UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EFICIENCIA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN UNA VIVIENDA DEL A. H 9 DE OCTUBRE, PUCALLPA”.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO

WILDER EUGENIO GRATELLY PINEDO

PUCALLPA – PERÚ

2021

U N I V E R S I D A D N A C I O N A L D E U C A Y A L I
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE APROBACION DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°133/2021-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa a las 09:00 a.m. del 25 de noviembre del 2021, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en forma virtual, mediante la plataforma unificada de comunicación y colaboración Microsoft Teams, los mismos que fueron designados con Memo Múltiple N° 159-2021-UNU-FCFyA, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas	Presidente
Dr. Fernando Velásquez de la Cruz	Miembro
Ing. M.Sc. Gabriel Mercado Jáuregui	Miembro

Se procedió a evaluar a la sustentación de la tesis denominado: **"EFICIENCIA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN UNA VIVIENDA DEL A. H. 9 DE OCTUBRE, PUCALLPA"**, presentado por los bachilleres **DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO** y **WILDER EUGENIO GRATELLY PINEDO**, asesorados por el **Dr. DAVID LEON MORENO**. Habiendo finalizado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por los sustentantes, en consecuencia, la tesis fue **APROBADA POR MAYORIA**, no habiendo asistido el Dr. Gabriel Mercado Jáuregui, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**, después de las correcciones respectivas de la tesis. Siendo las 10.15 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas
Presidente

Dr. Fernando Velasquez de la Cruz
Miembro

Ing. M.Sc. Gabriel Mercado Jáuregui
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

La presente tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas

Presidente

Dr. Fernando Velásquez de la Cruz

Miembro

Ing. M.Sc. Gabriel Mercado Jáuregui

Miembro

Dr. David León Moreno

Asesor

Bach. Daniel Paima Chuquipiondo

Tesista

Bach. Wilder Eugenio Gratelly Pinedo

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N°0453-2021

La **Dirección de Producción Intelectual**, hace constar por la presente, que el **Informe final de Tesis, titulado:**

"EFICIENCIA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN UNA VIVIENDA DEL A.H 9 DE OCTUBRE, PUCALLPA"

Cuyo(s) autor (es)	:	**PAIMA CHUQUIPIONDO, DANIEL** **GRATELLY PINEDO, WILDER EUGENIO**
Facultad	:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela Profesional	:	ING. AMBIENTAL
Asesor(a)	:	Dr. LEÓN MORENO, DAVID

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 2%.**

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

FECHA 09/11/2021

Dr. ABRAHAM ERMITANIO HUAMAN ALMIRON
Dirección de Producción Intelectual

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Yo, DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO

Autor de la TESIS titulada:

"EFICIENCIA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN UNA VIVIENDA DEL A.H 9 DE OCTUBRE, PUCALLPA"

Sustentada el año: 2021

Con la asesoría de: Dr. DAVID LEÓN MORENO

En la Facultad de: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Carrera Profesional de: INGENIERÍA AMBIENTALES

Autorizo la publicación:

PARCIAL ☐ Significa que se publicará en el repositorio institucional solo La caratula, la dedicatoria y el resumen de la tesis. Esta opción solo es válida marcar **si su tesis o documento presenta material patentable**, para ello deberá presentar el trámite de CATI y/o INDECOPI cuando se lo solicite la DGPI UNU.

TOTAL ☒ Significa que todo el contenido de la tesis y/o documento será publicada en el repositorio institucional.

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de U-9*cayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la **tesis es una creación de mi autoría** y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali y del Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 25 / 11 / 2021

Email: danielpaimachuquipiondo@gmail.com

Firma: 

Teléfono: 990965072

DNI: 76317659

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Yo, WILDER EUGENIO GRATELLY PINEDO
Autor de la TESIS titulada:
"EFICIENCIA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN UNA VIVIENDA DEL A.H 9 DE OCTUBRE, PUCALLPA"

Sustentada el año: 2021
Con la asesoría de: Dr. DAVID LEÓN MORENO
En la Facultad de: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Carrera Profesional de: INGENIERIA AMBIENTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL ☐ Significa que se publicará en el repositorio institucional solo La caratula, la dedicatoria y el resumen de la tesis. Esta opción solo es válida marcar **si su tesis o documento presenta material patentable**, para ello deberá presentar el trámite de CATI y/o INDECOPI cuando se lo solicite la DGPI UNU.

TOTAL ☒ Significa que todo el contenido de la tesis y/o documento será publicada en el repositorio institucional.

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la **tesis es una creación de mi autoría** y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali y del Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 25 / 11 / 2021

Email: pamduro gratelly@gmail.com Firma: 

Teléfono: 950686926 DNI: 72909748

DEDICATORIA

A Dios, por haberme brindado la fortaleza para seguir perseverando en conseguir una de las metas más deseadas en mi vida. A mis padres, por el apoyo moral, económico e incondicional que me dieron desde siempre, y a mis hermanos por motivarme a nunca abandonar mis sueños.

Daniel.

A Dios, por guiarme y darme la fortaleza para seguir adelante en mis estudios, con el fin de lograr mis metas trazadas. A mis padres, por el apoyo incondicional y estar conmigo en todo momento. A mis hermanos, por el apoyo moral que me brindaron a lo largo de mi carrera.

Wilder Eugenio.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Nacional de Ucayali, por ser parte de una de las mejores etapas de nuestras vidas y brindarnos las herramientas que necesitamos en el transcurso de nuestra etapa universitaria.

A nuestros docentes de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, por los conocimientos, valores y exigencias brindadas a lo largo de nuestra formación profesional.

A nuestro asesor, Dr. David León Moreno, por su tiempo, paciencia y enseñanzas en la elaboración y ejecución de nuestro trabajo de investigación.

A nuestros padres, por el apoyo moral y económico que nos han brindado a lo largo de nuestra formación educativa y profesional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA vii

AGRADECIMIENTO viii

ÍNDICE GENERAL ix

ÍNDICE DE TABLAS xi

ÍNDICE DE FIGURAS xiv

RESUMEN xvi

ABSTRACT xvii

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 6

1.2. OBJETIVOS 6

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 8

2.1. ANTECEDENTES 8

2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO 15

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS 31

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 34

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 34

3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 36

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA 37
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS 38
3.5. PROCESAMIENTO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS 39
3.6. TRATAMIENTO DE DATOS 54
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 57
4.1. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL 57
4.2. DISEÑO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL 58
4.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO 61
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 96
5.1. CONCLUSIONES 96
5.2. RECOMENDACIONES 97
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 98
ANEXOS 109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios para humedales de flujo subsuperficial 26

Tabla 3. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR 31

Tabla 4. Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales horizontales 41

Tabla 5. Día de la plantación de la especie Eleocharis palustris..... 46

Tabla 6. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo 52

Tabla 7. Métodos de ensayos realizados por el laboratorio Natura Analítica S.A.C. 54

Tabla 8. Cálculo del caudal promedio de diseño..... 57

Tabla 9. Análisis fisicoquímico y microbiológico antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial 62

Tabla 10. Prueba de normalidad de datos del parámetro DBO_5 64

Tabla 11. Estadísticas de muestras emparejadas de medias de la DBO_5 antes y después 65

Tabla 12. Prueba de muestras emparejadas de la DBO_5..... 66

Tabla 13. Prueba de normalidad de datos del parámetro DQO 68

Tabla 14. Estadísticas de muestras emparejadas de medias de la DQO antes y después 69

Tabla 15. Prueba de muestras emparejadas de la DQO..... 70

Tabla 16. Prueba de normalidad de datos del parámetro Aceites y grasas 72

Tabla 17. Estadísticas de muestras emparejadas de medias de los Aceites y grasas antes y después 73

Tabla 18. Prueba de muestras emparejadas de los Aceites y grasas 74

Tabla 19. Prueba de normalidad de datos del parámetro Nitrógeno total 76

Tabla 20. Estadísticas de muestras emparejadas de medias del Nitrógeno total antes y después..... 76

Tabla 21. Prueba de muestras emparejadas del Nitrógeno total..... 77

Tabla 22. Prueba de normalidad de datos del parámetro Fósforo total..... 79

Tabla 23. Estadísticas de muestras emparejadas de medias del Fósforo total antes y después..... 80

Tabla 24. Prueba de muestras emparejadas del Fósforo total 81

Tabla 25. Prueba de normalidad de datos del parámetro SST 83

Tabla 26. Estadísticas de muestras emparejadas de medias de los SST antes y después 84

Tabla 27. Prueba de muestras emparejadas de los SST 84

Tabla 28. Prueba de normalidad de datos del parámetro pH 86

Tabla 29. Estadísticas de muestras emparejadas de medias del pH antes y después 87

Tabla 30. Prueba de muestras emparejadas del pH 88

Tabla 31. Prueba de normalidad de datos del parámetro Temperatura 90

Tabla 32. Estadísticas de muestras emparejadas de medias de la Temperatura antes y después..... 91

Tabla 33. Prueba de muestras emparejadas de la Temperatura 91

Tabla 34. Prueba de normalidad de datos del parámetro Coliformes termotolerantes..... 93

Tabla 35. Estadísticas de muestras emparejadas de medias de los Coliformes termotolerantes antes y después..... 94

Tabla 36. Prueba de muestras emparejadas de los Coliformes termotolerantes 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Humedal Artificial de Flujo Libre o Superficial. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010). 25

Figura 2. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical. (Delgadillo et al., 2010). 27

Figura 3. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal. (Delgadillo et al., 2010). 28

Figura 6. Eleocharis Palustris (Junco de Agua). (Fischer, 2007). 29

Figura 7. Ubicación de la vivienda donde está instalado el Humedal Artificial... 34

Figura 8. Puntos de muestreos del Sistema de tratamiento. 48

Figura 9. Comparación de promedios del parámetro DBO_5 (afluente y efluente) con los LMP. 64

Figura 10. Comparación de promedios del parámetro DQO (afluente y efluente) con los LMP. 68

Figura 11. Comparación de promedios del parámetro Aceites y grasas (afluente y efluente) con los LMP. 72

Figura 12. Comparación de promedios del parámetro Nitrógeno total antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial. 75

Figura 13. Comparación de promedios del parámetro Fósforo total antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial. 79

Figura 14. Comparación de promedios del parámetro SST (afluente y efluente) con los LMP. 82

Figura 15. Comparación de promedios del parámetro pH (afluente y efluente) con los LMP..... 86

Figura 16. Comparación de promedios del parámetro Temperatura (afluente y efluente) con los LMP. 89

Figura 17. Comparación de promedios del parámetro Coliformes termotolerantes (afluente y efluente) con los LMP. 93

RESUMEN

La presente investigación denominada: “Eficiencia de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal en el tratamiento de aguas residuales domésticas, se ejecutó en el A. H. 9 de Octubre, distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, Ucayali – Perú. El objetivo denominado fue determinar la influencia de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en el tratamiento de aguas residuales domésticas de una vivienda. La investigación se dividió en tres fases: diseño del humedal, construcción del humedal y análisis de datos mediante la prueba de normalidad (Shapiro – Wilk) y la prueba t student para muestras pareadas, utilizando el programa SPSS Statistics 25. Las dimensiones del humedal se obtuvieron en función al caudal promedio del afluente (1,88 m^3/día) y a la Demanda Bioquímica de Oxígeno del afluente (180 mg/L), obteniéndose un largo de 1,60 m, un ancho de 0,80 m, una profundidad de 0,60 m y una pendiente de 1%. Los resultados del análisis demostraron que existen diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) de todos los parámetros que se analizaron tanto fisicoquímicos (DBO_5, DQO, Aceites y Grasas, SST, Temperatura, pH, Nitrógeno Total y Fósforo Total) como microbiológicos (Coliformes Termotolerantes) antes y después del tratamiento. Los porcentajes de eficiencia de remoción fueron de 78% para la DBO_5 y Aceites y Grasas, 71% para la DQO, 46% para Nitrógeno Total, 90% para Fósforo Total, 67% para SST Y 99% para Coliformes Termotolerantes. En conclusión, hay evidencia suficiente de la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas mediante el humedal artificial de flujo susbsuperficial horizontal, demostrando que los resultados obtenidos del análisis del efluente se encuentran de los Límites Máximos Permisibles establecido por el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

Palabras clave: Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal, aguas residuales domésticas, eficiencia de remoción, decreto supremo, afluente, efluente.

ABSTRACT

The present investigation called: “Efficiency of an Artificial Wetland of Horizontal Subsurface Flow in the treatment of domestic wastewater, was carried out in the A. H. October 9, Callería district, Coronel Portillo province, Ucayali - Peru. The named objective was to determine the influence of a horizontal subsurface flow artificial wetland in the treatment of domestic wastewater from a house. The research was divided into three phases: wetland design, wetland construction and data analysis using the normality test (Shapiro-Wilk) and the student's t test for paired samples, using the SPSS Statistics 25 program. obtained based on the average flow of the affluent (1.88 m3 / day) and the Biochemical Oxygen Demand of the affluent (180 mg / L), obtaining a length of 1.60 m, a width of 0.80 m, a depth 0.60 m and a slope of 1%. The results of the analysis showed that there are statistically significant differences ($p < 0.05$) of all the parameters that were analyzed both physicochemical (BOD5, COD, Oils and Fats, TSS, Temperature, pH, Total Nitrogen and Total Phosphorus) and microbiological (Thermotolerant Coliforms) before and after treatment. The removal efficiency percentages were 78% for BOD5 and Oils and Fats, 71% for COD, 46% for Total Nitrogen, 90% for Total Phosphorus, 67% for TSS and 99% for Thermotolerant Coliforms. In conclusion, there is sufficient evidence of the removal of the physicochemical and microbiological parameters of domestic wastewater through the artificial horizontal subsurface flow wetland, demonstrating that the results obtained from the effluent analysis are within the Maximum Permissible Limits established by the Supreme Decree N ° 003-2010-MINAM.

Keywords: Horizontal Subsurface Flow Artificial Wetland, domestic wastewater, removal efficiency, supreme decree, tributary, effluent.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico ha traído consigo que la demanda del recurso agua crezca de manera sustancial, por ende, su contaminación se ha acelerado vertiginosamente. Una de las causas de su contaminación, son las aguas residuales que llegan a ser vertidas a los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento previo, debido a las diferentes actividades que realiza el hombre como: la agricultura, ganadería, industrial, uso doméstico, entre otros.

En el país, solo se realiza el tratamiento del 29.1% de las aguas residuales domésticas, el resto se vierte a los mares, ríos y lagos perturbando la calidad del ambiente y la salud de la población.

En la región Ucayali, se estima que solo un 12% de las localidades cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales. Algunos de estos sistemas se encuentran en ejecución, otras ya están culminadas, pero aún no están operativas; y el resto ya no están en funcionamiento, debido a su inadecuada operación y mantenimiento. En el A. H. 9 de Octubre de la ciudad de Pucallpa, las aguas residuales domésticas son descargadas a la quebrada Yumantay sin ningún tipo de tratamiento, a través de los caños naturales que pasan por las viviendas, contaminando de esa manera dicha quebrada. Esto debido a que no se encuentran conectado a una red de alcantarillado, por lo cual las aguas residuales puedan ser conducidas a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Es ese contexto, se ha visto pertinente plantear una solución mediante un sistema de tratamiento de aguas residuales que sea factible ejecutarlo, de bajo costo y de fácil operación y mantenimiento del sistema. Es por ello que se elabora el diseño y construcción de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento de las aguas residuales de uso doméstico.

El objetivo principal que persiguió la presente investigación fue: Determinan la influencia de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de aguas residuales domésticas de una vivienda; para ello se diseñó y construyó un humedal artificial utilizando la especie *Eleocharis Palustris* (Junco) y el filtro de gravas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en una vivienda del A. H. 9 de Octubre – Pucallpa, y se caracterizó los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Aceites y grasas, DBO_5, DQO, SST, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Temperatura, pH y Coliformes Termotolerantes), se evaluó la remoción de los parámetros del efluente final del humedal artificial y se comparó con los valores de los Límites Máximos Permisibles establecido por el D.S. N° 003-2010-MINAM. Con estos resultados se determinó la influencia del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en el tratamiento de las aguas residuales domésticas. La investigación es producto de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes y después del tratamiento, bajo el método experimental – descriptivo.

En el capítulo I, se presenta el planteamiento del problema, los objetivos de la investigación y su justificación. En el capítulo II, Marco Teórico, se muestran los antecedentes de la investigación y el planteamiento teórico. Se presenta compilación bibliográfica sobre las aguas residuales, su definición, tipos, clasificación, características, el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. También se ha incluido información sobre los Humedales Artificiales, sus características, componentes, funciones, tipos y sobre los Límites Máximos Permisibles establecido por el D.S. N° 003-2010-MINAM. En el capítulo III, Metodología, se muestra el método de la investigación, la población y muestra, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, procesamiento para recolección de datos, como también la comparación de los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con los Límites Máximos Permisibles, la aplicación de la prueba Shapiro Wilk para comprobar si los datos tienen una distribución normal y la prueba t student para muestras pareadas, para determinar el promedio de los parámetros antes y después del tratamiento. En el capítulo IV, se presentan los resultados obtenidos del análisis de los

parámetros evaluados y la eficiencia del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal; se discute y analiza la información, dando cumplimiento a los objetivos planteados. Finalmente, en el capítulo V, se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto de investigación.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El rápido incremento de la población mundial y los cambios de los niveles de vida en ciertas regiones del planeta han incrementado el consumo per cápita del agua (Biswas, 2010). Generando efluentes domésticos que son vertidos a los cuerpos de agua ocasionando serios problemas de contaminación como; eutrofización, agotamiento de oxígeno y acumulación de sedimentos, que conllevan a la degradación completa de ecosistemas, al superar la capacidad de autorregulación de los mismos (Rodríguez, 2009).

Los problemas causados no son sólo de índole física o estética, sino que trascienden al campo de la sanidad, ya que la población humana necesita recurrir a diversos cuerpos de aguas superficiales para su abastecimiento de agua de bebida, y si éstos están contaminados con los productos de desechos humanos o industriales, pueden dar lugar a problemas epidemiológicos graves (Espigares & Pérez, 2005).

En la región Ucayali el acceso al saneamiento está limitado por el pequeño abastecimiento que la Empresa Prestadora de Servicios (EPS) local brinda, siendo un problema para el cumplimiento de este requisito básico que las viviendas necesitan, viéndose afectado los abundantes cuerpos de agua que sirven como cloaca, generando un problema que puede llegar a magnitudes incalculables en el efecto de la salud de la población.

En el A. H. 9 de Octubre, ciudad de Pucallpa, las viviendas no se encuentran conectadas a una red de alcantarillado, por lo que las aguas residuales domésticas generadas son vertidas sin tratamiento alguno a los caños naturales adyacentes a las viviendas, que luego desembocan en la quebrada Yumantay. Además, por infiltración y percolación en el subsuelo alteran en su composición a las aguas subterráneas, provocando contaminación, por lo que se convierten en focos infecciosos afectando a la salud de la población aledaña e impactando de manera negativa a los componentes de los ecosistemas.

En busca de una alternativa de solución para el tratamiento de estas aguas residuales domésticas, se diseñará y construirá un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y un sedimentador primario en una vivienda del A. H. 9 de Octubre, ya que es un método eficiente, económicamente viable y fácil de operar. En el aspecto ambiental, se obtendrá un agua tratada que cumpla con los Límites Máximos Permisibles para poder ser vertido a un cuerpo natural (agua y suelo) evitando la perdida de los servicios ecosistémicos. En aspecto social permitirá elevar el costo de vida por el aporte cultural en el tratamiento y la estética de la vivienda, y en la salud colectiva reducirá las enfermedades gastrointestinales y otros asociados con la contaminación del agua; todo esto permitirá mejorar la calidad de vida de la población.

Es así, como el presente trabajo de investigación busca recurrir a diferentes alternativas de tratar las aguas residuales domésticas mediante la aplicación de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, mostrando las etapas, procesos y materiales que se deben considerar para que otras personas continúen investigando y solucionando el problema de las aguas residuales domésticas, con la implementación de tecnologías limpias.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Problema general

- ¿Cuál será la eficiencia de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en el tratamiento de aguas residuales domésticas?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será la eficiencia de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en la remoción de los parámetros fisicoquímicos presentes en las aguas residuales domésticas?

- ¿Cuál será la eficiencia de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en la remoción de los parámetros microbiológicos presentes en las aguas residuales domésticas?

- ¿Cumplen los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente del humedal artificial subsuperficial con los Límites Máximos Permisibles estipulados por el D.S. N° 003-2010-MINAM?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

- Determinar la eficiencia de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en el tratamiento de aguas residuales domésticas de una vivienda.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la eficiencia del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en la remoción de los parámetros fisicoquímicos presentes en las aguas residuales domésticas.

- Evaluar la eficiencia del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en la remoción de los parámetros microbiológicos presentes en las aguas residuales domésticas.

- Comparar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con los Límites Máximos Permisibles estipulados por el D.S. N° 003-2010-MINAM.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Internacional

Bedoya, Ardila y Reyes (2014), hicieron la investigación que lleva por título: "Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de aguas residuales generadas en la institución universitaria colegio mayor de Antioquia, Colombia", cuyo objetivo fue comparar la eficiencia en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con cada especie de macrófita; *Thypa latifolia* y *Cyperus papirus*. La investigación fue de tipo cuantitativa, por lo cual se usó un estudio descriptivo y explicativo a escala de laboratorio; en donde, se realizó una evaluación comparativa sobre la eficiencia de remoción los contaminantes (DBO, DQO, SST, nitrógeno total, F, Coliformes, Ni, Zn) en dos humedales independientes, para cada humedal se utilizó una macrófita diferente. Para el análisis de los instrumentos, la muestra que se utilizó es el agua residual generada en la Institución Universitaria Colegio de Antioquia, su obtención se dio en dos fases; la primera, fue la fase de pre-muestreo que permitió obtener una muestra representativa del agua residual durante un periodo de dos semanas y en el horario de actividades académicas comprendido entre las 6:00 am y las 10:00 pm; la segunda fase fue la jornada de aforo y muestreo que permitió calcular el caudal promedio del efluente. El análisis se realizó siguiendo los protocolos presentados en los métodos normalizados y establecidos en las ediciones actuales de los métodos estándar para el análisis de agua y agua residual de la asociación de salud pública norteamericana (APHA), de la asociación norteamericana de servicios del agua (AWWA) y de la federación para el control de la contaminación del agua (WPCF); teniendo como resultado la posibilidad de implementar la tecnología de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas para municipios de Medellín, de forma económica y ambientalmente responsable. Al finalizar el tratamiento se llegó a la conclusión que, la especie *Thypa latifolia* mostró un mejor rendimiento que la especie *Cyperus papirus* en términos de la calidad del agua obtenida en el efluente,

cumpliendo con los niveles máximos de remoción establecidos por la legislación colombiana.

