.8	21.4	20.2	22.8	20.6	0	12.1	C	
16-May-2018	28.4	20	20.4	26.2	23.2	20	21.6	21.4	0	0	W	2
17-May-2018	28	19.6	20	25.8	24	19	21.2	21.8	0	0	C	
18-May-2018	29.6	19.4	19.6	29	22.2	19.2	22.6	21.8	0	10	C	
19-May-2018	23.2	20.2	22	21.4	20.8	21	20.8	20.4	0	17.8	C	
20-May-2018	27	19.8	20	25.2	19.8	20	22	18.8	1	18.2	E	2
21-May-2018	27.6	18	19	26.6	21.6	18.6	21.6	20.6	0	0	C	
22-May-2018	29	19	19.6	26.8	21.6	19	21.4	20.2	0	0	E	2
23-May-2018	27.6	19	19.6	26.4	21	19.4	21	19.6	0	0	E	8
24-May-2018	25.8	19.4	20	25	21.4	19	21.2	19.6	0	0	SE	2
25-May-2018	28.2	19.6	20.2	27.8	22.4	19.4	22	21.2	0	0	E	8
26-May-2018	28.2	19.4	21.4	27	21.4	19.6	21.8	19.6	0	0	E	8
27-May-2018	30.2	16.8	19.2	29.8	23	18.2	22.8	20.4	0	0	NE	5
28-May-2018	28.4	19.4	20	27.8	21.8	19.6	21.8	19.8	0	0	E	6
29-May-2018	30.2	19.2	19.4	29.4	22.4	19.2	22.8	21.4	0	0	C	
30-May-2018	28	19.8	21.2	26.2	23.2	20.6	21.4	21.8	0	1.2	C	
31-May-2018	30	20.2	20.4	27.2	22.8	20.2	22.4	21.6	0	0	C	

\* Fuente: SENAMHI – Oficina de Estadística

\* Información sin control de calidad

\* El uso de esta información es bajo su entera responsabilidad

Estación: MOYOBAMBA, Tipo convencional - Meteorológica												
Departamento : SAN MARTÍN			Provincia : MOYOBAMBA			Distrito : MOYOBAMBA			Ir: 2018 – 06			
Latitud : 6° 0' 0"			Longitud : 76° 58' 0"			Altitud : 860			Junio			
Día/mes/año	Temperatura Máx (°C)	Temperatura Mín (°C)	Temperatura Bulbo			Temperatura Bulbo Húmedo (°C)			Precipitación (mm)		Dirección del viento 13 h	Velocidad del viento 13 h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-Jun-2018	29.2	20.8	21.2	28.6	22.2	20.4	22.6	20.2	.6	2.3	NE	2
02-Jun-2018	27.2	19.8	20	23.4	22.8	19.8	20.2	21.4	0	.8	C	
03-Jun-2018	23.8	19.6	19.6	21.4	21	19.6	20	20.4	9.6	4.9	N	2
04-Jun-2018	23	19	19	22.6	19.2	18.6	20.2	18.4	.3	.3	E	2
05-Jun-2018	28.8	17	18	27.6	21.6	17.6	21.4	20	0	0	W	2
06-Jun-2018	30.4	17.8	18.8	28.2	23.4	18.4	21.8	21.6	0	0	NW	4
07-Jun-2018	30.4	19.6	19.8	29.6	22.4	19.2	22.4	20.4	0	0	C	
08-Jun-2018	30	19	19.8	28.8	22.6	19.4	22.6	20.6	0	0	C	
09-Jun-2018	28.8	20	20.6	26.8	22.4	20	21.6	21.6	0	0	E	2
10-Jun-2018	27.8	19	20.8	26.6	21.2	19.4	21.8	21	0	10.1	N	2
11-Jun-2018	25.8	19.6	19.8	25	21.2	19	21.2	20.4	0	.2	E	6
12-Jun-2018	26.8	19.2	19.2	26.2	21.6	19	21.4	20.6	.3	.9	C	
13-Jun-2018	30.2	19.6	19.8	27.2	22	19.6	21.2	20.4	0	0	W	2
14-Jun-2018	29.2	17.6	19	26.2	23.2	18	20.2	20.8	0	0	NW	6
15-Jun-2018	26.8	18.4	19.6	25.4	20	19	21.2	18.4	0	0	NE	4
16-Jun-2018	24	18.6	18.6	23.8	18.8	17.8	21.6	17.6	.2	0	NE	8
17-Jun-2018	25.8	17	17.8	25	21	16.8	21.2	18.6	0	0	E	6
18-Jun-2018	27.4	18	18.6	26.2	21.4	18	20.4	18.6	0	0	E	6
19-Jun-2018	28.8	15.4	18.4	26.8	21.2	17	20.2	19	0	0	C	
20-Jun-2018	29.6	16.2	16.8	27	21.6	16	20.4	19.2	0	0	W	4
21-Jun-2018	30.2	17	17.6	27	21.6	17	20.6	19.2	0	0	NW	2
22-Jun-2018	28.4	16.2	17	26.4	21.6	16.6	20.8	19.8	0	0	C	
23-Jun-2018	27.6	17.6	19.4	26.8	22.6	18.8	21	20.2	0	0	C	
24-Jun-2018	28.4	18.8	19.2	26.2	22.2	18.6	21.6	19.6	0	0	C	
25-Jun-2018	27.2	19.6	20	26.8	20.2	19.6	21	19	0	0	C	
26-Jun-2018	29.4	16.4	17.2	26.6	24	17	21.4	21	0	0	NW	6
27-Jun-2018	29.8	16.8	18.6	26.6	22.6	18	21.2	20.2	0	0	C	
28-Jun-2018	28.8	19	20.2	28.4	22	19	21.4	19.6	.2	0	NW	2
29-Jun-2018	29.2	17	18.2	27	22.4	17.4	21.2	20.4	0	1.4	NW	2
30-Jun-2018	30.6	17.8	19	28.8	22.4	18.2	20.6	20.8	0	1.4	NW	2

\* Fuente: SENAMHI – Oficina de Estadística

\* Información sin control de calidad

\* El uso de esta información es bajo su entera responsabilidad

**Anexo 5. Resultados de laboratorio**