Romero, Colín, Sánchez y Ortiz (2009), desarrollaron el proyecto de investigación titulado: “Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la carga orgánica”, cuyo objetivo fue probar la eficiencia de remoción de la carga orgánica, nitrógeno y fósforo de aguas residuales de tipo municipal. Para ello, se diseñó un sistema de tratamiento por humedales artificiales de flujo horizontal con tres módulos, en el primero se integraron organismos de la especie *Phragmites australis*; en el segundo, organismos de la especie *Thypa dominguensis*; y, por último, en el tercero se integraron las dos especies. La muestra de agua se recolectó a la salida de la fosa séptica y a la salida de cada módulo a fin de analizar DQO (demanda química de oxígeno), iones de nitrógeno, fósforo total y número de bacterias en el sistema. Los instrumentos de análisis utilizados fueron un digestor (ORION COD125) y un espectrofotómetro; asimismo las técnicas de recolección de datos se utilizaron de acuerdo a lo establecido por el APHA (1992). Después de evaluar el porcentaje de remoción de la carga orgánica de aguas residuales, se tuvo como resultado: la disminución del 95.73% de concentración de DQO a su paso por el humedal artificial; asimismo, la remoción de 40.35% de la concentración de fosforo total y eliminación de un 45,46% de nitrógeno. En tal sentido, el proyecto de investigación llegó a la conclusión que, el módulo dos presenta la mejor eficiencia de eliminación de carga orgánica, lo que se sugiere utilizar la especie *Thypa dominguensis* en humedales artificiales de flujo horizontal como la mejor alternativa para una mayor remoción de los contaminantes presentes en las aguas residuales municipales.

Garzón (2017), elaboró el proyecto titulado: “Evaluación de un humedal artificial en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Unidad de Apoyo y Servicio de Batallón José Hilario López en la ciudad de Popayán – Cauca”. El objetivo principal fue evaluar el humedal artificial en la planta de tratamiento de aguas residuales como alternativa de un tratamiento terciario. Se determinó el

estado en el que se encuentra dicha PTAR, para lo cual se realizó un análisis de diferentes parámetros fisicoquímicos como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxigeno (DQO), Solidos Suspendidos Totales (SST), Color, Conductividad, Oxígeno disuelto (OD), Nitritos (NO_2), Nitratos ($N\text{-}NO_3$), Amonio (NH_4), Fosfatos (P) y Potencial de hidrógeno (pH). Se realizó un análisis teórico comparativo entre el humedal superficial y el humedal de flujo subsuperficial empleando una tabla en términos de eficiencia, costos y dimensiones, con el fin de determinar cuál es el más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales.

En el estudio realizado en la ciudad de México por Solís et al. (2016), se implementaron humedales artificiales de flujo libre empleando *T. Domingensis* (espadaño) y *E. Crassipes* (jacinto de agua), y humedales de flujo subsuperficial empleando *P. Paniculatum* (camalote) y *C. Articulatus* (chintul) para remover contaminantes del agua residual. Se implantaron también lagunas sin vegetación y lagunas con gravas como controles. El humedal que presentó la mayor eficiencia de remoción de contaminantes del agua residual fue el de flujo libre utilizando *T. Domingensis* (eficiencias de remoción de turbiedad, color, DQO, DBO_5, Nitrógeno Total, Fósforo Total y SST).

2.1.2. Nacional

Minchola y Gonzales (2013), elaboraron el proyecto de investigación denominado: “Humedales artificiales en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la mina Barrick”, teniendo como objetivo demostrar la importancia de los humedales artificiales de flujo superficial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas; asimismo, determinar el potencial y la viabilidad de usar un humedal artificial de flujo superficial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas como una alternativa tecnológica. Para ello, la ubicación del área de estudio es la minera Barrick; y, el material de estudio está constituido por el afluente de las aguas residuales domésticas de la minera Barrick y el efluente del humedal artificial de flujo superficial que fue construido a nivel planta piloto. El

proyecto de investigación utilizó los siguientes métodos y técnicas como el humedal artificial, para lo cual utilizó algunas consideraciones para su diseño, en cuanto a la selección de la vegetación, se sembró los rizomas de la *Thypa angustifolia* porque es una especie tolerante adaptable a una gran variedad de condiciones ambientales. La información recolectada, sobre aguas residuales domésticas, tratadas en los humedales artificiales de la minera Barrick, se procesaron en el paquete Excel o SPSS Versión 15.00, teniendo como resultado la reducción de pH, el agua residual de la empresa minera disminuyo a 9.8 mg/L de 36.8 mg/L de DBO_5, el oxígeno se incrementó a 3.12 mg/L de 0.26 mg/L y la concentración de SST (sólidos suspendidos totales) disminuyó 11 mg/L de 69.33 mg/L, en cuanto a las bacterias se encontró la concentración de 670*104 NMP/100 ml de coliformes totales disminuyendo a 96.3*104 NMP/100 ml. En tal sentido, el proyecto de investigación llegó a la conclusión que, los humedales artificiales de flujo superficial resultan ser ecosistemas eficientes en el tratamiento de aguas residuales de una manera segura, confiable, estética, y económica; asimismo, permiten una eficiente remoción de contaminantes ya que no requieren de suministro de energía adicional porque su funcionamiento se basa en la actividad combinada de la planta *Thypa angustifolia*, microorganismos y sustrato, que actúan de manera sinérgica propiciando un tratamiento eficiente.

Cantoral (2015). “Tratamiento de aguas residuales grises domésticas con la especie paragüitas *Cyperus alternifolius* en humedales artificiales, urbanización Zárate – San Juan de Lurigancho” (Tesis pregrado) Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú. El objetivo fue determinar el porcentaje de remoción de los contaminantes en el humedal artificial con la especie vegetal mencionada. El agua utilizada para el tratamiento en los humedales fue tomada de la red de alcantarillado de una vivienda unifamiliar ubicada en la urbanización de Zárate del distrito de San Juan de Lurigancho – Lima. El monitoreo y análisis de los parámetros de tratamiento de aguas se realizó de acuerdo al protocolo difundido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, teniéndose en cuenta a los parámetros de Turbidez, Sólidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica

de Oxígeno (DBO_5) y Demanda Química de Oxigeno (DQO). Los resultados obtenidos en torno a estos parámetros fueron lo siguiente: Turbidez (97,66%), SST (79,68%), DBO_5 (72,84%) y DQO (76,85%) de nivel de remoción.

Solís, López, Bautista, Hernández, Remellón, (2016). “Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales utilizando diferentes especies de vegetación”. La investigación se realizó en la Universidad Nacional de Tabasco, se construyeron humedales de flujo superficial y subsuperficial, fue analizado los HAFS-P y HAFS-C a mayor profundidad. El objetivo fue mitigar la contaminación de los ecosistemas implementando humedales artificiales. Se construyeron seis humedales de flujo subsuperficial de 1.2*2.5*1 m de profundidad con una capacidad de volumen de 1.5 m^3 ya que el agua alcanzó 50 cm de altura irrigándose con tuberías de PVC de 1 pulgada por 0.6 de longitud para que agua sea distribuida de manera homogénea, la capacidad del tratamiento fue de 200 L diarios con tiempo de retención hidráulica de 5 a 7 días. Sembraron la vegetación utilizando plantas de los humedales naturales aledaños al experimento, *T. latifolia* y *E. Crassipes* en número de doce unidades por cada módulo. Los parámetros medidos fueron: DBO_5, DQO, PT, NT, generando en total 60 muestras compuestas, doce muestras por parámetro. Los valores antes del tratamiento fueron: Turbiedad (143 NTU), DBO_5 (398,5 mg/L), DQO (891 mg/L), NT (73,7 mg/L), SST (295,3 mg/L), pH (7,22 unidades). Sus resultados de porcentaje de remoción de contaminantes fueron; Turbiedad (14 NTU), DBO_5 (36,2 mg/L), DQO (74 mg/L), NT (25 mg/L), SST (61 mg/L), pH (7 unidades). Los resultados obtenidos de los parámetros del efluente redujeron significativamente.

Rojas (2017), desarrolló la tesis titulada: “Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en humedales artificiales en la comunidad de Santa Rosa Bajo, distrito Chota”. El objetivo principal fue realizar el tratamiento de las aguas residuales domésticas con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en humedales artificiales en la

comunidad de Santa Rosa Bajo – Chota. El diseño de la investigación fue preexperimental por la relación de sus variables y diseño de preprueba – posprueba. La muestra de estudio fue de 50 L de agua residual generada por la comunidad. El agua residual utilizada para el tratamiento fue tomada de la red de alcantarillado de dicha comunidad. El monitoreo y análisis de los parámetros se realizó de acuerdo a lo estipulado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, se evaluó el sistema, cada diez días durante dos meses mediante el análisis de los parámetros fisicoquímicos (Turbidez, pH, DBO_5, DQO, SST, Aceites y grasas) y microbiológicos (Coliformes Termotolerantes), el muestreo se realizó al afluente y efluente del humedal artificial. Los resultados que obtuvo en cuanto al porcentaje de remoción de los parámetros mencionados fueron; Turbidez (99,53%), SST (95,51%), DBO_5 (83,89%), DQO (72,79%), Aceites y grasas (88,89%), Coliformes Termotolerantes (99,99%), pH (47%) y con una temperatura media de 22°. Se compararon los resultados con los Límites Máximos Permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas, y los valores están por debajo de lo establecido. Concluyó que el sistema de humedal artificial con la especie vetiver es eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

2.1.3. Local

Rivera y Arévalo (2015), desarrollaron la tesis titulada: “Dimensionamiento de un humedal artificial como alternativa para el tratamiento de las aguas residuales en la Universidad Nacional de Ucayali”, teniendo como objetivo proponer las dimensiones de un humedal artificial como alternativa para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Universidad Nacional de Ucayali; asimismo, evaluar los parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales que se tratarían en el humedal artificial y determinar los costos que demandaría la construcción de ésta tecnología. En esta investigación se utilizó el método descriptivo, que consistió en observar y medir parámetros físicos, químicos y biológicos y en función de ellos dimensionar el humedal artificial. Se recolectó 18 muestras del agua residual generada por la Universidad Nacional de Ucayali para el análisis de los parámetros tales como DBO, T°, pH, Nitrógeno

Total, Fósforo, Coliformes fecales y Coliformes termotolerantes. Las muestras se tomaron durante seis días en tres horarios a las 8:00 am, 1:00 pm y 6:00 pm, en el punto exactamente antes de que el afluente ingrese a la cámara de bombeo. La información recolectada sobre las aguas residuales de la Universidad Nacional de Ucayali, fueron procesados en una tabla Excel, teniendo como resultado la concentración de 264.61 mg/L de DBO_5, 51.50 ppm de Aceites y grasas, 182.44 ppm de Sólidos Suspendidos Totales, entre otros. Para la determinación del caudal se realizó la medición in situ tres veces por día, teniendo en cuenta las horas punta (mañana, tarde y noche). En cuanto al dimensionamiento del humedal artificial, se aplicaron fórmulas en base a información compilada de revisiones bibliográficas. Para determinar los costos para la construcción del humedal artificial se utilizó el programa S10. Como resultado se determinó las dimensiones del humedal artificial, el mismo que contó con 2 celdas, con un largo de 13.5 m, ancho de 4.5 m, una profundidad de 0.6 m y un área transversal de 2.71 m^2. Por otro lado, el costo de la construcción del humedal artificial fue de 357,558.81 nuevos soles.

Quispe y Ayala (2018), realizaron la tesis titulada: “Utilización de la *Eichhornia Crassipes* y *Lemna Minor* en la remoción de Nitrógeno y Fósforo, de las aguas residuales de la Laguna de Oxidación de la Empresa EMAPACOP S.A. – UCAYALI 2018”. El trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la capacidad de remoción de Nitrógeno (N) y Fósforo (P) en Aguas Residuales Municipales (ARM) por plantas acuáticas emergentes. Se utilizaron plantas nativas de la región en los efluentes de la Planta de Recuperación de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado S.A. (Pucallpa, Perú), aplicando dos métodos de investigación experimental y aplicada; se evaluó la capacidad de remoción de N y P durante 5 días, a nivel laboratorio, en ARM. El cultivo de plantas acuáticas emergentes, se realizó con 4 meses de crecimiento en condiciones controladas de luz, temperatura y pH. El cultivo de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, reportó valores altos de remoción, entre 70%-80%, y 55%-60%, sucesivamente. La cantidad óptima de plantas acuáticas emergentes, para tratar

aguas residuales y disminuir el exceso de nutrientes causantes de eutrofización o hipoxia, es de 60 muestras a tratar 80 litros de agua cruda, dio como resultado que disminuyó desde 0,35 mg/L hasta 0,09 mg/L de nitrógeno y de 5 mg/L hasta 0,53 mg/L de fósforo.

2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

2.2.1. Aguas residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales fueron alteradas por las actividades cotidianas antropogénicas, las cuales requieren de un tratamiento previo antes de ser descargadas a un cuerpo receptor, reutilizadas para riego o vertidas a un sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

Un gran porcentaje de las aguas residuales son desechadas a los cuerpos receptores de agua (ríos, lagos y mar) y suelos, generando efectos mortales como la pérdida de oxígeno, por la carga de contaminantes, restringiendo la vida de la flora y fauna existentes en dichos cuerpos (Ocola, 2005).

2.2.2. Tipos de contaminantes de las aguas residuales

Se dividen en tres clases, las cuales son:

2.2.2.1. Contaminantes orgánicos

- ***Proteínas***

Tienen procedencia de las heces humanas o de desperdicios de alimentos. Son de fácil degradación, inestables y generan un olor desagradable para el ser humano (Fernández E. , 2010).

- ***Carbohidratos***

Provienen de los desechos alimenticios y de las excretas humanas, estos son los azucares, almidón y fibras celulósicas (Fernández E. , 2010).

- ***Aceites y grasas***

Provienen de las actividades realizadas en la cocina (desechos de comida), de naturaleza lipídica, los cuales son estables, son insolubles con el agua debido a su menor densidad, provocando la aparición de nata y espumas en la superficie de las aguas residuales (Fernández E. , 2010).

2.2.2.2. Contaminantes inorgánicos

Se encuentran en abundancia en las aguas residuales sin importar su procedencia. Principalmente son procedentes de las industrias (aguas residuales industriales). Los contaminantes inorgánicos son de origen mineral y tienen una naturaleza variada, ya que están compuestas por sales, ácidos, óxidos, metales y bases inorgánicas (Fernández E. , 2010).

2.2.2.3. Contaminantes habituales en las aguas residuales

- ***Arenas***

Son partículas de naturaleza mineral que pueden ser de diferentes tamaños, que se encargan de enturbiar las masas de aguas residuales cuando estas están en movimiento, y cuando están estancadas forman depósitos de lodos (Fernández E. , 2010).

- ***Nitrógeno y fósforo***

Sus presencias en las aguas residuales son debido a los detergentes, fertilizantes, orín e incluso en las heces humanas, las cuales pueden causar deterioro en los cuerpos de agua (Fernández E. , 2010).

- ***Agentes patógenos***

Son pequeños organismos que se encuentran en las aguas residuales en cantidades mayores o menores, las cuales pueden causar graves enfermedades en la salud humana y alterar la calidad del cuerpo receptor (Fernández E. , 2010).

2.2.3. Clasificación de las aguas residuales

Existen tres tipos de aguas residuales que son:

2.2.3.1. Aguas residuales domésticas

Son aquellos líquidos de origen residencial y comercial que contienen desperdicios fisiológicos, entre otros, de procedencia antropogénica, y deben tener una disposición adecuada (OEFA, 2014).

2.2.3.2. Aguas residuales industriales

Son aquellas aguas que resultan de las actividades realizadas en las distintas industrias, incluyendo la minería; que contienen principalmente metales pesados y sustancias tóxicas para los cuerpos receptores y la vida humana (OEFA, 2014).

2.2.3.3. Aguas residuales municipales

Son aguas domésticas mezcladas con aguas pluviales o aguas residuales industriales previamente tratadas, para ser vertidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA, 2014).

2.2.3.4. Aguas residuales hospitalarios

Son aquellas aguas que contienen altas concentraciones de microorganismos y/o virus (entero bacterias, coliformes fecales, entre otros), algunos de los cuales pueden haber adquirido multi-resistencia antibiótica, también pueden estar presentes: solventes, metales pesados y sustancias complejas cuya actividad tóxica, mutagénica y genotóxica dependerá de interacciones sinérgicas y antagónicas entre sus componentes y el ambiente (Ramos, 2008).

2.2.4. Características de las aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas son de tres tipos de características:

2.2.4.1. Características físicas

Se encuentran los sólidos totales en un rango de 120 mg/L a 175 mg/L, temperatura 35°C, color marrón oscuro y un olor putrefacto. Los sólidos en forma de residuos flotantes y capas de grasa y aceite indican residuos altamente contaminados y son evidencia de residuos no tratados o tratados de manera ineficiente (Manual de Depuración de aguas residuales urbanas., 2008).

2.2.4.2. Características químicas

Encontramos a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) el cual es un indicador de la cantidad de sustancias orgánicas de origen biológico que se encuentran en total de 300 mg/L, el DQO 300 mg/L y de productos químicos orgánicos, sintéticos y biodegradables en las aguas residuales; sustancias inorgánicas en solución: pH en 9, siendo alcalina, cloruros se encuentra un porcentaje de 100 mg/L, alcalinidad 200 mg/L, nitrógeno 85 mg/L, fosforo 20 mg/L, azufre 80 mg/L y compuestos tóxicos 150 mg/L; y por último los gases (oxígeno disuelto, sulfuro de hidrogeno y metano) (Haber, y otros, 2003).

2.2.4.3. Características biológicas

Se encuentran los organismos patógenos como: las bacterias, virus, protozoarios, hongos y algas patógenos (Salas, Pidre, & Cuenca, 2008).

2.2.5. Tipos de tratamientos de aguas residuales domésticas

2.2.5.1. Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar tiene como objetivo la retención de sólidos gruesos y finos con densidad mayor al agua y arenas, con la finalidad de ahorrar problemas como obstrucciones por el paso de arena, basura, plásticos, entre otros, hacia los procesos posteriores. Se emplean canales con rejas gruesas y finas, desarenadores y tamices (MINAM, 2009).

2.2.5.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario tiene como principal objetivo la remoción del material en suspensión presente en el agua residual. Este tratamiento permite eliminar entre el 60 a 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% de la DBO orgánica sedimentable. Las unidades de tratamiento usados son: tanque séptico, tanque Imhoff, tanque de sedimentación primario, tanque de flotación, laguna primaria, reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA), etc. (MINAM, 2009)

2.2.5.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario tiene como objetivo principal remover entre el 50 y 95% de la DBO o materia orgánica disuelta mediante procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas generadas por microorganismos. Los sistemas más usados son los biofiltros, filtros percoladores, biodiscos, lodos activados, lagunas de estabilización, etc. (MINAM, 2009).

2.2.5.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario tiene como objetivo lograr remover los nutrientes como nitrógeno y fósforo, con el fin de evitar que la descarga del agua residual previamente tratada, ocasione la eutrofización en cuerpos de agua de baja circulación. Los procesos más usados son la precipitación química de nutrientes, procesos de filtración, destilación, flotación, ósmosis inversa, etc. (MINAM, 2009)

2.2.5.5. Tratamientos naturales

Son aquellos tratamientos que imitan los fenómenos que ocurren espontáneamente en la naturaleza y se encargan de la remoción de los elementos contaminantes de las aguas residuales a través de mecanismos y procesos naturales los cuales no demandan energía externa ni aditivos químicos (García & Corzo, 2008). Este tipo de tratamiento incluye a los humedales artificiales.

2.2.6. Humedales artificiales

2.2.6.1. Definición

Un humedal artificial es una zanja revestida de poca profundidad (menor a 1 metro) revestida con un material impermeable, rellenada generalmente de grava y/o arena (substrato), y plantada con diferentes tipos de macrófitas (vegetación) adaptables a condiciones de saturación. Las aguas residuales se introducen por la estructura de entrada y fluyen a través del sistema lentamente, con un periodo de tiempo controlado hasta la estructura de salida lista para darle un uso conveniente (ONU-HABITAT, 2008).

Son sistemas de tratamiento de aguas residuales que suelen tener una base impermeable en la que se deposita un medio granular para el desarrollo de las plantas, que constituyen el principal agente de remoción. Estos sistemas logran depurar las aguas residuales a través de la sedimentación, absorción y metabolismo bacterial; además interactúan con la atmósfera (Díaz, Alvarado, & Camacho, 2012).

2.2.7. Componentes de los humedales artificiales

2.2.7.1. Agua residual

Son las que provienen de un sistema de abastecimiento de agua, después de que sus características principales fueron cambiadas por actividades domésticas, industriales y comunitarias, las cuales son conducidos hacia un sistema de tratamiento con humedales artificiales, en este caso (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

2.2.7.2. Plantas

Son especies que presentan una fácil adaptación a suelos anegados. Sus principales funciones son la asimilación de nutrientes (N y P), metales pesados, proporcionar superficie en las raíces y rizomas para el crecimiento microbiano, transferencia de oxígeno a través de sus tejidos internos, reducción de la

intensidad de la luz para evitar altos gradientes de temperatura en el humedal. Las especies de macrófitas emergentes más usadas en los humedales son el carrizo (*Phragmites*), la espadaña (*Typha*) o los juncos (*Scirpus*) (García & Corzo, 2008).

2.2.7.3. Microorganismos

Son los encargados de realizar el tratamiento biológico a través de la degradación de las sustancias orgánicas, la eliminación de nutrientes y la desinfección. En la parte superior del sistema se desarrollan los microorganismos aerobios, debido a la preponderancia de oxígeno proveniente de las raíces de las plantas y del contacto directo con la atmósfera; y en el resto del humedal impera la existencia de microorganismos anaerobios y anóxicos (Arias Ó. , 2004).

2.2.7.4. Lecho filtrante o medio de soporte

El medio de soporte cumple diferentes funciones:

- son material de enraizamiento para la vegetación,
- ayudan a distribuir/recolectar de manera uniforme el caudal en la entrada/salida,
- proporcionan área superficial para el crecimiento de los microbios, y
- filtran y atrapan las partículas.

Las partículas muy pequeñas tienen una conductividad muy baja y crean un flujo superficial. Las partículas de gran tamaño tienen una conductividad hidráulica muy alta, pero disponen de poca área de superficie húmeda por volumen unitario de hábitat microbial. Un lecho con partículas gruesas y angulares es adverso a la propagación de las raíces. Los materiales de tamaño medio, generalmente caracterizados como gravas, suelen comprometer el funcionamiento por lo que se recomiendan que sean lavados antes de su uso ya que así se pueden eliminar arenas finas que podrían obstruir los poros del medio (ONU-HABITAT, 2008).

2.2.8. Mecanismos de remoción en los humedales artificiales (HA)

En los humedales artificiales al haber interacción de sus componentes se desencadenan una serie de procesos o mecanismos de remoción de sustancias contaminantes como físicos, químicos y biológicos (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

2.2.8.1. Remoción de sólidos suspendidos

Los principales procesos que predominan para la eliminación de solidos suspendidos son la filtración y sedimentación. Para que esto sea posible, el sistema radicular de las macrófitas y el medio filtrante actúan como regulador de la velocidad del agua residual dándole una circulación lenta. Cabe mencionar que el mayor porcentaje de remoción de sólidos suspendidos se da en el tratamiento previo a ingresar al humedal, es decir, en el tratamiento primario (sedimentador) (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

2.2.8.2. Remoción de materia orgánica

La materia orgánica particulada es retenida por filtración en la entrada del humedal. Esta fracción particulada, por fragmentación abiótica, se convierte en partículas más pequeñas que pueden ser hidrolizadas por enzimas extracelulares. Las enzimas son excretadas por bacterias heterótrofas aerobias. La hidrólisis da como resultado glucosa o aminoácidos que pueden ser asimilados por bacterias heterótrofas aerobias, y los ácidos pueden ser asimilados por bacterias sulfatoreductoras, metanogénicas y heterótrofas aerobias. Otro mecanismo que se debe tener en cuenta es la adsorción, por el cual la materia orgánica disuelta es retenida en el medio granular (García & Corzo, 2008).

Como en los humedales horizontales predominan las zonas anaerobias las bacterias facultativas fermentativas se desarrollan originando ácidos grasos como el acético y el láctico, alcoholes como el etanol y gases como el hidrógeno. Estos

compuestos sirven como alimentos para las bacterias sulfatoreductoras y mtanogénicas, es decir, se da la degradación anaerobia (García & Corzo, 2008).

2.2.8.3. Remoción de nitrógeno

En los humedales los principales mecanismos de remoción de nitrógeno son la nitrificación y desnitrificación. La nitrificación es desarrollada por bacterias autótrofas aerobias que convierten el amonio a nitrato, con un requerimiento de 4,6 mg de oxígeno por cada miligramo de amonio. En los humedales de tipo horizontal no es muy destacable la eliminación de amonio ya que existen pocas zonas aerobias para que se desarrolle el proceso de nitrificación. En la desnitrificación las bacterias heterotróficas convierten el nitrato, previamente formado por la nitrificación, a nitrógeno gas en condiciones anóxicas y en presencia de materia orgánica (García & Corzo, 2008).

2.2.8.4. Remoción de fósforo

Los mecanismos de remoción de fósforo son de tipo biótico y abiótico. Los bióticos incluyen la asimilación por parte de las plantas macrófitas y los microorganismos, y los abióticos abarcan fundamentalmente la adsorción por el lecho filtrante (García & Corzo, 2008).

En función al valor de pH dentro del humedal, el fósforo está presente en la forma de sal soluble o minerales insolubles, lo cual significa que el fósforo puede ser transferido dentro de un humedal artificial. Debido al contenido de óxidos metálicos en el lecho filtrante, la fijación de fósforo como fosfatos por medio de la adsorción varia (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

2.2.8.5. Remoción de patógenos

Para la remoción de patógenos intervienen procesos como la filtración, adsorción y la depredación. La eliminación de estos patógenos está en función al tiempo permanencia y del medio filtrante, es decir, cuanto menor sea el diámetro del medio filtrante, mayor es el porcentaje de remoción obtenido (García & Corzo, 2008).

2.2.8.6. Remoción de metales pesados

Influyen factores fisicoquímicos como la adsorción, precipitación, sedimentación, erosión y difusión, que determinan la distribución entre las partículas y las fases disueltas. Los parámetros específicos que controlan la sedimentación en el agua son la relación de flujo/sólidos suspendidos, condiciones aerobias/anaerobias, fuerza iónica, pH, contenidos de carbono orgánico particulados y disueltos y movilización de metales mediante reacciones bioquímicas (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

2.2.9. Tipos de humedales artificiales

Existen dos tipos de humedales artificiales y son:

2.2.9.1. Humedales artificiales de flujo libre o superficial (HAFLS)

Los humedales artificiales de flujo libre o superficial consisten típicamente de estanques, con una barrera subterránea impermeable para evitar la filtración, substrato a fin de soportar las plantas emergentes, y agua con una profundidad relativamente baja (0,1 a 0,6 m) que atraviesa la unidad; en estos sistemas el agua residual tiene una baja conductividad hidráulica y no permite un flujo significativo a través de la zona radicular (Llagas & Guadalupe, 2006).

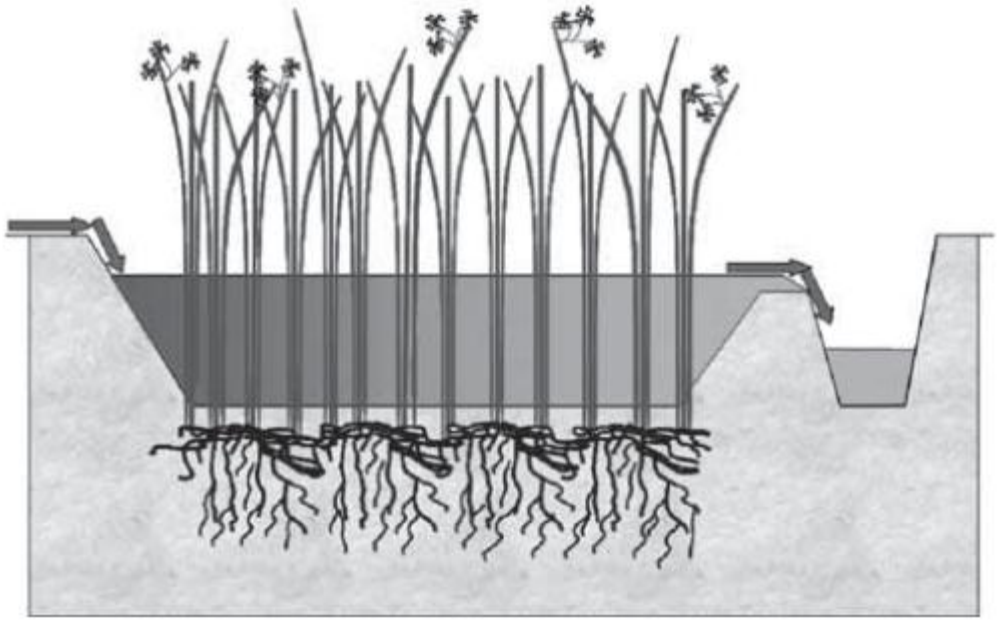


Figura 1. Humedal Artificial de Flujo Libre o Superficial. *(Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)*.

2.2.9.2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFS)

En este tipo de humedales el agua fluye por debajo de la superficie de un medio poroso sembrado de plantas macrófitas emergentes. El medio granular es comúnmente grava y arena en espesores de 0,45 a 1cm y con pendiente de 0 a 0,5%. En la tabla 1 se incluyen características típicas del medio usado en un humedal artificial de flujo subsuperficial (Romero J. , 2004).

Tabla 1. *Criterios para humedales de flujo subsuperficial*

CRITERIO	VALOR
Tiempo de Retención (día)	3 – 4 (DBO_5) 6 – 10 (NT); 4 – 15
Carga Hidráulica Superficial (m^3/ha*día)	470 – 1870
Carga Orgánica (Kg DBO_5/ha*día)	< 112
Carga de Sólidos Suspendidos Totales (Kg/ha*día)	390
Profundidad del agua (m)	0,3 – 0,6
Profundidad del medio (m)	0,45 – 0,75
Control de mosquitos	No requiere
Programa de cosecha	No requiere
Calidad esperada del efluente DBO_5/SST/NT/PT (mg/L)	< 20/20/10/5

Fuente: (Romero J. , 2004).

En contraste con los humedales de flujo superficial, los humedales artificiales de flujo subsuperficial requieren menor área y no tienen olores desagradables. La vegetación es semejante a la de los humedales superficiales y no se requiere cosechar las plantas (Romero J. , 2004).

Los humedales de flujo subsuperficial se dividen en dos tipos: humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical y humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal.

- ***Humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical (HASFV)***

En este tipo de humedales el flujo del agua es de tipo vertical y se alimenta por goteo, de manera que el lecho filtrante no está permanentemente saturado de agua, ya que el lecho filtrante va desde 0.5 a 0.8 m. Los humedales verticales tienen un mayor porcentaje de remoción en cuanto a los nutrientes (fósforo y nitrógeno) que los horizontales por lo que requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica (García & Corzo, 2008)

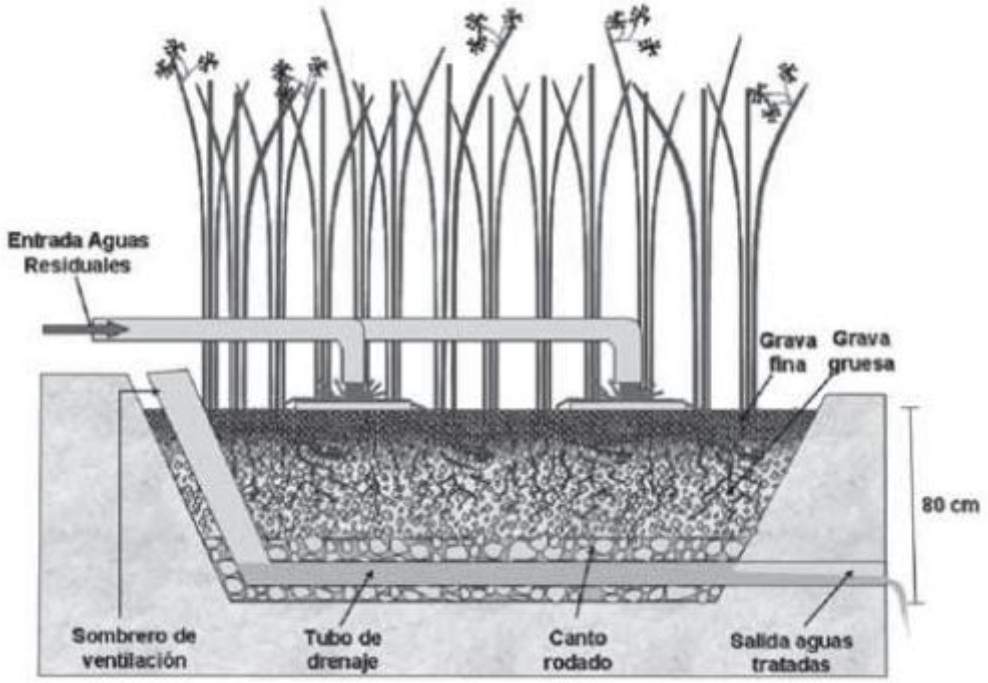


Figura 2. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical. (Delgadillo et al., 2010).

- ***Humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal (HASFH)***

En este tipo de humedal el agua ingresa de manera permanente por la parte superior de un extremo del humedal y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se va depurando a medida que fluye horizontalmente a través del medio granular y el sistema radicular de las

macrófitas. La profundidad del humedal horizontal varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5% a 1% (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

Los humedales horizontales están compuestos por una estructura de entrada y salida, material impermeable que cubra toda la zanja, medio granular o lecho filtrante, y vegetación emergente (macrófitas) (García & Corzo, 2008).

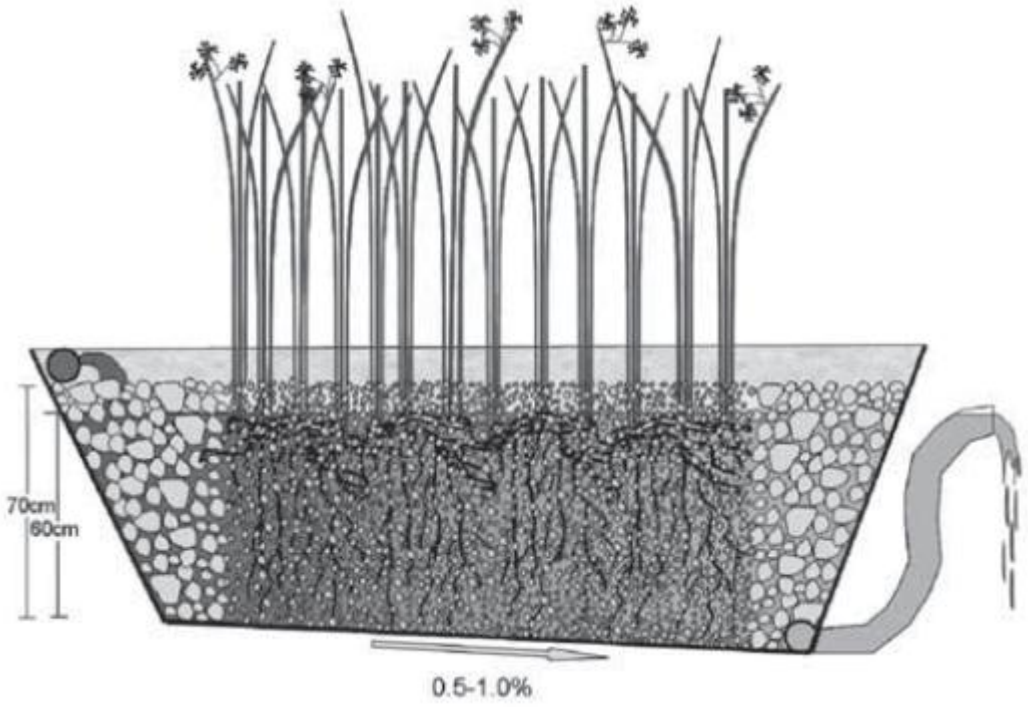


Figura 3. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal. (Delgadillo et al., 2010).

2.2.10. Eleocharis palustris (Junco de agua)

Eleocharis palustris es el nombre botánico de esta especie perteneciente a la familia *Cyperaceae* y es conocida de forma común como: bayunquillo, junco borde, junquillo y junco palustre. Sus sinonimias son las siguientes: *Bulbostylis*

palustris, *Chlorocharis palustris*, *Clavula palustris*, *Cyperus palustris*, *Eleocharis palustris*, *Megadenus palustris*, *Schoenus palustris*, *Scirpus palustris* y *Trichophyllum palustre* (Pérez, 2013).

2.2.10.1. Características generales

Los tallos pueden ser de sección circular o triangular. Las hojas pueden ser basales o caulinares (a lo largo del tallo), y están envainadas. En algunas especies las hojas están muy reducidas, e incluso llegan a carecer de limbo. Las flores son hermafroditas y están muy reducidas; se componen de 0-6 pequeñas piezas escamosas estériles (corresponderían a las piezas del cáliz y la corola), 1-3 estambres, y gineceo con 2-3 estigmas. Se organizan en "espiguillas" muy pequeñas (<4mm de diámetro) dispuestas en espiral, en donde cada flor lleva una única escama (gluma) (Pérez, 2013).

A su vez, las espiguillas se agrupan en complejas inflorescencias terminales o axilares sobre 1-3 hojas situadas en el extremo del tallo, en donde cada inflorescencia puede llevar de 50-500 espiguillas. El fruto es un aquenio, generalmente trígono, que contiene una única semilla (Pérez, 2013).



Figura 4. Eleocharis Palustris (Junco de Agua). (Fischer, 2007).

2.2.11. Límites Máximos Permisibles (LMP)

Es la medida de la concentración de los elementos, sustancias o parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que caracterizan a un efluente, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, 2010).

Con la finalidad de controlar los niveles de concentración de los parámetros fisicoquímicas y microbiológicas de los efluentes para vertidos a cuerpos de agua, el Ministerio del Ambiente (MINAM) publicó el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, por el cual se aprueban los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda.

Los valores del efluente del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal serán comparados con los LMP, para de esa manera conocer si dicho efluente se encuentra apto para ser vertido a un cuerpo receptor. Los valores de los LMP decretados por la normativa son las siguientes:

Tabla 2. *Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR*

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES
Aceites y Grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: D.S. N° 003-2010-MINAM.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Afluente:** Es el agua cruda que ingresa a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su posterior tratamiento (Norma OS. 090, 2006).

- **Aguas residuales:** Son aquellas aguas cuyas características originales fueron modificadas por las actividades cotidianas que el hombre realiza, las cuales requieren ser tratadas antes de descargarse a un cuerpo de agua, reutilizadas para riego o vertidas a un sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

- **Aguas residuales domésticas:** Son aguas que han sido utilizadas en las actividades domésticas. Están compuestas por: aguas negras que provienen de los inodoros y aguas grises provenientes de duchas, lavaplatos y lavadoras (Estrada, 2010).

- **Cadena de custodia:** Documento de control y seguimiento de las condiciones de recolección de la muestra, preservación, codificación, transporte, esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta la entrega de los resultados. Es la evidencia de la trazabilidad del muestreo (Ministerio de Vivienda, 2013).

- **Caudal:** Es la cantidad de agua residual que pasa por una sección determinada en una unidad de tiempo (Norma OS. 090, 2006).

- **Contaminación del agua:** Es la alteración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que caracterizan a un determinado cuerpo de agua, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, actividades productivas, actividades recreativas y la vida natural (Carta del Agua, Consejo de Europa, 1968).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5):** Es un parámetro químico de las aguas residuales. Indica la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para estabilizar la materia orgánica biodegradable (Norma OS. 090, 2006).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es una medida que indica la cantidad oxígeno que se necesita para la oxidación química de la materia orgánica susceptible del agua residual (Norma OS. 090, 2006).

- **Efluente:** Es el agua tratada que sale de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con las características exigidas para su posterior uso final (Norma OS. 090, 2006).

- **Humedal artificial:** Son construidos por el hombre para el tratamiento de aguas residuales. Consiste en un estanque de profundidad menor a 1m en el que se implantas especies vegetales sobre un susbtrato (Arias & Brix, 2003).

- **Límite Máximo Permisible (LMP):** Es la medida de la concentración de los elementos, sustancias o parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que caracterizan a un efluente, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Es de cumplimiento obligatorio, exigible por el MINAM (Ministerio de Vivienda, 2013).

- **Macrófitas emergentes:** Son aquellas plantas perennes con órganos reproductores aéreos que tienen parte de su estructura vegetativa dentro del agua y otra parte fuera de ésta (Pérez, 2013).

- **Muestra de agua:** Parte representativa del material a estudiar (para este caso agua residual cruda y tratada) en el cual se analizan los parámetros de interés (Ministerio de Vivienda, 2013).

- **Tratamiento de aguas residuales:** Es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que tiene por finalidad remover los contaminantes presentes en las aguas residuales (Norma OS. 090, 2006).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se ejecutó en una vivienda que se encuentra ubicada en el A. H. 9 de Octubre, distrito de Callería, departamento de Ucayali, a una altitud de 154 m.s.n.m. La vivienda es de madera de color azul y está conformada por 6 habitantes (papá, mamá y 4 hijos). La vivienda vierte sus aguas residuales domésticas a un caño natural que pasa por atrás de la casa y ésta próximamente pasa a la quebrada Yumantay. Las características del terreno indican un suelo arcilloso y pendiente con la inclinación apropiada para la construcción del sistema de humedal y favorecer la caída del agua a tratar.



Figura 5. Ubicación de la vivienda donde está instalado el Humedal Artificial.

Fuente: Google Earth

3.1.1. Ubicación política y geográfica

Ubicación política:

Región : Ucayali

Departamento : Ucayali

Provincia : Coronel Portillo

Distrito : Callería

Ubicación geográfica:

Latitud : 8° 23´ 40" S

Longitud : 74° 32´ 51" O

Altitud : 154 m.s.n.m.

3.1.2. Límites del distrito

Sus límites son los siguientes:

Norte : Provincia de Requena (Departamento de Loreto)

Sur : Distrito de Masisea

Este : República de Brasil

Oeste : Distrito de Campo Verde, Manantay, Nueva Requena y Yarinacocha

3.1.3. Características generales del ámbito de estudio

La provincia de Coronel Portillo cuenta con un relieve llano, sin elevaciones y muy típico de la selva baja. Además, está marcada por la cuenca del río Ucayali que de sur a norte cruza su territorio y se alimenta de varios ríos afluentes. El clima de la llanura amazónica es cálido, con una precipitación pluvial que varía entre 1500 y 2000 mm. Los ciclos pluviales son los siguientes:

- Ciclo lluvioso comprende los meses de Febrero, Abril y Mayo.
- Ciclo seco comprende los meses de Junio, Julio y Agosto.
- Ciclo semilluvioso comprende los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre.

- Ciclo semiseco comprende los meses de Diciembre a Enero.

La humedad mayor es en los meses de Febrero, Marzo, Abril y Octubre (82%) y los meses de menor humedad son Julio y Agosto (74%) en cuanto a la Temperatura, la máxima promedio llega a 31,9° (mes de Julio) y la mínima 21,6° (mes de Julio) (Municipalidad Provincial de Coronel Portillo, 2010).

3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Enfoque

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que, según Hernández, Fernández & Baptista (2010) este tipo de investigación es secuencial la cual sigue una serie de procesos para llegar a la finalidad, y probatorio porque necesita de análisis para poder comprobar que los resultados son ciertos. Asimismo, la recolección de datos se fundamenta en la medición de los parámetro fisicoquímicos y microbiológicos, que se lleva a cabo por procedimientos estandarizados, debido a que los datos obtenidos son números o cantidades.

3.2.2. Tipo

Esta investigación es de tipo aplicada, ya que su propósito es dar solución a situaciones o problemas concretos e identificables (Bunge, 1971).

La investigación aplicada parte (por lo general, aunque no siempre) del conocimiento generado por la investigación básica, tanto para identificar problemas sobre los que se debe intervenir como para definir las estrategias de solución.

3.2.3. Alcance o nivel

Esta investigación presenta un alcance descriptivo, ya que, según Hernández, Fernández & Baptista (2010) señalan que los estudios descriptivos

buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas.

3.2.4. Diseño

El presente trabajo de investigación tuvo un diseño experimental de tipo preexperimental; ya que es el que más se adapta al trabajo realizado.

El diseño experimental busca “medir probabilísticamente la relación causal que se establece entre las variables, y estar en posibilidad de confirmar o rechazar las hipótesis sometidas a prueba” (Rojas R. , 2013).

Cabe aclarar que este diseño no cumple con los requisitos de un experimento “puro”. No hay manipulación de la variable independiente (niveles) o grupos de contraste (ni siquiera el mínimo de presencia-ausencia). Tampoco hay una referencia previa de cuál era el nivel que tenía el grupo en la(s) variable(s) dependiente(s) antes del estímulo. No es posible establecer causalidad con certeza ni se controlan las fuentes de invalidación interna.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

Representó el caudal promedio (1,88 m^3/día) de entrada al humedal artificial de las aguas residuales domésticas de una vivienda del A .H. 9 de Octubre.

3.3.2. Muestra

Representó un total de 12 muestras de agua residual tratada, 6 del afluente y 6 del efluente, cada muestra fue de 500 ml, haciendo un total de 6 litros.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Técnicas

Para el presente trabajo de investigación se utilizaron como instrumento de recolección de datos: la observación directa, formatos de campo, pruebas estadísticas y fotografías. En este caso se hizo la caracterización de las aguas residuales antes y después del tratamiento en el humedal artificial. Se fotografiaron las actividades que se realizaron, para el posterior procesamiento de los datos y de esa manera comparar los resultados obtenidos con la normativa y constatar la influencia del sistema en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Todo ello se llevará a cabo con los siguientes instrumentos:

- Observación directa
- Formatos de campo
- Pruebas estadísticas
- Fotografías

3.4.2. Instrumentos

3.4.2.1. Materiales

- Fotocopias
- Plumón indeleble
- Libreta de Campo
- Tablero de Campo
- Cooler
- Frascos de vidrio y plástico esterilizados (500 mL)
- Refrigerantes

3.4.2.2. Equipos

- Laptop
- Cámara Digital
- GPS

- Cronómetro
- Multiparámetro HANNA, modelo HI 9813-6
- Oxímetro HANNA, modelo HI 9146

3.4.2.3. Indumentaria de protección

- Botines de seguridad
- Guantes quirúrgicos
- Mandil
- Mascarillas
- Gorros protectores UV

3.4.2.4. Formatos de campo

- Formato de Ubicación del Punto de Monitoreo
- Formato de Registro de datos de campo
- Etiqueta para muestras de agua residual
- Formato de Cadena de Custodia
- Método de medición de caudales

3.5. PROCESAMIENTO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Fase de campo

3.5.1.1. Instalación del sedimentador

Para la instalación del sedimentador se realizó lo siguiente:

- Se hizo la excavación para colocar el sedimentador y las tuberías.
- Se instaló el sedimentador el cual es un bidón de 200 L y luego las respectivas conexiones de las tuberías. La finalidad del sedimentador de flujo horizontal es optimizar el tratamiento para que no exista obstrucciones en el siguiente proceso.

- Una vez instalado el sedimentador se construyó una cámara de inspección de 50 cm x 50 cm para la toma de muestras del agua que sale del sedimentador.

3.5.1.2. Diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal

Según (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010), para el diseño de este tipo de humedales se sugieren los siguientes pasos:

- Cálculo del área necesaria
- Profundidad del humedal
- Pendiente
- Sustrato
- Relación largo-ancho

Ecuación 1. Área superficial

El área superficial se calcula en función al parámetro contaminante que se desea remover, generalmente los diseños se realizan para disminuir la DBO_5, a través de la siguiente fórmula:

$$AS = \frac{Q * \ln(\frac{C_0}{C})}{K_T * h * \eta}$$

Donde:

Q : caudal de diseño del humedal (m^3/día)

C : concentración del efluente (mg/L)

C_0 : concentración del afluente (mg/L)

K_T : constante de reacción de primer orden dependiendo de la temperatura (d^{-1})

h : profundidad del humedal (m)

η : porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción)

Ecuación 2. Constante de reacción de primer orden

Su fórmula es la siguiente:

$$K_T = 1{,}104 * 1{,}06^{T_2-20}$$

Donde:

T_2 : temperatura del agua (°C)

La profundidad del humedal generalmente varia de 0,3 a 1 m (valor usual 0,6 m), con una pendiente de 0,1 a 1%, siendo el valor usual 0,5%.

Sustrato

Antes del inicio del diseño se recomienda realizar pruebas de conductividad y porosidad del substrato (grava), esto para definir exactamente el tipo de material a emplearse. Asimismo, se recomienda multiplicar el valor de la conductividad por 1/3 o bien por 0,1 (10%) para evitar problemas de atascamiento por acumulación de lodos, raíces y otros.

En la Tabla 4 se muestra las características principales de los substratos usados en los humedales.

Tabla 3. *Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales horizontales*

Tipo de material	Tamaño efectivo D_{10} (mm)	Conductividad hidráulica, K_S ($m^3/m^2/d$)	Porosidad, n (%)
Arena gruesa	2	100 – 1000	28 – 32
Arena gravosa	8	500 – 5000	30 – 35
Grava fina	16	1000 – 10000	35 – 38
Grava media	32	10000 – 50000	36 – 40
Roca gruesa	128	50000 – 250000	38 – 45

Fuente: (Delgadillo et al., 2010).

Ecuación 3. Relación largo – ancho

Para calcular el ancho del humedal consideramos la Ley de Darcy, para flujo en medio poroso. La fórmula es la siguiente:

$$A_C = \frac{Q}{(K_S * S)}$$

Donde:

A_C : área vertical (m^2)

Q : caudal medio (m^3/s)

K_S : conductividad hidráulica (m/s)

S : pendiente (m/m)

Ecuación 4. Ancho del humedal

El ancho del humedal se determina en función al área vertical y la profundidad del nivel de agua a tratar como se muestra en la siguiente fórmula:

$$W = \frac{A_C}{h}$$

Donde:

A_C : área vertical (m^2)

h : profundidad del humedal (m)

Ecuación 5. Largo del humedal

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

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

Donde:

A_S : área superficial del humedal (m^2)

W : ancho del humedal (m)

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 preferenciales, 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.

3.5.1.3. Construcción del humedal artificial

Una vez definida las dimensiones, se procedió a la construcción del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal; para lo cual se realizaron las siguientes instrucciones:

Construcción de la zanja:

- Primeramente, se limpió el terreno para que esté libre de todo objeto que pueda impedir la puesta en marcha del humedal artificial.

- Luego se hicieron las excavaciones para las tuberías.

- Se conectaron las tuberías del sedimentador con las del humedal artificial.

- Se realizó la excavación para la implementación del humedal con las dimensiones ya establecidas en el diseño. La pendiente del humedal fue de 1% para optimizar la caída del agua.

- Luego se conectó la caja de inspección para controlar la cantidad de agua residual que entrará al humedal.

Impermeabilización de la zanja:

- Una vez terminado la zanja, se revistió con tres capas de plástico de polietileno con el fin de evitar la percolación del agua residual y así no contaminar el agua subterránea.

- Luego, se colocó un cerco perimétrico de ladrillos alrededor de la zanja para presionar del material impermeable.

- Después de eso, se conectaron las tuberías de acuerdo al diseño, como también las válvulas de cierre, los codos, entre otros; y en el centro de la zanja se colocó un tubo de inspección para el monitoreo diario de los parámetros de campo Temperatura y pH.

Relleno del lecho filtrante:

- Una vez colocado el material impermeable en la zanja, se tamizaron y lavaron las gravas gruesas y finas antes de ser colocadas.

- Después de eso, se rellenó la zanja con grava gruesa, fina y arena (lecho filtrante) de manera homogénea; empezando por el material más grueso hasta el más fino.

Plantación de macrófitas:

- Se recogieron 10 ejemplares de *Eleocharis palustris* (Junco de agua) de aproximadamente 0.60 m designadas para el humedal artificial, lo cual es una cantidad aceptable para el área del humedal, ya que tienen un sistema radicular extenso más el substrato. El *Eleocharis palustris* se extrajo de la Ganadería de la Universidad Nacional de Ucayali.

- Se realizó la plantación de las macrófitas emergentes *Eleocharis palustris* (Junco), aquellas que para su proceso de adaptación y estabilidad en el medio han necesitado 10 días. Según (ONU-HABITAT, 2008), se puede conseguir que la vegetación crezca en el humedal de diferentes maneras: trasplantando raíces, rizomas, semillas o plantas ya crecidas; importando substrato desde humedales cercanos. Inicialmente el humedal fue alimentado con agua de caño, posteriormente con una mezcla entre agua de caño y agua residual en pociones homogéneas y finalmente con un 100% de agua residual. Seleccionamos a los juncos con tamaño mediano ya que tiene mayor capacidad de absorción de contaminantes que las que recién están creciendo. La plantación se realizó el 06 de noviembre del 2020.

Tabla 4. *Día de la plantación de la especie Eleocharis palustris*

Fecha de plantación de la especie ***Eleocharis Palustris.***	Adaptación
06/11/2020	Se plantaron 10 especies de *Eleocharis palustris* en el humedal para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.
07/11/2020	Se secó una planta de junco, ya que no fue extraída cuidadosamente. Quedaron 9 plantas.
08/11/2020	Se quebraron los tallos de 2 plantas, las cuales fueron separadas del humedal. Quedaron en total 7 plantas.
09/11/2020	No se marchitó ninguna planta.
10/11/2020	Se mantuvieron las 7 plantas restantes.
11/11/2020	Las restantes mostraron buena adaptación al humedal, ya que no daban indicios que se marchitarían.
12/11/2020	Se recolectaron 3 plantas más de la ganadería de la UNU para tener la densidad de plantas inicial.
13/11/2020	Una vez plantadas las 3 especies recogidas, se esperó que se adaptaran adecuadamente.
14/11/2020	Se mantuvieron firmes las 10 plantas.
15/11/2020	Las 10 plantas se adaptaron correctamente al humedal, ninguna sufrió algún percance, por lo que al día siguiente se dio inicio al monitoreo in situ.

Fuente: Elaboración propia

- Por último, se realizó una prueba hidráulica para observar el funcionamiento del humedal, el cual consistió en agregar agua limpia a todo el proceso, para detectar si existe algún tipo de estancamiento, y así optimizar el tratamiento.

3.5.1.4. Medición del caudal

El método que se utilizó para la medición del caudal fue el método volumétrico, teniendo los siguientes criterios:

- Con la ayuda de un balde de volumen conocido (4 L) y un cronómetro se procedió a realizar la medición del caudal en el punto de salida del sedimentador de aproximadamente 200 L, el cual consistió en el tiempo de llenado del balde con el agua cruda.
- Una vez llenado el balde se procedió a retirarlo del punto de descarga cuidadosamente para evitar que el agua cruda se derrame.
- Por último, se calculó el caudal con los datos obtenidos (volumen y tiempo), con la siguiente fórmula:

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

Donde:

Q: Caudal (L/seg)

V: Volumen (litros)

T: Tiempo (segundos)

3.5.1.5. Recolección de muestras

Para la toma de muestras del agua cruda se siguieron los lineamientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales aprobado bajo R.M. N° 273-2013-VIVIENDA.

- **Puntos de monitoreo**

Los puntos de monitoreo deben guardar concordancia, respecto a la evaluación del efluente residual, según lo especificado en el instrumento de gestión ambiental. Los puntos de monitoreo serán dos: en la entrada de la PTAR y en la salida de ésta.

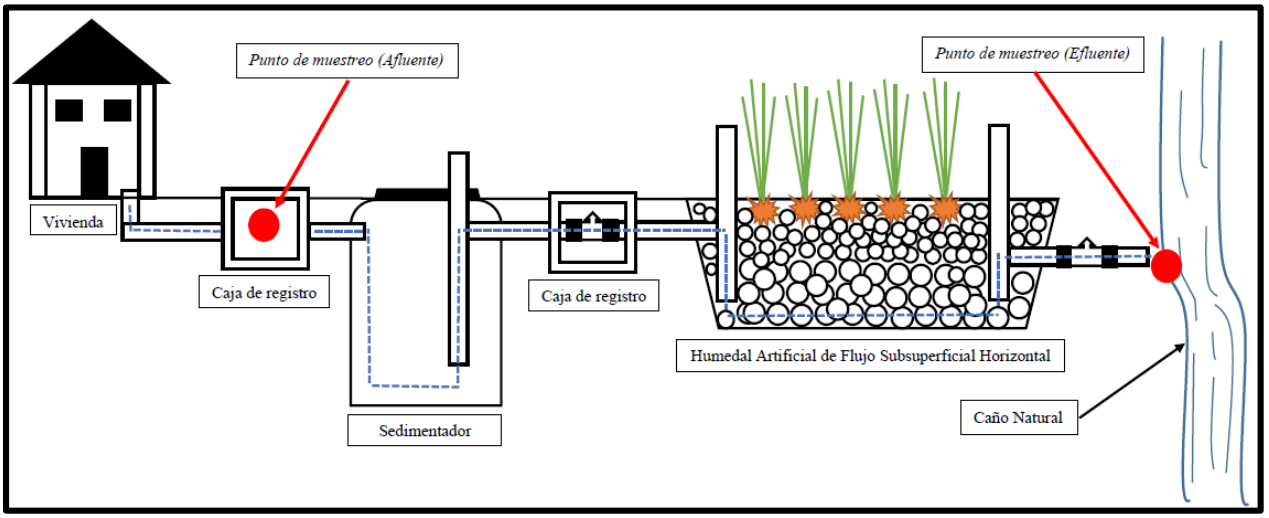


Figura 6. Puntos de muestreos del Sistema de tratamiento.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Parámetros de calidad**

Los parámetros sujetos al monitoreo de los efluentes de las PTAR son indicados en el D.S. N° 003-2010-MINAM para los cuales se fija los Límites Máximos Permisibles. Estos son los siguientes:

- Aceites y grasas
- Coliformes termotolerantes
- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Demanda Química de Oxígeno
- pH
- Sólidos Totales Suspendidos
- Temperatura

Estos parámetros se monitorearán en el agua residual cruda (afluente) y en el agua residual tratada (efluentes), tomando en todos los casos muestra simples.

- **Preparación de materiales y equipos**

Tiene como objetivo cubrir los elementos indispensables para llevar a cabo un monitoreo de forma efectiva, por lo que es importante preparar con anticipación los materiales de trabajo, solución amortiguadora de pH, formatos (registro de datos de campo, etiquetas para las muestras de agua residual y cadena de custodia). Asimismo, se debe contar, sin carácter limitante, con los materiales y equipos de muestreo operativo y debidamente calibrado.

- **Ubicación del punto de monitoreo**

La toma de muestras se realizará únicamente en los puntos de monitoreo debidamente marcados con la placa de identificación.

Los puntos de monitoreo, deben ser identificados y reconocidos claramente, de manera que permita su ubicación exacta en los muestreos. En la determinación de su ubicación se utilizará el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS), el mismo que se registrará en coordenadas UTM y en el sistema WGS84.

Una vez establecidos los puntos de monitoreo se debe colocar una placa de identificación para el reconocimiento de su ubicación.

- **Medición de parámetros de campo y registro de información**

Los parámetros de campo son: pH y temperatura, además de la medición y registro de caudal. A fin de obtener confiabilidad de los datos que se requiere:

- Equipo portátil calibrado (pH-metro), con registro de la calibración y mantenimiento. Debe realizarse la verificación del equipo antes del inicio del trabajo de campo y calibrar el equipo, de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante.
- Las mediciones no deben ser realizadas directamente en el flujo de aguas residuales, se debe tomar una muestra simple en un recipiente apropiado y limpio. La determinación de pH y la temperatura, debe realizarse en forma inmediata a la toma de muestra.
- Realizar la medición y registro del caudal del afluente y efluente durante el período de muestreo.
- La información recabada de la medición de parámetros de campo, así como el caudal del afluente y efluente se debe ingresar en el formato de Registro de Datos de Campo.
- Registrar las características del agua residual (sólidos, color, olor, etc.), así como las eventuales características anómalas de los puntos de monitoreo. Esta información puede complementarse con una foto.

- **Toma de muestras de agua, preservación etiquetado, rotulado y transporte.**

Según (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2013) las muestras serán recolectadas y preservadas teniendo en cuenta cada uno de los parámetros considerados. En este caso seguir las instrucciones generales de preservación, embalaje y trasportes de las muestras, mostradas en la Tabla 4.

Se recomienda etiquetar o rotular los frascos preferentemente antes de la toma de muestras de agua.

El personal responsable deberá colocarse los guantes descartables antes del inicio de la toma de muestras del agua residual y desecharlos luego de culminado el muestreo en cada punto; es importante los cuidados en el manejo de los reactivos de preservación pro tratarse de sustancias peligrosas.

En todo momento evitar tomar la muestra tomando el frasco por la boca.

Tabla 5. *Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo*

Determinación/Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra (1)	Preservación y concentración	Tiempo máximo de duración
Fisicoquímico				
Temperatura	P,V	1000 mL	No es posible	15 min
pH (2)			No es posible	15 min
DBO_5 (3)	P,V	1000 mL	Refrigerar a 4°C	48 horas
DQO (3)	P,V	100 mL	Analizar lo más pronto posible, o agregar H_2SO_4 hasta pH<2; refrigerar a 4°C	28 días
Aceites y grasas	V, ámbar boca ancha calibrado	1000 mL	Agregar HCl hasta pH<2; refrigerar a 4°C	28 días
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	P,V	100 mL	Refrigerar a 4°C	7 días
Microbiológico				
Coliformes termotolerantes (NMP)	V, esterilizado	250 mL	Refrigerar a 4°C Agregar tiosulfato en plantas con cloración	6 horas

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2013)

(1) No hay restricción para el volumen máximo de la muestra.

(2) En el caso de lagunas de estabilización, la medición del efluente debe realizarse entre las 10:00 y las 11:00 horas para evitar la interferencia del desequilibrio del sistema carbonatado por alta actividad fotosintética que se da en las horas de mayor radiación solar.

(3) En caso de lagunas de estabilización, filtrar las muestras de los efluentes (filtro no mayor a 1 micra de porosidad, lo cual debe ser reportado con los resultados del ensayo) para eliminar la interferencia de algas, determinando de este modo la DBO y DQO, soluble o filtrada. No se debe filtrar las muestras si los efluentes son vertidos en cuerpos de agua lenticos (lagunas, lagos, bahías, etc.).

Leyenda: P = frasco de plástico o equivalente;
V = frasco de vidrio

3.5.2. Fase de Laboratorio

3.5.2.1. Método de ensayo

Las muestras de agua fueron analizadas de acuerdo a los parámetros necesarios para la presente investigación, asimismo los servicios de ensayos fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron en el laboratorio de Natura Analítica S.A.C., el cual se encuentra acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). El método utilizado para el análisis del agua residual tanto del afluente (entrada) como del efluente (salida) fue el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA-AWWA-WEF 22nd Edition *(Véase Tabla 7)*.

Tabla 6. *Métodos de ensayos realizados por el laboratorio Natura Analítica S.A.C.*

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO
pH	H^+	SM 4500H+B
Turbiedad	NTU	SM 2130B
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SM 2540D
Nitrógeno Total	mg/L	Kjeldah
Fósforo Total	mg/L	Espectrofotométrico
Aceites y Grasa	mg/L	EPA 1664 B
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	SM 5210B
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	SM 5220A
Coliformes Totales	NMP/100mL	SM 9221 B
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SM 922l E

Fuente: Laboratorio Natura Analítica S.A.C.

3.6. TRATAMIENTO DE DATOS

3.6.1. Comparación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con los Límites Máximos Permisibles (LMP)

Para este paso se utilizó el programa Microsoft Excel 2013, mediante gráficos de barras, para comparar los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos antes y después del tratamiento con los Límites Máximos Permisibles vigente en la legislación peruana, D.S. N° 003 – 2010 MINAM.

Se tomaron 6 muestras de aguas residuales del afluente (antes del tratamiento) y 6 muestras del efluente (después del tratamiento), del sistema de Humedal Artificial de tratamiento de aguas residuales domésticas de la vivienda.

3.6.2. Prueba de Shapiro-Wilk

Al tener los datos completos de la presente investigación se comenzó contrastando su Distribución Normal mediante la prueba Shapiro-Wilk, ya que es usado para constatar si determinados datos han sido extraídos de una población normal, en esta prueba los parámetros a trabajar son la media y la desviación estándar; y dicha prueba es aplicable para muestras pequeñas las cuales son menores de 50 individuos o muestreos (n<50) (Shapiro & Wilk, 1965).

La prueba de Shapiro-Wilk plantea la hipótesis nula que una muestra proviene de una distribución normal. Elegimos un nivel de significancia de 0,05, y tenemos una hipótesis alternativa que sostiene que la distribución no es normal.

Tenemos:

H_0 : La distribución es normal

H_1 : La distribución no es normal

3.6.3. Prueba de t student para muestras pareadas

Para esta prueba se utilizó el software SPSS Statistics 25 para realizar la comparación de dos medidas en un mismo grupo, una medida antes y después del tratamiento. El estadístico de contraste desarrollado a partir del planteamiento de la hipótesis a contrastar es:

$$\boldsymbol{t = \frac{\bar{d}}{\hat{S}_d}\sqrt{n}}$$

Donde:

$\bar{d}$ **:** media muestral de la diferencia entre las observaciones “pre” y “post”

n **:** tamaño de la muestra

$\hat{S}_d$ **:** desviación estándar muestral de las diferencias

t **:** valor de la prueba t student

Lo que nos va a decir la prueba t en este caso es si la diferencia es significativamente diferente a cero: Si la variable independiente (Humedal Artificial) no tiene efecto entonces debería dar lo mismo medir antes o después. Las hipótesis planteadas son, por tanto:

$H_0 : \bar{\boldsymbol{d}} = 0,$

$H_1 : \bar{\boldsymbol{d}} \neq 0$

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL

Para la medición del caudal se utilizó el Método Volumétrico, el cual se aplica para caudales menores a 5 L/s y exista un lugar donde las descargas sean por gravedad. Para ello, se utilizó un envase de plástico de 4 L y se midió el tiempo de llenado del envase con un cronómetro. Se hicieron tres mediciones diarias en la salida del sedimentador durante cinco días, en horarios de mayor consumo de agua de la vivienda para tener mejor consistencia en la obtención de datos.

Tabla 7. *Cálculo del caudal promedio de diseño*

Fecha	Hora	Muestra	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Caudal (m^3/día)
9/11/2020	8:00 a.m.	1	182	4	0.02	1.90
	1:00 p.m.	2	187	4	0.02	1.85
	6:00 p.m.	3	191	4	0.02	1.81
10/11/2020	8:00 a.m.	1	185	4	0.02	1.87
	1:00 p.m.	2	191	4	0.02	1.81
	6:00 p.m.	3	179	4	0.02	1.93
11/11/2020	8:00 a.m.	1	169	4	0.02	2.04
	1:00 p.m.	2	191	4	0.02	1.81
	6:00 p.m.	3	180	4	0.02	1.92
12/11/2020	8:00 a.m.	1	177	4	0.02	1.95
	1:00 p.m.	2	190	4	0.02	1.82
	6:00 p.m.	3	187	4	0.02	1.85
13/11/2020	8:00 a.m.	1	178	4	0.02	1.94
	1:00 p.m.	2	181	4	0.02	1.91
	6:00 p.m.	3	192	4	0.02	1.80
PROMEDIO			**184**	**4**	**0.02**	**1.88**

Fuente: Elaboración Propia.

4.2. DISEÑO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL

El diseño del humedal estuvo en función a las recomendaciones sugeridas por la "Guía de depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales" de Oscar Delgadillo y otros (2010). Los pasos a seguir para el diseño del humedal son:

- Cálculo del área necesaria
- Profundidad del humedal (0.6 m)
- Pendiente (1%)
- Sustrato (Grava gruesa, fina y arena)
- Relación largo-ancho (2-1)

4.2.1. Cálculo de la constante de reacción de primer orden

El resultado se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$K_T = 1{,}104 * 1{,}06^{T_2-20}$$

$$K_T = 1{,}104 * 1{,}06^{32{,}2-20}$$

$$\boldsymbol{K_T = 2{,}25}$$

Donde:

K_T : constante de reacción de primer orden

T_2 : temperatura del agua (°C)

4.2.2. Cálculo del área superficial

El área superficial se calculó en función al parámetro contaminante que se desea remover, generalmente los diseños se realizan para disminuir la DBO_5, a través de la siguiente ecuación:

$$AS = \frac{Q * \ln(\frac{C_0}{C})}{K_T * h * \eta}$$

$$AS = \frac{1{,}88 * \ln(\frac{180}{20})}{2{,}25 * 0{,}6 * 0{,}36}$$

$$AS = \frac{4{,}13}{0{,}49}$$

$$\boldsymbol{AS = 8{,}43\ m^2}$$

Donde:

Q : caudal de diseño del humedal (m^3/día)

C : concentración del efluente (mg/L)

C_0 : concentración del afluente (mg/L)

K_T : constante de reacción de primer orden dependiendo de la temperatura (d^{-1})

h : profundidad del humedal (m)

η : porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción)

4.2.3. Relación Largo - Ancho

Se calculó el ancho del humedal considerando la Ley de Darcy, para flujo en medio poroso mediante la siguiente ecuación:

$$A_C = \frac{Q}{(K_S * S)}$$

$$A_C = \frac{1{,}88}{(500 * 0{,}01)}$$

$$\boldsymbol{A_C = 0{,}38\ m^2}$$

Donde:

A_C : área vertical (m^2)

Q : caudal medio (m^3/s)

K_S : conductividad hidráulica (m/s)

S : pendiente (m/m)

4.2.4. Cálculo del ancho del humedal

El ancho del humedal se determinó en función al área vertical y la profundidad del nivel de agua a tratar como se muestra en la siguiente ecuación:

$$W = \frac{A_C}{h}$$

$$W = \frac{0{,}38}{0{,}5}$$

$$\boldsymbol{W = 0{,}80\ m}$$

Donde:

A_C : área vertical (m^2)

h : profundidad del humedal (m)

4.2.5. Cálculo del largo del humedal

Para el cálculo del largo se utilizó lo recomendado por Oscar Delgadillo y otros (2010), la relación largo - ancho de: 2 – 1, es decir que el largo del humedal será el doble que su ancho.

$$L = 2W$$

$$L = 2 * 0{,}80$$

$$\boldsymbol{L = 1{,}60\ m}$$

4.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO

El análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (DBO_5, DQO, SST, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Aceites y Grasas, Turbiedad y Coliformes Termotolerantes), del afluente y efluente del sistema de tratamiento, fueron realizados por el Laboratorio Natura Analítica S.A.C., con RUC: 20600103661, el cual se encuentra acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Por otro lado, los parámetros fisicoquímicos (Temperatura y pH) fueron medidos en campo con los equipos de monitoreo (Multiparámetro HANNA, modelo HI 9813-6 y Oxímetro HANNA, modelo HI 9146) proporcionado por el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional de Ucayali (Ver Tabla 9).

Tabla 8. *Análisis fisicoquímico y microbiológico antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial*

Parámetro	Unidad	Pre-análisis	Post-análisis	LMP	Eficiencia de remoción (%)
Análisis Fisicoquímico					
Aceites y grasas	mg/L	53,33	11,83	20	78
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	179,95	39,75	100	78
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	273,53	79,50	200	71
Nitrógeno Total	mg/L	40,13	21,70	NE	46
Fósforo Total	mg/L	4,95	0,52	NE	90
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	384	126,83	150	67
Temperatura	°C	32,22	28,02	<35	
pH	Unidad de pH	6,26	7,07	6,5-8,5	
Análisis Microbiológico					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1.10E+05	1.09E+03	10000	99

NE: No Especifica

Fuente: Laboratorio Natura Analítica S.A.C.

4.3.1. Comparación de los parámetros analizados antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial con los Límites Máximos Permisibles

4.3.1.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

En la figura 9 podemos observar la diferencia existente de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial, siendo 179,95 mg/L el valor medio de ingreso del agua residual doméstica al humedal artificial; y 39,75 mg/L el valor medio de salida de dicha agua. Por lo tanto, la eficiencia de remoción de este parámetro fue del 78%, con un tiempo de retención de 15 días (Tabla 8). De esta manera, podemos constatar que la DBO_5 del efluente (salida) del sistema de tratamiento se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, el cual considera un valor máximo de 100 mg/L para efluentes de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas y Municipales.

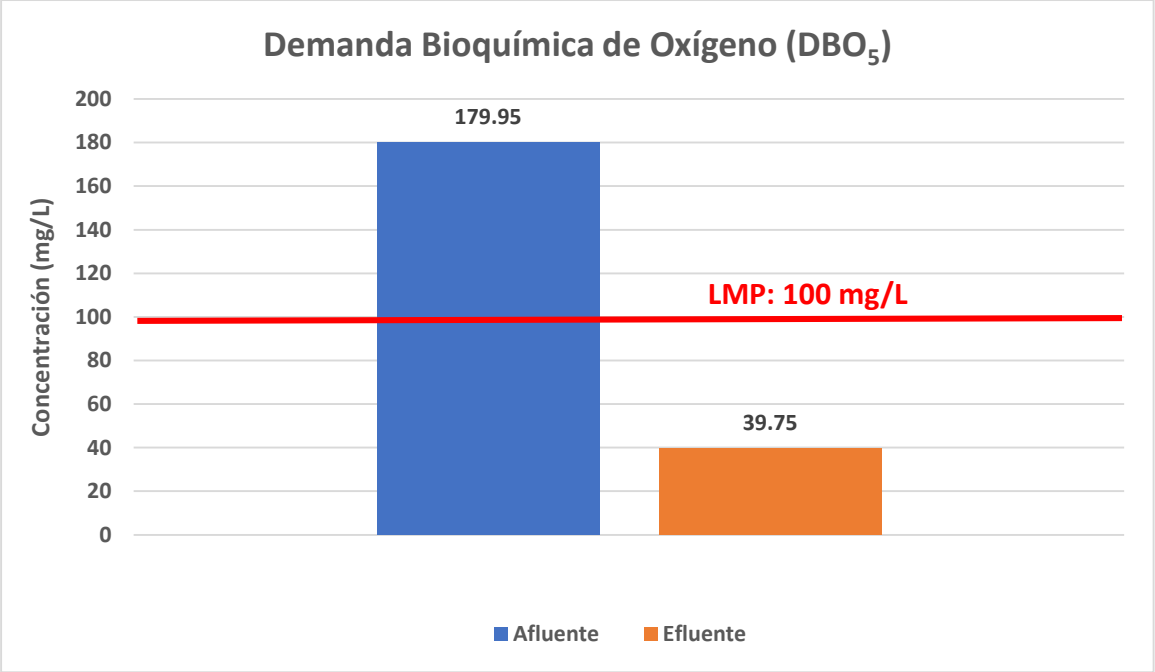


Figura 7. Comparación de promedios del parámetro DBO_5 (afluente y efluente) con los LMP.

Prueba de Shapiro – Wilk

Para poder brindar información confiable de la normalidad de datos se utilizó la prueba de Shapiro – Wilk, ya que es empleado para comprobar si los datos tienen una distribución normal.

Como podemos observar en la tabla 10, se tiene que el valor de la significancia es 0,749, siendo este mayor que el valor de la significancia con la que se está trabajando (0,05). Por lo tanto, se puede afirmar que los datos de la DBO_5 tienen una distribución normal.

Tabla 9. *Prueba de normalidad de datos del parámetro DBO_5*

Variable	Estadístico	gl	Sig.
DBO_5	0.951	6	0.749

Nivel de significancia > 0,05

Prueba de t student para muestras relacionadas

Para comparar si existe diferencia entre la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) antes y después del tratamiento, se realizó la prueba de dos medias de muestras asociado por par.

Para ello nos planteamos la siguiente hipótesis nula, H_0: Si existe diferencia significativa entre las medias de la DBO_5 antes y la DBO_5 después del tratamiento.

Como se puede apreciar en la Tabla 11, la media del afluente (antes) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) es 179,95 mg/L y una desviación estándar de 10,78. Una vez que el agua residual pasó por el sistema de tratamiento, se obtuvo una media del efluente (después) de 39,75 mg/L y una desviación estándar de 3,07. Con esto podemos deducir que el sistema de tratamiento mediante el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal tuvo una gran eficiencia del 78%, encontrándose de esa manera dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Tabla 10. *Estadísticas de muestras emparejadas de medias de la DBO_5 antes y después*

	Media	N	Desviación estándar	Desv. Error promedio
Antes	179.95	6	10.78	4.40
Después	39.75	6	3.07	1.25

En la Tabla 12 se observa el resumen de la prueba t student de muestras relacionadas de la DBO_5.

Tabla 11. *Prueba de muestras emparejadas de la DBO_5*

	Diferencias emparejadas					t	gl	P-Valor Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Antes - Después	140.20	9.93	4.05	129.78	150.62	34.599	5	0.000

Como el P-Valor calculado fue de 0,000; y es menor que α = 0,05, entonces podemos rechazar la hipótesis nula (H_0) e interpretando como la existencia de una diferencia altamente significativa entre la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) de las aguas residuales del afluente y el efluente mediante el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, existiendo mayor $DB0_5$ en el afluente o entrada del tratamiento.

La remoción de la DBO_5 se debe principalmente a la degradación biológica (aerobia, anaerobia y facultativa) de la materia orgánica por acción de los microorganismos adheridos (bacterias) en las raíces y rizomas de las plantas (Delgadillo et al., 2010), en este caso los juncos. Otra parte de la materia suspendida también es removida por la sedimentación que se debe a la baja velocidad del flujo y por el hecho de que el flujo es con frecuencia laminar en el humedal (Llagas & Guadalupe, 2006). Además, se da el proceso de filtración, donde la materia orgánica particulada es retenida cerca de la entrada de este tipo de humedales por el medio granular (grava y arena) (García & Corzo, 2008).

Los resultados obtenidos son contrastados por: Cantoral (2015), quien hizo su tesis de humedales artificiales con la especie *Cyperus alternifolius* para tratar aguas grises, obteniendo un porcentaje de remoción de 72,84% de DBO_5. Solís et al. (2016), construyeron un humedal artificial de flujo subsuperficial utilizando la especie *T. latifolia*, el cual redujo la DBO_5 de 398,5 mg/L a 36,2 mg/L con un tiempo de retención de 5 a 7 días. Rojas (2017), trató las aguas residuales domésticas de la comunidad Santa Rosa Bajo mediante humedales artificiales con la especie *Chrysopogon zizanioides*, cuyo porcentaje de remoción de la DBO_5 fue del 83,89%. Estos resultados coinciden con el porcentaje de remoción de la DBO_5 en la presente investigación independientemente del tipo de especie que se use.

4.3.1.2. Demanda química de oxígeno (DQO)

En la figura 10 podemos observar la diferencia existente de la demanda química de oxígeno (DQO) antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial, siendo 273,5 mg/L el valor medio de ingreso del agua residual doméstica al humedal artificial; y 79,5 mg/L el valor medio de salida de dicha agua. Por lo tanto, la eficiencia de remoción de este parámetro fue del 71%, con un tiempo de retención de 15 días (Tabla 8). De esta manera, podemos constatar que la DQO del efluente (salida) del sistema de tratamiento se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el Decreto Supremo N°

003-2010-MINAM, el cual considera un valor máximo de 200 mg/L para efluentes de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas y Municipales.

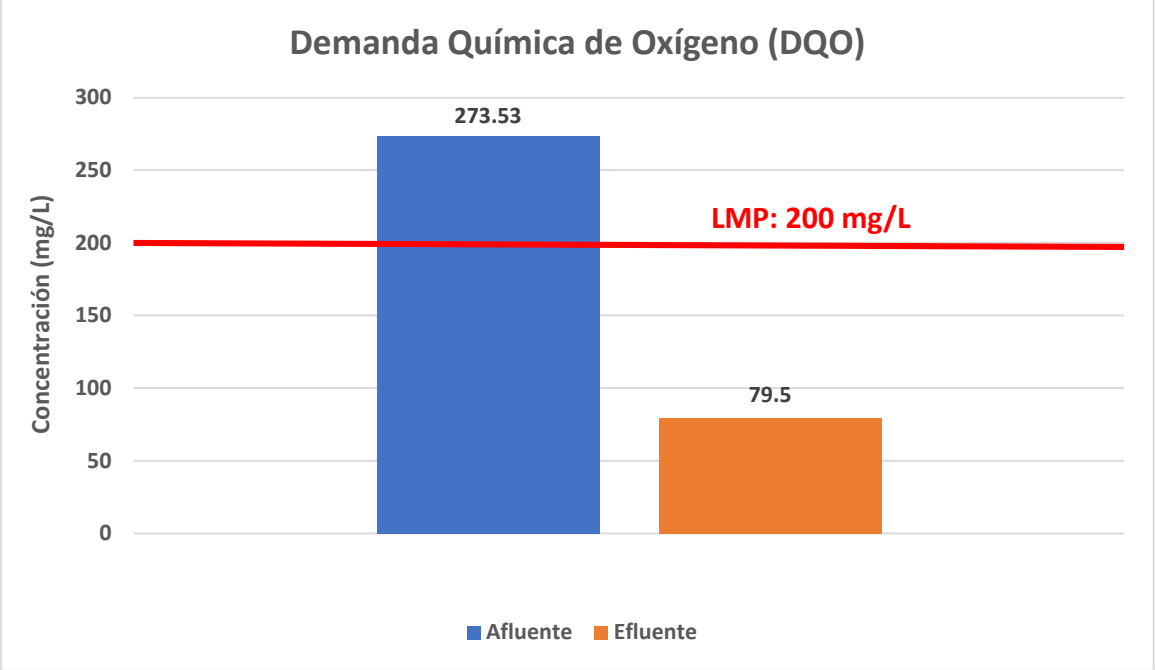


Figura 8. Comparación de promedios del parámetro DQO (afluente y efluente) con los LMP.

Como podemos observar en la tabla 13, se tiene que el valor de la significancia es 0,140, siendo este mayor que el valor de la significancia con la que se está trabajando (0,05). Por lo tanto, se puede afirmar que los datos de la DQO tienen una distribución normal.

Tabla 12. *Prueba de normalidad de datos del parámetro DQO*

Variable	Estadístico	gl	Sig.
DQO	0.844	6	0.140

Nivel de significancia > 0,05

Prueba de t student para muestras relacionadas

Para comparar si existe diferencia entre la demanda química de oxígeno (DQO) antes y después del tratamiento, se realizó la prueba de dos medias de muestras asociado por par.

Para ello nos planteamos la siguiente hipótesis nula, H_0: Si existe diferencia significativa entre las medias de la DQO antes y la DQO después del tratamiento.

Como se puede apreciar en la Tabla 14, la media del afluente (antes) de la demanda química de oxígeno (DQO) es 273,53 mg/L y una desviación estándar de 31,17. Una vez que el agua residual pasó por el sistema de tratamiento, se obtuvo una media del efluente (después) de 79,5 mg/L y una desviación estándar de 6,13. Con esto podemos deducir que el sistema de tratamiento mediante el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal tuvo una gran eficiencia del 71%, encontrándose de esa manera dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Tabla 13. *Estadísticas de muestras emparejadas de medias de la DQO antes y después*

	Media	N	Desviación estándar	Desv. Error promedio
Antes	273.53	6	31.17	12.73
Después	79.50	6	6.13	2.50

En la Tabla 15 se observa el resumen de la prueba t student de muestras relacionadas de la DQO.

Tabla 14. *Prueba de muestras emparejadas de la DQO*

	Diferencias emparejadas					t	gl	P-Valor Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Antes - Después	194.03	26.14	10.67	166.61	221.46	18.185	5	0.000

Como el valor P-Valor calculado fue de 0,000; y es menor que α = 0,05, entonces podemos rechazar la hipótesis nula (H_0) e interpretado como la existencia de una diferencia altamente significativa entre la demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas residuales del afluente y el efluente mediante el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, existiendo mayor DQO en el afluente o entrada del tratamiento.

La reducción de este parámetro se debe a la actividad biológica donde ocurren procesos químicos como la oxidación por microorganismos desnitrificadores en condiciones aerobias, los cuales descomponen todos los compuestos orgánicos reduciendo el oxígeno, convirtiéndolo en dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), donde una parte del CO_2 se va a la atmósfera y la otra parte es absorbida por los microorganismos para la síntesis de nuevas células, este proceso se debe principalmente de la disponibilidad de oxígeno disuelto, que es aportado por las plantas macrófitas (Arena & Nuncira, 2010).

Los resultados obtenidos son contrastados por: Romero et al. (2009), diseñaron un sistema de tratamiento por humedales artificiales con tres módulos; el primero con la especie *Phragmites australis,* el segundo con la especie *Thypa dominguensis* y el tercero con las dos especies; obtuvieron un porcentaje de remoción de la DQO del 95,73% con la especie *Thypa dominguensis*, siendo ésta la más eficiente. Cantoral (2015), quien hizo su tesis de humedales artificiales con

la especie *Cyperus alternifolius* para tratar aguas grises, obteniendo un porcentaje de remoción de 76,85% de DQO. Solís et al. (2016), construyeron un humedal artificial de flujo subsuperficial utilizando la especie *T. latifolia*, el cual redujo la DQO de 891 mg/L a 74 mg/L con un tiempo de retención de 5 a 7 días. Rojas (2017), trató las aguas residuales domésticas de la comunidad Santa Rosa Bajo mediante humedales artificiales con la especie *Chrysopogon zizanioides*, cuyo porcentaje de remoción de la DQO fue del 72,79%. Estos resultados coinciden con el porcentaje de remoción de la DBO_5 que se obtuvo en la presente investigación.

4.3.1.3. Aceites y grasas

En la figura 11 podemos observar la diferencia existente del parámetro Aceites y grasas antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial, siendo 53,33 mg/L el valor medio de ingreso del agua residual doméstica al humedal artificial; y 11,83 mg/L el valor medio de salida de dicha agua. Por lo tanto, la eficiencia de remoción de este parámetro fue del 78%, con un tiempo de retención de 15 días (Tabla 8). De esta manera, podemos constatar que el parámetro Aceites y grasas del efluente (salida) del sistema de tratamiento se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, el cual considera un valor máximo de 20 mg/L para efluentes de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas y Municipales.

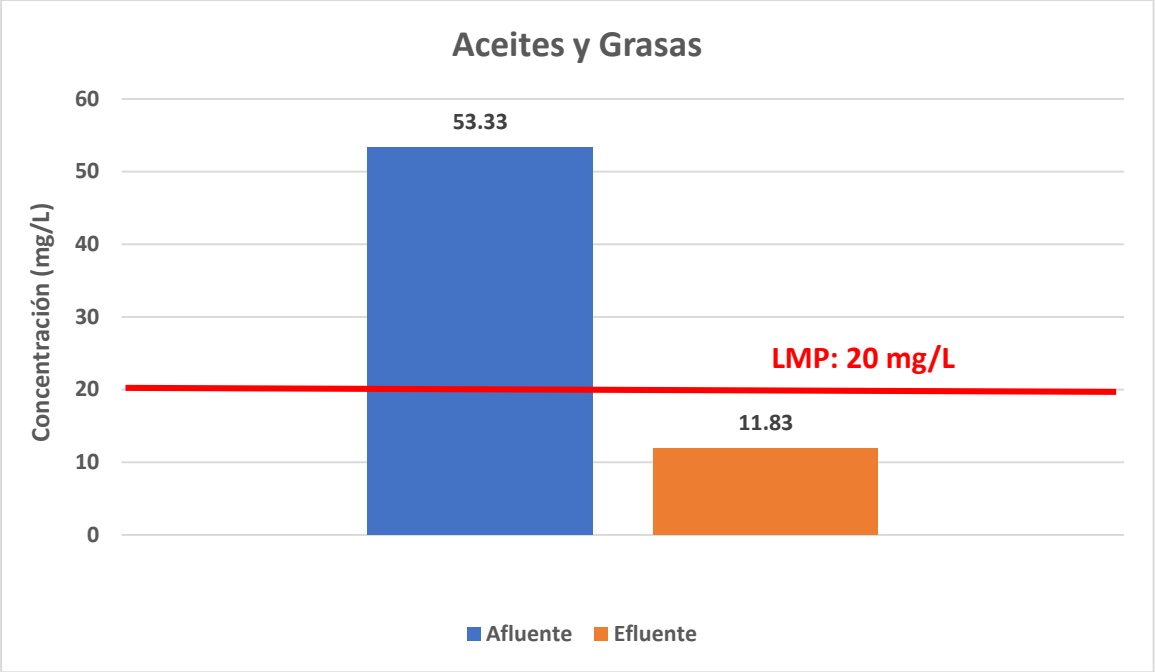


Figura 9. Comparación de promedios del parámetro Aceites y grasas (afluente y efluente) con los LMP.

Como podemos observar en la tabla 16, se tiene que el valor de la significancia es 0,934, siendo este mayor que el valor de la significancia con la que se está trabajando (0,05). Por lo tanto, se puede afirmar que los datos del parámetro Aceites y grasas tienen una distribución normal.

Tabla 15. *Prueba de normalidad de datos del parámetro Aceites y grasas*

Variable	Estadístico	gl	Sig.
Aceites y Grasas	0.934	6	0.614

Nivel de significancia > 0,05

Prueba de t student para muestras relacionadas

Para comparar si existe diferencia entre aceites y grasas antes y después del tratamiento, se realizó la prueba de dos medias de muestras asociado por par.

Para ello nos planteamos la siguiente hipótesis nula, H_0: Si existe diferencia significativa entre las medias de aceites y grasas antes y después del tratamiento.

Como se puede apreciar en la Tabla 17, la media del afluente (antes) de los Aceites y grasas es 53,33 mg/L y una desviación estándar de 5,54. Una vez que el agua residual pasó por el sistema de tratamiento, se obtuvo una media del efluente (después) de 11,83 mg/L y una desviación estándar de 1,47. Con esto podemos deducir que el sistema de tratamiento mediante el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal tuvo una gran eficiencia del 78%, encontrándose de esa manera dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Tabla 16. *Estadísticas de muestras emparejadas de medias de los Aceites y grasas antes y después*

	Media	N	Desviación estándar	Desv. Error promedio
Antes	53.33	6	5.54	2.26
Después	11.83	6	1.47	0.60

En la Tabla 18 se observa el resumen de la prueba t student de muestras relacionadas de los Aceites y grasas.

Tabla 17. *Prueba de muestras emparejadas de los Aceites y grasas*

	Diferencias emparejadas					t	gl	P-Valor Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Antes - Después	41.50	6.16	2.51	35.04	47.96	16.512	5	0.000

Como el valor P-Valor calculado fue de 0,000; y es menor que α = 0,05, entonces podemos rechazar la hipótesis nula (H_0) e interpretado como la existencia de una diferencia altamente significativa entre los Aceites y grasas de las aguas residuales del afluente y el efluente mediante el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, existiendo mayor Aceites y grasas en el afluente o entrada del tratamiento.

La mayor parte de remoción de éste parámetro se dio en el tratamiento primario (sedimentador), el cual funciona también como trampa de grasas, debido a que los aceites y grasas tienen menor densidad que el agua y por ende tienden a colocarse por encima de ésta, facilitando así su remoción de manera manual (Norma OS. 090, 2006).

Los resultados obtenidos son contrastados por Rojas (2017), quien trató las aguas residuales domésticas de la comunidad Santa Rosa Bajo mediante humedales artificiales con la especie *Chrysopogon zizanioides*, cuyo porcentaje de remoción de Aceites y grasas fue del 88,89%. Se puede decir que ambas investigaciones obtuvieron una alta remoción de Aceites y grasas.

4.3.1.4. Nitrógeno total

En la figura 12 podemos observar la diferencia existente del parámetro Nitrógeno total antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial, siendo 40,13 mg/L el valor medio de ingreso del agua residual doméstica al humedal artificial; y 21,7 mg/L el valor medio de salida de dicha agua. Por lo tanto, la eficiencia de remoción de este parámetro fue del 46%, con un tiempo de retención de 15 días (Tabla 8).

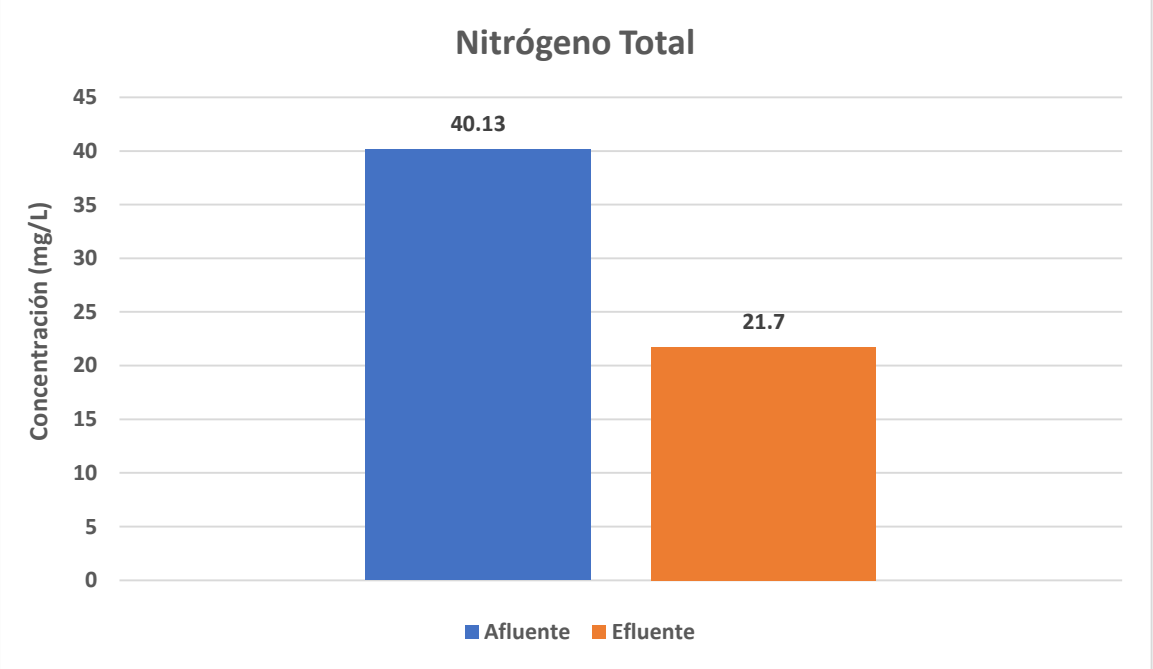


Figura 10. Comparación de promedios del parámetro Nitrógeno total antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial.

Como podemos observar en la tabla 19, se tiene que el valor de la significancia es 0,774, siendo este mayor que el valor de la significancia con la que se está trabajando (0,05). Por lo tanto, se puede afirmar que los datos del parámetro Nitrógeno total tienen una distribución normal.

Tabla 18. *Prueba de normalidad de datos del parámetro Nitrógeno total*

Variable	Estadístico	gl	Sig.
Nitrógeno Total	0.954	6	0.774

Nivel de significancia > 0,05

Prueba de t student para muestras relacionadas

Para comparar si existe diferencia entre el nitrógeno total antes y después del tratamiento, se realizó la prueba de dos medias de muestras asociado por par.

Para ello nos planteamos la siguiente hipótesis nula, H_0: Si existe diferencia significativa entre las medias de nitrógeno total antes y después del tratamiento.

Como se puede apreciar en la Tabla 20, la media del afluente (antes) del Nitrógeno Total es 40,13 mg/L y una desviación estándar de 4,36. Una vez que el agua residual pasó por el sistema de tratamiento, se obtuvo una media del efluente (después) de 21,7 mg/L y una desviación estándar de 1,59. Con esto podemos deducir que el sistema de tratamiento mediante el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal tuvo una gran eficiencia del 46%, encontrándose de esa manera dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Tabla 19. *Estadísticas de muestras emparejadas de medias del Nitrógeno total antes y después*

	Media	N	Desviación estándar	Desv. Error promedio
Antes	40.13	6	4.36	1.78
Después	21.70	6	1.59	0.65

En la Tabla 21 se observa el resumen de la prueba t student de muestras relacionadas del Nitrógeno total.

Tabla 20. *Prueba de muestras emparejadas del Nitrógeno total*

	Diferencias emparejadas					t	gl	P-Valor Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Antes - Después	18.43	5.46	2.23	12.70	24.17	8.265	5	0.000

Como el valor P-Valor calculado fue de 0,000; y es menor que α = 0,05, entonces podemos rechazar la hipótesis nula (H_0) e interpretado como la existencia de una diferencia altamente significativa entre el Nitrógeno total de las aguas residuales del afluente y el efluente mediante el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, existiendo mayor Nitrógeno total en el afluente o entrada del tratamiento.

La reducción del nitrógeno en el humedal se debe principalmente a la acción de la biopelícula microbiana, el cual consiste en la nitrificación seguida de la desnitrificación. Las bacterias nitrificantes convierten el nitrógeno amoniacal mediante oxidación a nitrito (NO_2^-) y posteriormente a nitrato (NO_3^-). Por otro lado, las bacterias desnitrificantes usan los productos de degradación orgánica como fuente de carbono y energía, y el nitrato como un aceptor de electrones, convirtiendo al nitrato en nitrógeno gaseoso (N_2), el cual sale del medio acuático a la atmósfera, siendo de esa forma removido. También hay otros procesos que influyen en la eliminación como la adsorción del amonio y la asimilación realizada por las macrófitas (Cárdenas & Sánchez, 2013).

Los resultados obtenidos son contrastados por: Solís et al. (2016), construyeron un humedal artificial de flujo subsuperficial utilizando la especie *T. latifolia*, el cual redujo el nitrógeno total de 73,7 mg/L a 25 mg/L con un tiempo de retención de 5 a 7 días. Romero et al. (2009), diseñaron un sistema de tratamiento por humedales artificiales con tres módulos; el primero con la especie *Phragmites australis,* el segundo con la especie *Thypa dominguensis* y el tercero con las dos especies; obtuvieron un porcentaje de remoción de nitrógeno del 45,46% con la especie *Thypa dominguensis*, siendo ésta la más eficiente.

4.3.1.5. Fósforo total

En la figura 13 podemos observar la diferencia existente del parámetro Fósforo total antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial, siendo 4,95 mg/L el valor medio de ingreso del agua residual doméstica al humedal artificial; y 0,52 mg/L el valor medio de salida de dicha agua. Por lo tanto, la eficiencia de remoción de este parámetro fue del 90%, con un tiempo de retención de 15 días (Tabla 8).

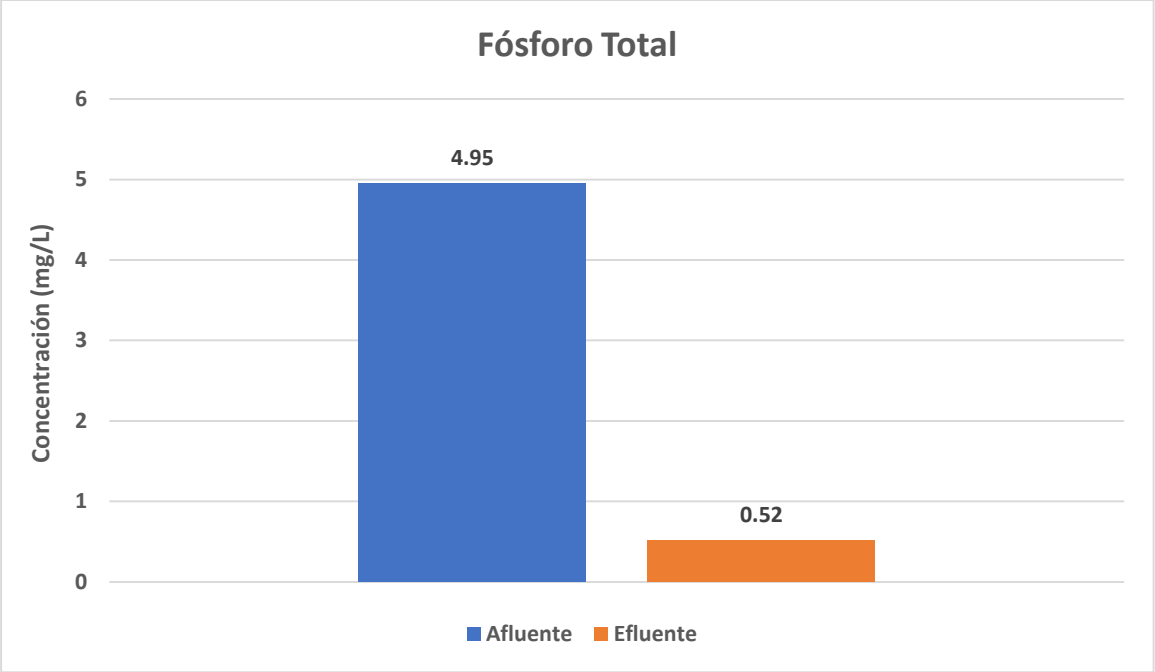


Figura 11. Comparación de promedios del parámetro Fósforo total antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial.

Como podemos observar en la tabla 22, se tiene que el valor de la significancia es 0,270, siendo este mayor que el valor de la significancia con la que se está trabajando (0,05). Por lo tanto, se puede afirmar que los datos del parámetro Fósforo total tienen una distribución normal.

Tabla 21. *Prueba de normalidad de datos del parámetro Fósforo total*

Variable	Estadístico	gl	Sig.
Fósforo Total	0.880	6	0.270

Nivel de significancia > 0,05

Prueba de t student para muestras relacionadas

Para comparar si existe diferencia entre el fósforo total antes y después del tratamiento, se realizó la prueba de dos medias de muestras asociado por par.

Para ello nos planteamos la siguiente hipótesis nula, H_0: Si existe diferencia significativa entre las medias de fósforo total antes y después del tratamiento.

Como se puede apreciar en la Tabla 23, la media del afluente (antes) del Fósforo total es 4,95 mg/L y una desviación estándar de 0,92. Una vez que el agua residual pasó por el sistema de tratamiento, se obtuvo una media del efluente (después) de 0,52 mg/L y una desviación estándar de 0,06. Con esto podemos deducir que el sistema de tratamiento mediante el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal tuvo una gran eficiencia del 90%, encontrándose de esa manera dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Tabla 22. *Estadísticas de muestras emparejadas de medias del Fósforo total antes y después*

	Media	N	Desviación estándar	Desv. Error promedio
Antes	4.95	6	0.92	0.38
Después	0.52	6	0.06	0.02

En la Tabla 24 se observa el resumen de la prueba t student de muestras relacionadas del Fósforo total.

Tabla 23. *Prueba de muestras emparejadas del Fósforo total*

	Diferencias emparejadas					t	gl	P-Valor Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Antes - Después	4.43	0.94	0.38	3.45	5.42	11.566	5	0.000

Como el valor P-Valor calculado fue de 0,000; y es menor que α = 0,05, entonces podemos rechazar la hipótesis nula (H_0) e interpretado como la existencia de una diferencia altamente significativa entre el Fósforo total de las aguas residuales del afluente y el efluente mediante el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, existiendo mayor Fósforo total en el afluente o entrada del tratamiento.

Los principales mecanismos de remoción del fósforo son del tipo biótico y abiótico. Los bióticos incluyen la asimilación por parte de las plantas y las bacterias. Por otra parte, los abióticos abarcan fundamentalmente la adsorción por el lecho filtrante (García & Corzo, 2008).

Los resultados obtenidos son contrastados por Romero et al. (2009), que diseñaron un sistema de tratamiento por humedales artificiales con tres módulos; el primero con la especie *Phragmites australis,* el segundo con la especie *Thypa dominguensis* y el tercero con las dos especies; obtuvieron un porcentaje de remoción de fósforo total del 40,35% con la especie *Thypa dominguensis*, siendo ésta la más eficiente.

4.3.1.6. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

En la figura 14 podemos observar la diferencia existente del parámetro Sólidos suspendidos totales antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial, siendo 384 mg/L el valor medio de ingreso del agua residual doméstica al humedal artificial; y 126,83 mg/L el valor medio de salida de dicha agua. Por lo tanto, la eficiencia de remoción de este parámetro fue del 67%, con un tiempo de retención de 15 días (Tabla 8). De esta manera, podemos constatar que el parámetro Sólidos suspendidos totales del efluente (salida) del sistema de tratamiento se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, el cual considera un valor máximo de 150 mg/L para efluentes de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas y Municipales.

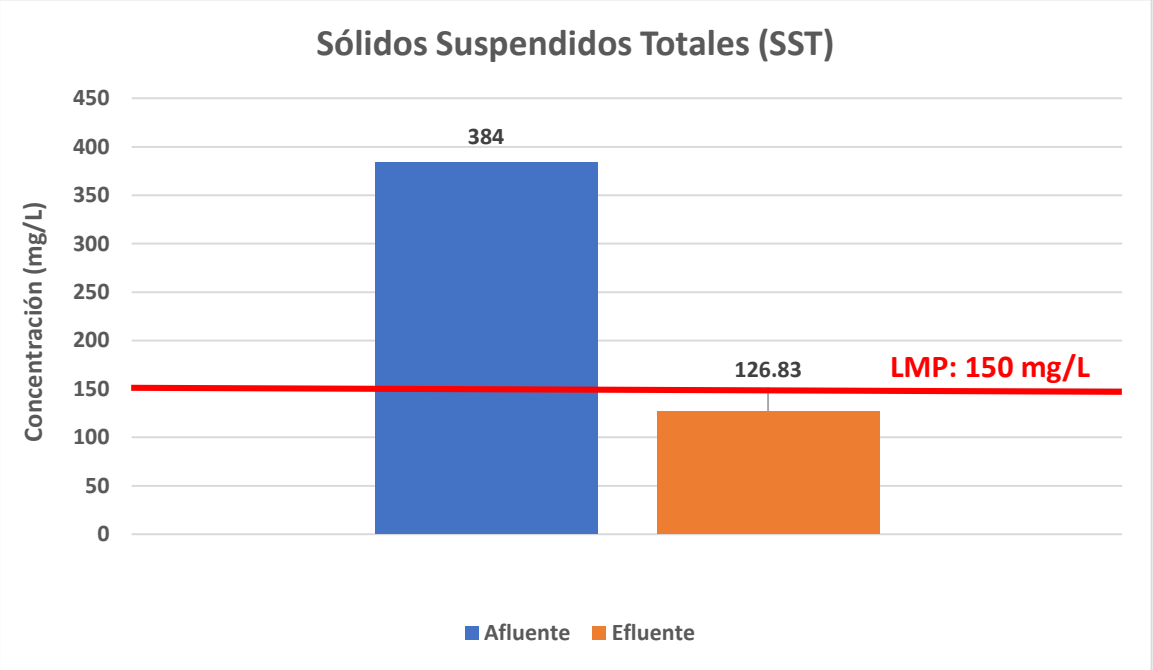


Figura 12. Comparación de promedios del parámetro SST (afluente y efluente) con los LMP.

Como podemos observar en la tabla 25, se tiene que el valor de la significancia es 0,485, siendo este mayor que el valor de la significancia con la

que se está trabajando (0,05). Por lo tanto, se puede afirmar que los datos del parámetro Sólidos Suspendidos Totales tienen una distribución normal.

Tabla 24. *Prueba de normalidad de datos del parámetro SST*

Variable	Estadístico	gl	Sig.
SST	0.917	6	0.485

Nivel de significancia > 0,05

Prueba de t student para muestras relacionadas

Para comparar si existe diferencia entre sólidos suspendidos totales (SST) antes y después del tratamiento, se realizó la prueba de dos medias de muestras asociado por par.

Para ello nos planteamos la siguiente hipótesis nula, H_0: Si existe diferencia significativa entre las medias de SST antes y después del tratamiento.

Como se puede apreciar en la Tabla 26, la media del afluente (antes) de los SST es 384 mg/L y una desviación estándar de 22,34. Una vez que el agua residual pasó por el sistema de tratamiento, se obtuvo una media del efluente (después) de 126,83 mg/L y una desviación estándar de 6,62. Con esto podemos deducir que el sistema de tratamiento mediante el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal tuvo una gran eficiencia del 67%, encontrándose de esa manera dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Tabla 25. *Estadísticas de muestras emparejadas de medias de los SST antes y después*

	Media	N	Desviación estándar	Desv. Error promedio
Antes	384.00	6	22.34	9.12
Después	126.83	6	6.62	2.70

En la Tabla 27 se observa el resumen de la prueba t student de muestras relacionadas de los SST.

Tabla 26. *Prueba de muestras emparejadas de los SST*

	Diferencias emparejadas					t	gl	P-Valor Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Antes - Después	257.17	18.06	7.37	238.21	276.12	34.880	5	0.000

Como el valor P-Valor calculado fue de 0,000; y es menor que α = 0,05, entonces podemos rechazar la hipótesis nula (H_0) e interpretado como la existencia de una diferencia altamente significativa entre SST de las aguas residuales del afluente y el efluente mediante el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, existiendo mayor SST en el afluente o entrada del tratamiento.

El principal proceso de remoción de los SST es la sedimentación, los cuales son removidos la mayor parte en el tratamiento primario (sedimentador) por gravedad. Según la OS.090, recomienda un período de retención de 2 horas para un porcentaje de remoción del 53% de SST. Lo que resta de estos sólidos es

removido por el humedal mediante los procesos de filtración y sedimentación, debido a que las raíces de las plantas macrófitas y el lecho filtrante disminuyen la velocidad del agua favoreciendo ambos procesos (García & Corzo, 2008).

Los resultados obtenidos son contrastados por: Cantoral (2015), quien hizo su tesis de humedales artificiales con la especie *Cyperus alternifolius* para tratar aguas grises, obteniendo un porcentaje de remoción de 79,68% de SST. Solís et al. (2016), construyeron un humedal artificial de flujo subsuperficial utilizando la especie *T. latifolia*, el cual redujo los SST de 295,3 mg/L a 61 mg/L con un tiempo de retención de 5 a 7 días. Rojas (2017), trató las aguas residuales domésticas de la comunidad Santa Rosa Bajo mediante humedales artificiales con la especie *Chrysopogon zizanioides*, cuyo porcentaje de remoción de SST fue del 95,51%. Estos resultados coinciden con el porcentaje de remoción de SST que se obtuvieron en la presente investigación.

4.3.1.7. Potencial de hidrógeno (pH)

En la figura 15 podemos observar la diferencia existente del pH antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial, siendo 6,26 unidad de pH el valor medio de ingreso del agua residual doméstica al humedal artificial; y 7,07 unidad de pH el valor medio de salida de dicha agua. Por lo tanto, el aumento de este parámetro fue de 0,8 unidades de pH, con un tiempo de retención de 15 días (Tabla 8). De esta manera, podemos constatar que el parámetro pH del efluente (salida) del sistema de tratamiento se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, el cual considera un valor entre 6,5-8,5 unidad de pH para efluentes de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas y Municipales.

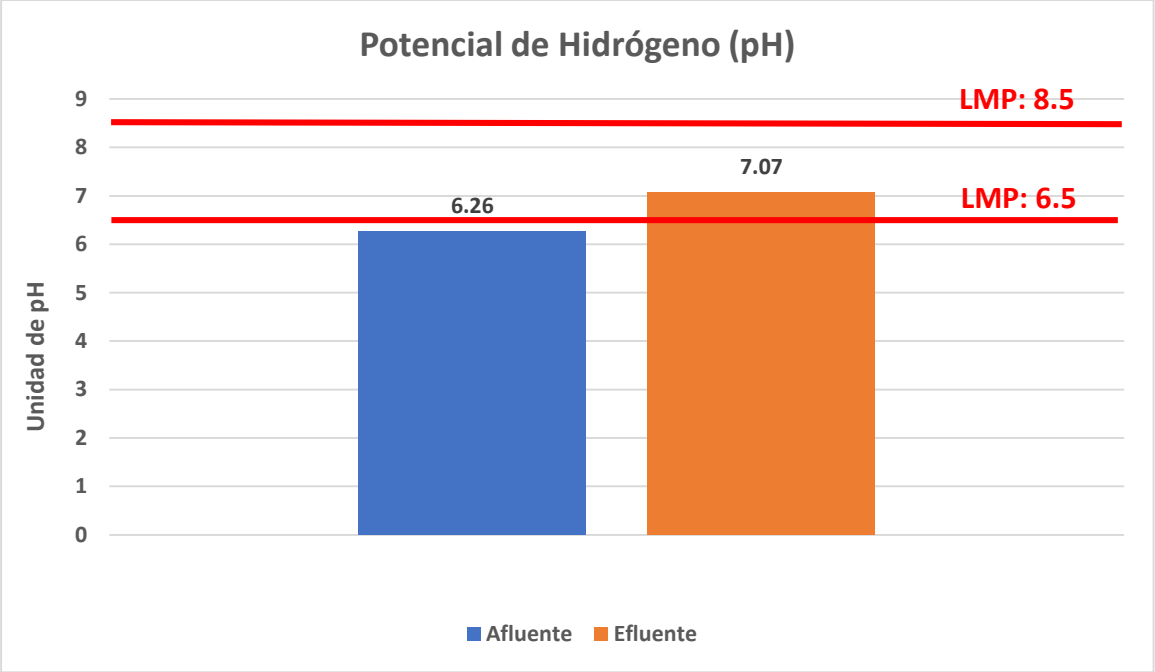


Figura 13. Comparación de promedios del parámetro pH (afluente y efluente) con los LMP.

Como podemos observar en la tabla 28, se tiene que el valor de la significancia es 0,939, siendo este mayor que el valor de la significancia con la que se está trabajando (0,05). Por lo tanto, se puede afirmar que los datos del parámetro pH tienen una distribución normal.

Tabla 27. *Prueba de normalidad de datos del parámetro pH*

Variable	Estadístico	gl	Sig.
pH	0.978	6	0.939

Nivel de significancia > 0,05

Prueba de t student para muestras relacionadas

Para comparar si existe diferencia entre pH antes y después del tratamiento, se realizó la prueba de dos medias de muestras asociado por par.

Para ello nos planteamos la siguiente hipótesis nula, H_0: Si existe diferencia significativa entre las medias de pH antes y después del tratamiento.

Como se puede apreciar en la Tabla 29, la media del afluente (antes) del pH es 6,26 unidades y una desviación estándar de 0,23. Una vez que el agua residual pasó por el sistema de tratamiento, se obtuvo una media del efluente (después) de 7,07 unidades y una desviación estándar de 0,19. Con esto podemos deducir que el sistema de tratamiento mediante el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal tuvo una gran eficiencia, encontrándose de esa manera dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Tabla 28. *Estadísticas de muestras emparejadas de medias del pH antes y después*

	Media	N	Desviación estándar	Desv. Error promedio
Antes	6.26	6	0.23	0.09
Después	7.07	6	0.19	0.08

En la Tabla 30 se observa el resumen de la prueba t student de muestras relacionadas del pH.

Tabla 29. *Prueba de muestras emparejadas del pH*

	Diferencias emparejadas					t	gl	P-Valor Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Antes - Después	-0.81	0.36	0.15	-1.19	-0.43	-5.504	5	0.003

Como el valor P-Valor calculado fue de 0,003; y es menor que α = 0,05, entonces podemos rechazar la hipótesis nula (H_0) e interpretado como la existencia de una diferencia altamente significativa entre pH de las aguas residuales del afluente y el efluente mediante el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, existiendo mayor pH en el afluente o entrada del tratamiento.

El aumento del pH es causado principalmente por el lecho filtrante (grava y arena) que se utilizó, ya que ésta aporta gran cantidad de alcalinidad al agua en forma de iones carbonato y/o bicarbonato, influyendo de esa manera en el valor del pH (Bernal, y otros, 2003).

Los resultados obtenidos son contrastados por: Solís et al. (2016), construyeron un humedal artificial de flujo subsuperficial utilizando la especie *T. latifolia*, el cual redujo el pH de 7,22 unidades a 7 unidades con un tiempo de retención de 5 a 7 días. Rojas (2017), trató las aguas residuales domésticas de la comunidad Santa Rosa Bajo mediante humedales artificiales con la especie *Chrysopogon zizanioides*, cuyo porcentaje de remoción de pH fue del 47%. Estos resultados se asemejan a lo obtenido en la presente investigación.

4.3.1.8. Temperatura

En la figura 16 podemos observar la diferencia existente de la Temperatura antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial, siendo 32,22 °C el valor medio de ingreso del agua residual doméstica al humedal artificial; y 28,02 °C el valor medio de salida de dicha agua. Por lo tanto, la reducción de este parámetro fue de 4,2 °C, con un tiempo de retención de 15 días (Tabla 8). De esta manera, podemos constatar que la Temperatura del efluente (salida) del sistema de tratamiento se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, el cual considera un valor de <35 °C para efluentes de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas y Municipales.

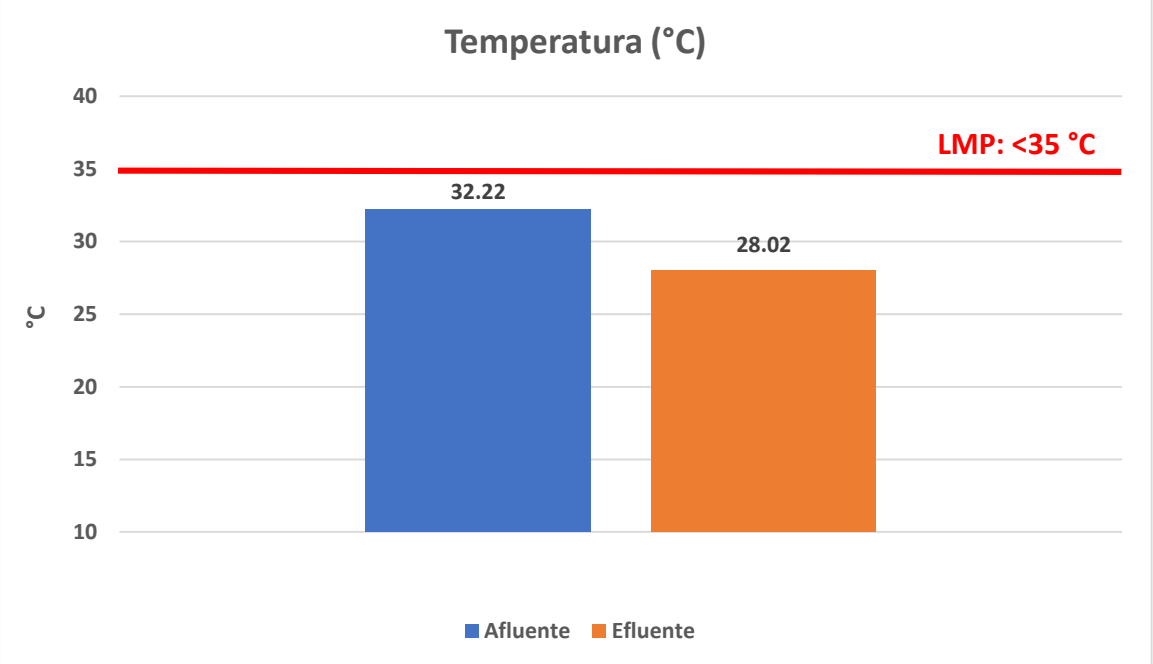


Figura 14. Comparación de promedios del parámetro Temperatura (afluente y efluente) con los LMP.

Como podemos observar en la tabla 31, se tiene que el valor de la significancia es 0,960, siendo este mayor que el valor de la significancia con la

que se está trabajando (0,05). Por lo tanto, se puede afirmar que los datos del parámetro Temperatura tienen una distribución normal.

Tabla 30. *Prueba de normalidad de datos del parámetro Temperatura*

Variable	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura	0.982	6	0.960

Nivel de significancia > 0,05

Prueba de t student para muestras relacionadas

Para comparar si existe diferencia entre la Temperatura antes y después del tratamiento, se realizó la prueba de dos medias de muestras asociado por par.

Para ello nos planteamos la siguiente hipótesis nula, H_0: Si existe diferencia significativa entre las medias de la Temperatura antes y después del tratamiento.

Como se puede apreciar en la Tabla 32, la media del afluente (antes) de la Temperatura es 32,22 °C y una desviación estándar de 0,44. Una vez que el agua residual pasó por el sistema de tratamiento, se obtuvo una media del efluente (después) de 28,02 °C y una desviación estándar de 0,73. Con esto podemos deducir que el sistema de tratamiento mediante el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal tuvo una gran eficiencia, encontrándose de esa manera dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Tabla 31. *Estadísticas de muestras emparejadas de medias de la Temperatura antes y después*

	Media	N	Desviación estándar	Desv. Error promedio
Antes	32.22	6	0.44	0.18
Después	28.02	6	0.73	0.30

En la Tabla 33 se observa el resumen de la prueba t student de muestras relacionadas de la Temperatura.

Tabla 32. *Prueba de muestras emparejadas de la Temperatura*

	Diferencias emparejadas					t	gl	P-Valor Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Antes - Después	4.20	0.99	0.40	3.16	5.24	10.392	5	0.000

Como el valor P-Valor calculado fue de 0,000; y es menor que α = 0,05, entonces podemos rechazar la hipótesis nula (H_0) e interpretado como la existencia de una diferencia altamente significativa entre la temperatura de las aguas residuales del afluente y el efluente mediante el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, existiendo mayor temperatura en el afluente o entrada del tratamiento.

La temperatura tanto del afluente (32,2 °C) como del efluente (28 °C) se encuentra dentro de los LMP. Según (Romero J. , 2004), la temperatura debe encontrarse en los rangos de 12 °C a 35 °C para que haya un óptimo crecimiento

de bacterias nitrificantes, desnitrificantes y degradadoras de materia orgánica y favorecer los procesos biológicos.

Los resultados obtenidos son contrastados por Rojas (2017), quien trató las aguas residuales domésticas de la comunidad Santa Rosa Bajo mediante humedales artificiales con la especie *Chrysopogon zizanioides*, cuya temperatura media del efluente fue de 22°C, asemejándose a lo obtenido en la presente investigación.

4.3.1.9. Coliformes termotolerantes

En la figura 21 podemos observar la diferencia existente del parámetro Coliformes termotolerantes antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedal artificial, siendo 110 000 NMP/100 mL el valor medio de ingreso del agua residual doméstica al humedal artificial; y 1 085 NMP/100 mL el valor medio de salida de dicha agua. Por lo tanto, la eficiencia de remoción de este parámetro fue del 99%, con un tiempo de retención de 15 días (Tabla 8). De esta manera, podemos constatar que la concentración de Coliformes Termotolerantes del efluente (salida) del sistema de tratamiento se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, el cual considera un valor máximo de 10 000 NMP/100 mL para efluentes de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas y Municipales.

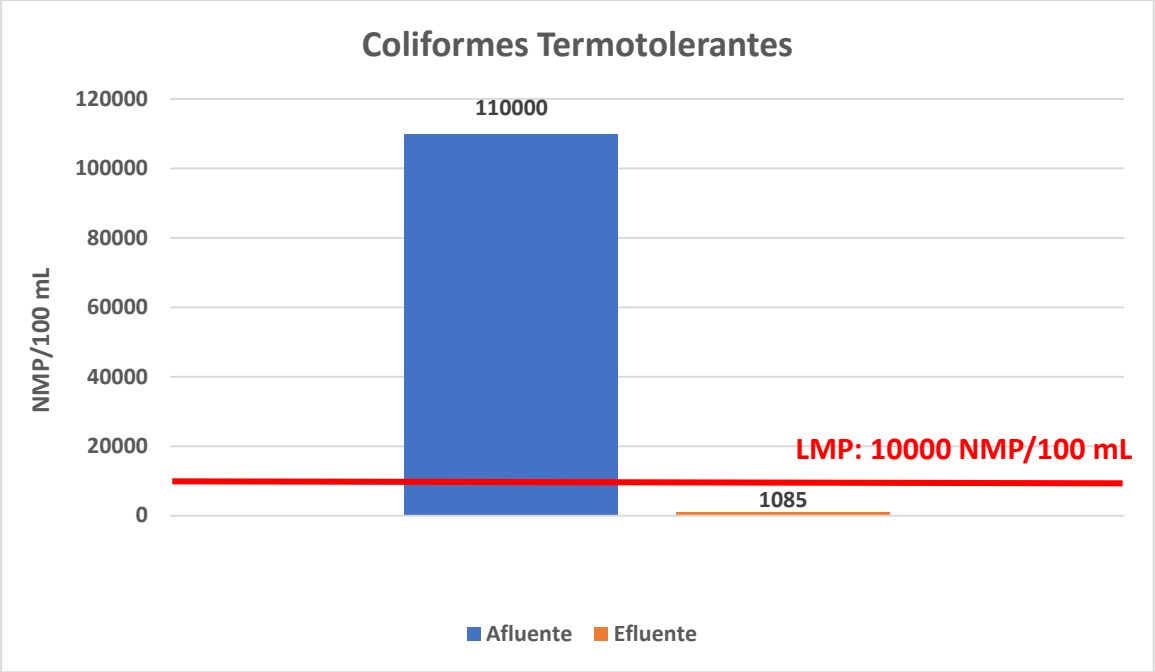


Figura 15. Comparación de promedios del parámetro Coliformes termotolerantes (afluente y efluente) con los LMP.

Como podemos observar en la tabla 34, se tiene que el valor de la significancia es 0,252, siendo este mayor que el valor de la significancia con la que se está trabajando (0,05). Por lo tanto, se puede afirmar que los datos del parámetro Coliformes termotolerantes tienen una distribución normal.

Tabla 33. *Prueba de normalidad de datos del parámetro Coliformes termotolerantes*

Variable	Estadístico	gl	Sig.
pH	0.876	6	0.252

Nivel de significancia > 0,05

Prueba de t student para muestras relacionadas

Para comparar si existe diferencia entre Coliformes termotolerantes antes y después del tratamiento, se realizó la prueba de dos medias de muestras asociado por par.

Para ello nos planteamos la siguiente hipótesis nula, H_0: Si existe diferencia significativa entre las medias de Coliformes termotolerantes antes y después del tratamiento.

Como se puede apreciar en la Tabla 35, la media del afluente (antes) de los Coliformes termotolerantes es 110000 NMP/100 mL y una desviación estándar de 8366,6. Una vez que el agua residual pasó por el sistema de tratamiento, se obtuvo una media del efluente (después) de 1085 NMP/100 mL y una desviación estándar de 167,18. Con esto podemos deducir que el sistema de tratamiento mediante el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal tuvo una gran eficiencia del 99%, encontrándose de esa manera dentro de los Límites Máximos Permisibles que establece el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Tabla 34. *Estadísticas de muestras emparejadas de medias de los Coliformes termotolerantes antes y después*

	Media	N	Desviación estándar	Desv. Error promedio
Antes	110000.00	6	8366.60	3415.65
Después	1085.00	6	167.18	68.25

En la Tabla 36 se observa el resumen de la prueba t student de muestras relacionadas de los Coliformes termotolerantes.

Tabla 35. *Prueba de muestras emparejadas de los Coliformes termotolerantes*

	Diferencias emparejadas					t	gl	P-Valor Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Antes - Después	108915.00	8426.62	3440.15	100071.80	117758.20	31.660	5	0.000

Como el valor P-Valor calculado fue de 0,000; y es menor que α = 0,05, entonces podemos rechazar la hipótesis nula (H_0) e interpretado como la existencia de una diferencia altamente significativa entre coliformes termotolerantes de las aguas residuales del afluente y el efluente mediante el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, existiendo mayor coliformes termotolerantes en el afluente o entrada del tratamiento.

Los procesos preponderantes en la eliminación de los Coliformes termotolerantes incluyen una combinación de factores fisicoquímicos y bilógicos como son la adsorción, sedimentación, filtración, radiación UV, depredación, etc. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

Los resultados obtenidos son contrastados por Rojas (2017), quien trató las aguas residuales domésticas de la comunidad Santa Rosa Bajo mediante humedales artificiales con la especie *Chrysopogon zizanioides*, cuyo porcentaje de remoción fue del 99,99% de Coliformes Termotolerantes. Este resultado coincide con lo obtenido en la presente investigación.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El sistema demostró una alta eficiencia en la remoción de la $DB0_5$ y Aceites y grasas con un 78%; DQO con un 71%; Nitrógeno Total con un 46%; Fósforo Total con un 90%; Sólidos Suspendidos Totales (SST) con un 67%; Coliformes Termotolerantes con un 99%; también, se obtuvo un pH neutro de 7,1 y una temperatura de 28 °C.

- Se diseñó el sistema de tratamiento de humedal artificial, para lo cual se trabajó con el caudal promedio de 1,88 m^3/día, la DBO_5 del afluente (180 mg/L) y Temperatura (32,2 °C), los cuales permitieron dimensionar el humedal artificial con un largo de 1,60 m, un ancho de 0,80 m, una altura de 0,60 m y se consideró una pendiente del 1%.

- El *Eleocharis palustris* (Junco de agua) se adaptó fácilmente al humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, esto fue debido a que la investigación se llevó a cabo en temporada de verano y dicha especie se adapta muy bien a climas cálidos.

- Se comparó las medias de los parámetros con los LMP. La $DB0_5$ (39,8 mg/L) < 100 mg/L; DQO (79,5 mg/L) < 200 mg/L; Aceites y Grasas (12 mg/L) < 20 mg/L; SST (127 mg/L) < 150 mg/L; Coliformes Termotolerantes (1085 NMP/100 mL) < 10000 NMP/100 mL; Temperatura (28 °C) < 35 °C; y pH (7,1 unidades) está entre 6,5 - 8,5.

- Los parámetros químicos Nitrógeno total y Fósforo total no se especifican dentro la normativa en cuestión, pero de igual manera tuvieron una sustancial remoción, en cuanto al Nitrógeno total se redujo de 40,1 mg/L a 21,7 mg/L, y el Fósforo total de 4,95 mg/L a 0,52 mg/L.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para saber con más precisión el porcentaje de remoción de contaminantes de la especie de macrófita (junco de agua) usada para la investigación, es imprescindible construir otro sistema de tratamiento similar al humedal artificial, pero sin las plantas macrófitas, que funcionen únicamente como filtro (grava y arena), al mismo tiempo y bajo las mismas condiciones.

- Se recomienda ejecutar la investigación en temporada de invierno para observar y analizar el comportamiento del sistema de tratamiento mediante el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, frente a bajas temperaturas y de esa manera comprobar si la eficiencia de remoción que tiene con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos cumplen con los Límites Máximos Permisibles.

- Para optimizar el proceso de adsorción del lecho filtrante, se recomienda lavar las gravas antes de ser colocadas al humedal, esto con el fin de evitar colmatación e interferencia de sales en los procesos.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Arce, J. (2011). Optimización del sistema de alcantarillado y selección del sistema de tratamiento de aguas residuales más favorable para el Recinto Buijo histórico del Cantón Samborondón. *(Tesis de Grado).* Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil.

Arias, C., & Brix, H. (Julio de 2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*(13), 17-24. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101302

Arias, Ó. (2004). Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial. *(Tesina).* Universitat Politécnica de Catalunya, Barcelona. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3339/34461-7.pdf?sequence=7&isAllowed=y

Asto, J., Bellota, E., & Olivera, E. (2009). *Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales.* Lima. Obtenido de https://es.slideshare.net/vandick2011/tratamientodeaguasresidualesmediantehumedalesartificiales

Bernal, F., Mosquera, D., Maury, H., González, D., Guerra, R., Pomare, A., & Silva, M. (2003). Humedales Artificiales para el Tratamiento de las Aguas Residuales en la Coorporación Universitaria de la Costa. *Universidad del Valle*, 149-155. Obtenido de file:///C:/Users/ACER/AppData/Local/Temp/silo.tips_humedales-artificiales-para-el-tratamiento-de-las-aguas-residuales-en-la-corporacion-universitaria-de-la-costa.pdf

Biswas, A. (2010). Cambiar el paisaje global de la gestión del agua. *Revista Mexicana*, 12-15. Obtenido de http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4033/000003573T-AMBIENTAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Burciaga, M. (2009). USO DE HUMEDALES COMO ALTERNATIVA EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LACTEA. *(Tesis de Maestría).* Instituto Politécnico Nacional, México.

Cárdenas, G., & Sánchez, I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud, 15*(1), 72-88. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007

cardenas, j., perez, a., vela, d., & suarez, c. (s.f.). dosis de metales. *diario abc*.

Carta del Agua, Consejo de Europa. (1968). *Carta Europea del Agua.* Estrasburgo.

DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM. (2010, 17 de marzo). *Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.* Lima: El Peruano. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Deperuación de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Cochabamba, Bolivia: Nelson Antequera Durán. Obtenido de http://www.centro-agua.umss.edu.bo/wp-content/uploads/2011/12/2010_delgadilloyotros_depuracin%20de%20aguas%20residuales%20por%20medio%20de%20humedales%20aritficiales_finalc.pdf

Díaz, E., Alvarado, A., & Camacho, K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del. *Quivera, XIV*(1), 78-97. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf

Espigares, M., & Pérez, J. (2005). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas.* Granada: Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada. 1985.

Estrada, I. (2010). *Monografía sobre humedales artiicialesde flujo subsuperficial (HAFSS) .* Pereira, Colombia.

Fazlolahi, H., & Slamian, S. (25 de Agosto de 2014). Using wetland plants in nutrient removal from municipal wastewater. *Hydrology Science and Technology, 4*(1), 68-80. Obtenido de https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJHST.2014.064407

Fernández Gonzáles, J., De Miguel Beascoechea, E., De Miguel Muñoz, J., & Curt Fernández de la Mora, M. (2005). *Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrófitas en Flotación.* Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Fernández, E. (Octubre de 2010). Proyecto Ejecutivo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Localidad de Xochiapa. *(Tesis de pregrado).* Universidad Veracruzana-Xalapa, Xalapa-Enríquez. Obtenido de SCRIBD: file:///C:/Users/Acer/Downloads/290072623-tesis-de-muestreo.pdf

Fernández, J., Beascoechea, E., Muñoz, J., & Curt, M. (2005). *Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrófitas en Flotación.* Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Fernández, J., De Miguel, E., De Miguel, J., & Fernández, M. (2005). *Manual de fitodepuracion. Filtros de macrofitas en flotación.* Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Frers, C. (2008). El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. *Observatorio Medioambiental, 11*, 301-305. Obtenido de file:///C:/Users/ACER/AppData/Local/Temp/22465-Texto%20del%20art%C3%ADculo-22484-1-10-20110607.PDF

García, E. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas.* Granada: Universidad de Granada.

García, J., & Corzo, A. (2008). *Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Expltación de Sistemas de Humeales de Flujo Subsuperficial.* Catalunya, España: Universidad Politécnica de Catalunya. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia_and_ACorzo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García, Z. (2012). COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE TRES PLANTAS ACUÁTICAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. *(Tesis de Título de Ingeniero).* Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Haber, R., Grego, S., Langergraber, G., Kadlec, R., Cicalini, A., Martins, S., . . . Hebner, A. (2003). Constructed Wetlands for the Treatment of Organic Pollutants. *Soils & Sediments, 3*(2), 109-124. Obtenido de https://docplayer.es/55241768-Universidad-peruana-union.html

Haro, M., & Aponte, N. (2010). Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular. *(Tesina).* Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México. Obtenido de

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/HARO%20y%20APONTE%202010.%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20humedal%20artificial.pdf

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2010). *Metodología de la Investigación* (Quinta ed.). México D.F: Mc Graw-Hill. Obtenido de https://upvv.clavijero.edu.mx/cursos/LEB0742/documentos/Metodologiadelainvestigacion.pdf

Hoffman, M. (2013). *Nutrient Removal in Natural Swimming Pools: a Mass Balance Analysis.*

Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., & Muench, E. (2011). *Revisón Técnica de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas.* Eschborn: Rotaria del Perú SAC. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/HOFFMANN%20et%20al%202011.%20Revisi%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20de%20Humedales%20Artifi_0.pdf

Hua, C., Kamil, M., Shutes, B., Chye, S., & Mansor, M. (10 de Marzo de 2007). Nutrient removal in a pilot and full scale constructed wetland. *Journal of Environmental Management, 88*, 307-317. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479707001089

Karathanasis, A., Potter, C., & Coyne, M. (Mayo de 2003). Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater. *Ecological Engineering, XX*(2), 157-159.

Lahora, A. (2001). DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTEHUMEDALES ARTIFICIALES. 99-112. Obtenido de https://scholar.google.com.pe/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&q=+Depuraci%C3%B3n+de+aguas+residuales+mediante+humedales+artificiales&btnG=

Lara, J. (1999). Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. *(Tesis para optar el grado de Máster).* Instituto Catalán de Tecnología y Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Obtenido de https://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2015/09/humedales-artificiales.pdf

Llagas, W., & Guadalupe, E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, XV*(17), 85-96. Obtenido de https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/699/552

Luna, V., & Aburto, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 32-55.

Manual de Depuración de aguas residuales urbanas. (2008). *Manual de Depuración de aguas residuales urbanas.* Zaragoza, España: ideasamares. Obtenido de https://docplayer.es/55241768-Universidad-peruana-union.html

Martelo, J., & Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniría y Ciencia, 8(15)*, 221-243.

Martelo, J., & Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia, ing. cienc., 8*(5), 221-243. Obtenido de http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf

Masters. (2008). *Introducción a la Ingeniería Ambiental.* Madrid, España: Pearson Educación S.A.

MINAM. (2009). *Manual para municipios ecoeficientes.* Lima, Perú: ENOTRIA S.A. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf

MINAQUA. (2013). *Demonstration project for water in car premises using innovative detergents and soft treatment systems.* Report on the most suitable technologies.

Ministerio de Vivienda, C. y. (24 de Octubre de 2013). Protocolo de Monitoreo de la Clidad de los Efluentes de las PTAR. *El Peruano*.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas resdiduales domesticas o municipales.* Lima: OMA.

Municipalidad Provincial de Coronel Portillo. (2010). *Plan de Desarrollo Concertado Provincial de Coronel Portillo 2009-2021.* Pucallpa.

Norma OS. 090. (23 de Mayo de 2006). Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Reglamento Nacional de Edificaciones. *El Peruano*.

Norma OS. 090. (23 de Mayo de 2006). Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Reglamento Nacional de Edificaciones. *El Peruano*, pág. 4.

Norma OS.090. (2015). *Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.* Lima.

Núñez, R. (2016). Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal, mediante la especie macrófita emergente Cyperus Papyrus. *Universidad Peruana Unión*, 142-157.

Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R., & Olguín, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia-Academia Mexicana de Ciencias, 55*(3), 69-83. Obtenido de http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf

Ocola, J. J. (2005). *Protección del agua-Vigilancia y control de vertimientos-PAVER.* Lima, Perú.

OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.* Lima, Perú: Billy Víctor Odiaga Franco. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827#:~:text=Fiscalizaci%C3%B3n%20ambiental%20en%20sentido%20amplio,el%20cumplimiento%20de%20obligaciones%20ambientales

Ohio, D. (26 de Mayo de 2006). Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlandsfor On-Site Wastewater Treatment. *Environmental Health*. Obtenido de https://scholar.google.com.pe/scholar?q=Horizontal+subsurface+flow+constructed+wetlands+for+on-site++wastewater+treatment&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart

ONU-HABITAT. (2008). *Manual de Humedales Artificiales.* Katmandú, Nepal: Programa agua para ciudades asiáticas de ONU-HABITAT. Obtenido de file:///D:/Humedales%20Artificiales/67745515-Manual-Humedales-2.pdf

Orozco, M. (2010). *EFECTIVIDAD EN LA REMOCIÓN DE ORGANISMOS PATÓGENOS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS UTILIZANDO HUMEDALES*

CONSTRUIDOS CON DIFERENTE TIPOS DE FLUJOS. Trabajo de Grado, UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA, Pereira. Obtenido de http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1687/628162O74.pdf?sequence=1

Pérez, M. (7 de Enero de 2013). *Eleocharis palustris*. Obtenido de Botánica y jardínes.com: http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/2394

Ramos, C. (2008). Aguas residuales generadas en hospitales. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL, XXIX*(2), 56-60. Obtenido de https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/130/129

Rivas, A., & Paredes, D. (2014). *Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua* (Vol. 2). Morelia, Michoacán, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, MéxicoCoordinación de Tratamiento y Calidad del Agua. Obtenido de https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/sistemas-de-humedales/files/assets/common/downloads/publication.pdf

Rodríguez, H. (2017). *iAgua*. Obtenido de iAgua: https://www. iagua. es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectoscontaminantes.

Rodríguez, N. (2009). Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizandomacrófitas acuáticas. *(Tesis Doctoral).* Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Obtenido de https://pdfs.semanticscholar.org/859e/3e23d49349dc40abccff91938af3828cb939.pdf

Rojas, R. (2002). *Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Curso internacional "Gestión integral de tratamiento de aguas residuales".* Lima, Perú: OPS.

Rojas, R. (2013). *Guía para realizar Investigaciones Sociales.* (Novena a trigésima octava ed.). México D.F: Plaza y Valdés S.A. Obtenido de https://raulrojassoriano.com/cuallitlanezi/wp-content/themes/raulrojassoriano/assets/libros/guia-realizar-investigaciones-sociales-rojas-soriano.pdf

Romero, J. (1999). *Calidad del agua.* México, D.F: Alfaomega.

Romero, J. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales* (Tercera ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. Obtenido de file:///D:/Humedales%20Artificiales/359898671-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-J-Romero-pdf.pdf

Salas, J., Pidre, J., & Cuenca, I. (2008). *Manual de Tecnologías no Convencionales para la depuración de aguas residuales.* Andalicía, España. Obtenido de https://docplayer.es/55241768-Universidad-peruana-union.html

Seoánez, M. (2005). *Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo.* Madrid: S.A. MUNDI-PRENSA LIBROS .

Shapiro, S., & Wilk, M. (Diciembre de 1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika Trust, 52*(3/4), 591-611. Obtenido de http://webspace.ship.edu/pgmarr/Geo441/Readings/Shapiro%20and%20Wilk%201965%20-%20An%20Analysis%20of%20Variance%20Test%20for%20Normality.pdf

Sierra, O., & López, G. (Enero de 2013). Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales. *Revista de Divulgación, XIX*(36), 47-55. Obtenido de http://ri.ujat.mx/bitstream/20.500.12107/2325/1/-337-260-A.pdf

Silva, J. (2008). *Humedales Construidos.* Cali, Colombia.

Stearman, G. (Julio de 2003). Pesticide Removal from Container Nursery Runoff in Constructed Wetland Cells. *Journal of Environmental Quality Abstract, 32*(4), 1548-1556. Obtenido de https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/32/4/1548

Torres, P. (2012). Perspectiva del tratamiento anaeróbico de aguas residuales domésticas en pasíses desarrollados. *UAEM Redalyc.org*, 116.

Vymazal, J., & Kropfelova, L. (2008). *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow.* Praga: Springer. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=IfqerCqRvg8C&oi=fnd&pg=PR11&dq=Wastewater+Treatment+in+Constructed+Wetlands+with++Horizontal+Sub-Surface+Flow&ots=rwwm3mPxYh&sig=nPcupVtnEcVmo98kErqF66zNDZ8#v=onepage&q=Wastewater%20Treatment%20in%20Construct

Wetzel, R. (1993). *Constructed wetlands. Scientific foundations are critical.*

ANEXOS

Anexo 1. Iconografía

Preparación del terreno para la instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.





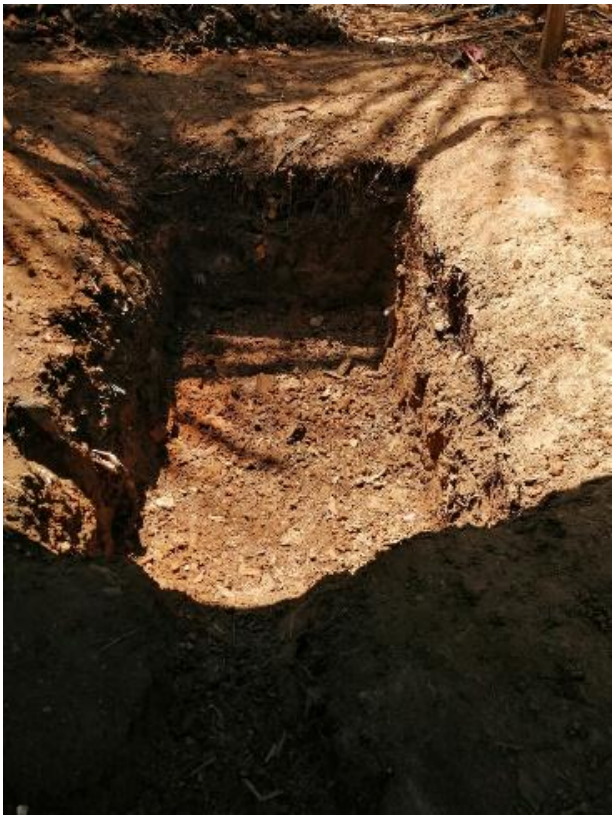


Excavación del terreno para la instalación de tuberías y el humedal.









Materiales utilizados para el sistema de tratamiento.







Instalación del sedimentador y las tuberías.









Colocación del material impermeable del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.







Lavado y colocación del lecho filtrante (grava y arena) al humedal artificial.







Recolección y colocación de las plantas macrófitas (juncos de agua) al humedal artificial.









Medición del caudal promedio del afluente por medio del método volumétrico.









Toma de muestras de agua residual de la salida del sedimentador con los protocolos de seguridad que exige la normativa R.M. 273-2013-VIVIENDA.














Afluente
17/11/2020
8:30 a.m
01 l
Afluente
MB
17/11/2020
8.00 a.m
01 l
Afluente
DBO5
17/11/2020
8:00 a.m
01 l
REDMI NOTE 9
AI QUAD CAMERA

Equipos de monitoreo de agua (Multiparámetro HANNA, modelo HI 9813-6 y Oxímetro HANNA, modelo HI 9146).





Monitoreo in situ del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.














REDMI NOTE 9
AI QUAD CAMERA

Toma de muestras de agua residual de la salida del humedal artificial (efluente) con los protocolos de seguridad que establece la normativa R.M. 273-2013-VIVIENDA.








REDMI NOTE 9
AI QUAD CAMERA


REDMI NOTE 9
AI QUAD CAMERA


REDMI NOTE 9
AI QUAD CAMERA


REDMI NOTE 9
AI QUAD CAMERA

Anexo 2. Formatos de campo

Formato N° 1: Ubicación del punto de monitoreo

Título del Proyecto: *"EVALUACIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN UNA VIVIENDA DEL AA.HH 9 DE OCTUBRE, PUCALLPA".*			
Nombre de PTAR: *SISTEMA DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL*			
Ubicación de PTAR:			
Localidad	Distrito	Provincia	Departamento
AA.HH 9 DE OCTUBRE	*CALLERÍA*	*CORONEL PORTILLO*	*UCAYALI*
IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO			
AFLUENTE			
Denominación del punto de muestreo (afluente)	*SEDIMENTADOR*		
COORDENADAS U.T.M. (WGS84)			
Norte	Este	Zona UTM	Altitud
9072111 m	*549827 m*	*18 L*	*154 m.s.n.m*
CAUDAL DE OPERACIÓN (promedio diario)	*0,02 L/s*	**Método de medición**	*VOLUMÉTRICO*
EFLUENTE			
Denominación del punto de muestreo (efluente)	EFLUENTE DEL HUMEDAL ARTIFICIAL		
COORDENADAS U.T.M. (WGS84)			
Norte	Este	Zona UTM	Altitud
9072115 m	*549825 m*	*18 L*	*154 m.s.n.m*
CAUDAL DE OPERACIÓN (promedio diario)	*0,05 L/s*	**Método de medición**	*VOLUMÉTRICO*

Miércoles, 2 de diciembre del 2020

Paima Chuquipiondo, Daniel

Gratelly Pinedo, Wilder Eugenio

Responsables de la PTAR

Formato N° 2: Cadena de Custodia.

Nombre de la PTAR:																
Muestra No.	Afluente	Efluente	Fecha	Hora toma de muestra	Tipo de frasco	Volumen	Reactivos preservación	Parámetro a ser medido								Observaciones
								AyG	DBO	DQO	SST	CTT				
Hora de entrega al medio de transporte																

Responsable de la PTAR			Operador del muestreo			Custodio de la muestra			Recepción en laboratorio				
Nombre y apellidos	Institu-ción	Firma	Nombre y apellidos	Institu ción	Firma	Nombre y apellidos	Institu ción	Firma	Nombre y apellidos	Institu ción	Firma	Hora	Fecha

Formato N° 3: Etiqueta para muestras de agua residual.

Nombre de la PTAR:	
Denominación del punto de monitoreo (afluente o efluente):	
No. de muestra(orden de toma de muestra)	
Fecha y hora	
Ensayo físico químico	☐ DBO ☐ DQO ☐ AyG ☐ SST
Ensayo microbiológico	☐ CTT
Otros parámetros	
Otros parámetros	
Preservación	
Operador del muestreo	

Formato N° 4: Monitoreo y muestreo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

	TIEMPO DE MUESTREO / PARÁMETRO		T°	pH	SST	Aceites y Grasas	DBO5	DQO	Nitrógeno Total	Fósforo Total	Coliformes Termotolerantes
	Fecha	Hora	°C	Unidad de pH	ppm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100 mL
MUESTREO (AFLUENTE)	16/11/2020	8:00 a. m.	32.2	6.2	400	55	182.5	243.3	41.8	5.95	100000
		5:00 p. m.	32.3	6.55	358	49	167.3	226.1	37.1	4.01	115000
	18/11/2020	8:00 a. m.	31.5	6.3	396	47	195	301.7	45	6.2	110000
		5:00 p. m.	32	6.15	366	50	174.5	285	40.2	4.43	100000
	20/11/2020	8:00 a. m.	32.5	5.9	414	58	189.1	297.4	43.5	4.9	120000
		5:00 p. m.	32.8	6.45	370	61	171.3	287.7	33.2	4.21	115000
	PROMEDIO (AFLUENTE)		**32.22**	**6.26**	**384**	**53.33**	**179.95**	**273.53**	**40.13**	**4.95**	**110000**
TIEMPO DE RETENCIÓN	21/11/2020	8:00 a. m.	31.6	6.5	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	30.2	6.7	-	-	-	-	-	-	-
	22/11/2020	8:00 a. m.	29.1	6.75	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	28.9	6.8	-	-	-	-	-	-	-
	23/11/2020	8:00 a. m.	29	6.9	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	29.3	6.9	-	-	-	-	-	-	-
	24/11/2020	8:00 a. m.	28	6.95	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	28.6	6.8	-	-	-	-	-	-	-
	25/11/2020	8:00 a. m.	28.7	6.9	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	28.3	7	-	-	-	-	-	-	-
	26/11/2020	8:00 a. m.	27.1	6.9	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	27	7.1	-	-	-	-	-	-	-
	27/11/2020	8:00 a. m.	28.2	7.1	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	27.9	7.15	-	-	-	-	-	-	-
	28/11/2020	8:00 a. m.	28.1	6.9	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	27.8	7	-	-	-	-	-	-	-
	29/11/2020	8:00 a. m.	27.4	7.2	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	27.9	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	30/11/2020	8:00 a. m.	28.1	7.1	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	28	7	-	-	-	-	-	-	-
	1/12/2020	8:00 a. m.	27.4	7	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	27.6	7.1	-	-	-	-	-	-	-
	2/12/2020	8:00 a. m.	27.5	7.15	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	27.6	7	-	-	-	-	-	-	-
	3/12/2020	8:00 a. m.	27.5	7.1	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	27.3	7.15	-	-	-	-	-	-	-
	4/12/2020	8:00 a. m.	27.3	7.2	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	27.1	7.1	-	-	-	-	-	-	-
	5/12/2020	8:00 a. m.	27.1	7.15	-	-	-	-	-	-	-
		5:00 p. m.	27	7.2	-	-	-	-	-	-	-
MUESTREO (EFLUENTE)	6/12/2020	8:00 a. m.	28.4	7.25	136	11	37.6	75.2	20	0.56	1200
		5:00 p. m.	27.5	7.4	121	12	35.1	70.2	21.5	0.61	1100
	8/12/2020	8:00 a. m.	28	7.35	126	14	42.3	84.6	19.7	0.49	1350
		5:00 p. m.	29.2	7.4	118	11	43.5	87	22.4	0.5	1000
	10/12/2020	8:00 a. m.	27.1	7.45	131	10	39.8	79.6	23	0.44	950
		5:00 p. m.	27.9	7.5	129	13	40.2	80.4	23.6	0.51	910
	PROMEDIO (EFLUENTE)		**28**	**7.07**	**126.83**	**11.83**	**39.75**	**79.50**	**21.70**	**0.52**	**1085**

Anexo 3. Certificados de análisis del afluente.

Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS Nº 2020.11.15

SOLICITANTE	DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO
DNI	76317659
DIRECCIÓN	Jr. Huancavelica 662 - Pucallpa
MUESTRA	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FORMA Y PRESENTACIÓN	02 Botellas de plástico con tapa hermética, 01 botella de vidrio con tapa hermética y 01 botella de vidrio oscuro/ámbar con tapa hermética
CANTIDAD RECIBIDA	4 L. aprox
CÓDIGO DE MUESTRA	2020.11.15
BASE TÉCNICA	DECRETO SUPREMO Nº 003-2010-MINAM
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2020-11-16
COLECTOR	El Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADOS	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
FECHA INICIO DE ENSAYO	2020-11-16
FECHA TÉRMINO DE ENSAYO	2020-11-25
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	2020-11-26

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
pH	---	SM 4500H+B	6.2	6.5 – 9.0
TURBIEDAD	NTU	SM 2130 B	52.57	NE
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	SM 2540 D	400	150
NITRÓGENO	mg/l	Kjeldah	41.8	NE
FÓSFORO	mg/l	Espectrofotométrico	5.95	NE
ACEITES Y GRASAS	mg/l	EPA 1664 B	55	20
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5)	mg/l	SM 5210 B	182.5	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/l	SM 5220 A	243.3	200

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
BACTERIAS HETEROTRÓFICAS	UFC/ml	Recuento en placas	2.7×10^3	NE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	SM 9221 B	5.4×10^3	NE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES[1]	NMP/100ml	SM 9221 E	1×10^5	NE

LMP: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
NE: No especifica

GERENCIA TÉCNICA Natura Analítica S.A.C.

NATURA ANALITICA SAC.
Blgo. Alcides E. Castillo Quezada
LABORATORIO CLINICO Y ANALISIS BIOLOGICO

1 de 1

Av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060
E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com
Natura Analítica
@laborator@natura

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS Nº 2020.11.17

SOLICITANTE	DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO
DNI	76317659
DIRECCIÓN	Jr. Huancavelica 662 - Pucallpa
MUESTRA	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FORMA Y PRESENTACIÓN	02 Botellas de plástico con tapa hermética, 01 botella de vidrio con tapa hermética y 01 botella de vidrio oscuro/ámbar con tapa hermética
CANTIDAD RECIBIDA	4 L. aprox
CÓDIGO DE MUESTRA	2020.11.17
BASE TÉCNICA	DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2020-11-18
COLECTOR	El Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADOS	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
FECHA INICIO DE ENSAYO	2020-11-18
FECHA TÉRMINO DE ENSAYO	2020-11-27
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	2020-11-28

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
pH	---	SM 4500H+B	6.55	6.5 – 9.0
TURBIEDAD	NTU	SM 2130 B	96.8	NE
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	SM 2540 D	358	150
NITRÓGENO	mg/l	Kjeldah	37.1	NE
FÓSFORO	mg/l	Espectrofotométrico	4.01	NE
ACEITES Y GRASAS	mg/l	EPA 1664 B	49	20
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5)	mg/l	SM 5210 B	167.3	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/l	SM 5220 A	226.1	200

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
BACTERIAS HETEROTRÓFICAS	UFC/ml	Recuento en placas	2×10^3	NE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	SM 9221 B	5×10^3	NE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES[G]	NMP/100ml	SM 9221 E	1.15×10^5	1×10^4

LMP: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
NE: No especifica

NATURA ANALITICA SAC.
Blgo. Alcides E. Castillo Quezada
ESP. LABORATORIO CLINICO Y ANALISIS BROMATOLOGICO

1 de 1

GERENCIA TÉCNICA
Natura Analítica S.A.C.

Jr. Ucayali Nº 503 PUCALLPA teléfono: 576060
E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com
Natura Analítica

Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS Nº 2020.11.19

SOLICITANTE	DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO
DNI	76317659
DIRECCIÓN	Jr. Huancavelica 662 - Pucallpa
MUESTRA	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FORMA Y PRESENTACIÓN	02 Botellas de plástico con tapa hermética, 01 botella de vidrio con tapa hermética y 01 botella de vidrio oscuro/ámbar con tapa hermética
CANTIDAD RECIBIDA	4 L. aprox
CÓDIGO DE MUESTRA	2020.11.19
BASE TÉCNICA	DECRETO SUPREMO Nº 003-2010-MINAM
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2020-11-20
COLECTOR	El Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADOS	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
FECHA INICIO DE ENSAYO	2020-11-20
FECHA TÉRMINO DE ENSAYO	2020-11-29
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	2020-11-30

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
pH	---	SM 4500H+B	6.3	6.5 – 9.0
TURBIEDAD	NTU	SM 2130 B	85 .12	NE
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	SM 2540 D	396	150
NITRÓGENO	mg/l	Kjeldah	45	NE
FÓSFORO	mg/l	Espectrofotométrico	6.2	NE
ACEITES Y GRASAS	mg/l	EPA 1664 B	47	20
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5)	mg/l	SM 5210 B	195	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/l	SM 5220 A	301. 7	200

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
BACTERIAS HETEROTRÓFICAS	UFC/ml	Recuento en placas	2.2×10^3	NE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	SM 9221 B	5.1×10^3	NE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES[G]	NMP/100ml	SM 9221 E	1.1×10^5	1×10^4

LMP: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
NE: No especifica

GERENCIA TÉCNICA Natura Analítica S.A.C.

NATURA ANALITICA SAC.
Blgo. Alcides E. Castillo Quezada
CBP. LABORATORIO CLÍNICO Y ANÁLISIS BIOLÓGICO

1 de 1

Av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060
E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com
Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS Nº 2020.11.21

SOLICITANTE	DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO
DNI	76317659
DIRECCIÓN	Jr. Huancavelica 662 - Pucallpa
MUESTRA	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FORMA Y PRESENTACIÓN	02 Botellas de plástico con tapa hermética, 01 botella de vidrio con tapa hermética y 01 botella de vidrio oscuro/ámbar con tapa hermética
CANTIDAD RECIBIDA	4 L. aprox
CÓDIGO DE MUESTRA	2020.11.21
BASE TÉCNICA	DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2020-11-22
COLECTOR	El Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADOS	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
FECHA INICIO DE ENSAYO	2020-11-22
FECHA TÉRMINO DE ENSAYO	2020-12-01
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	2020-12-02

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
pH	---	SM 4500H+B	6.15	6.5 – 9.0
TURBIEDAD	NTU	SM 2130 B	8 7. 3	NE
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	SM 2540 D	366	150
NITRÓGENO	mg/l	Kjeldah	40.2	NE
FÓSFORO	mg/l	Espectrofotométrico	4.43	NE
ACEITES Y GRASAS	mg/l	EPA 1664 B	50	20
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5)	mg/l	SM 5210 B	1 74.5	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/l	SM 5220 A	285	200

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
BACTERIAS HETEROTRÓFICAS	UFC/ml	Recuento en placas	2.5×10^3	NE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	SM 9221 B	5.6×10^3	NE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES[G]	NMP/100ml	SM 9221 E	1×10^5	1×10^4

LMP: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
NE: No específica

NATURA ANALITICA SAC.
Blgo. Alcides Castillo Quezada
EAP. LABORATORIO CLINICO Y ANALISIS BIOLOGICO

GERENCIA TÉCNICA
Natura Analítica S.A.C.

1 de 1

Av. Centenario Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060
E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com
Natura Analítica
@laboratorionatura

Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS Nº 2020.11.23

SOLICITANTE	DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO
DNI	76317659
DIRECCIÓN	Jr. Huancavelica 662 - Pucallpa
MUESTRA	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FORMA Y PRESENTACIÓN	02 Botellas de plástico con tapa hermética, 01 botella de vidrio con tapa hermética y 01 botella de vidrio oscuro/ámbar con tapa hermética
CANTIDAD RECIBIDA	4 L. aprox
CÓDIGO DE MUESTRA	2020.11.23
BASE TÉCNICA	DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2020-11-24
COLECTOR	El Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADOS	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
FECHA INICIO DE ENSAYO	2020-11-24
FECHA TÉRMINO DE ENSAYO	2020-12-03
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	2020-12-04

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
pH	---	SM 4500H+B	5.9	6.5 – 9.0
TURBIEDAD	NTU	SM 2130 B	91	NE
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	SM 2540 D	414	150
NITRÓGENO	mg/l	Kjeldah	43.5	NE
FÓSFORO	mg/l	Espectrofotométrico	4.9	NE
ACEITES Y GRASAS	mg/l	EPA 1664 B	58	20
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5)	mg/l	SM 5210 B	189.1	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/l	SM 5220 A	297.4	200

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
BACTERIAS HETEROTRÓFICAS	UFC/ml	Recuento en placas	2.4×10^3	NE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	SM 9221 B	5.3×10^3	NE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES[1]	NMP/100ml	SM 9221 E	1.2×10^5	1×10^4

LMP: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
NE: No especifica

NATURA ANALITICA SAC.
Blgo. Alcides E. Castillo Quezada
ESP. LABORATORIO CLINICO Y ANALISIS BIOLOGICO

GERENCIA TÉCNICA
Natura Analítica S.A.C.

Jr. Ramírez Prado 503 PUCALLPA teléfono: 576060
E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com
Natura Analítica
Laboratorio Natura

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661
SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS Nº 2020.11.25

SOLICITANTE	DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO
DNI	76317659
DIRECCIÓN	Jr. Huancavelica 662 - Pucallpa
MUESTRA	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FORMA Y PRESENTACIÓN	02 Botellas de plástico con tapa hermética, 01 botella de vidrio con tapa hermética y 01 botella de vidrio oscuro/ámbar con tapa hermética
CANTIDAD RECIBIDA	4 L. aprox
CÓDIGO DE MUESTRA	2020.11.25
BASE TÉCNICA	DECRETO SUPREMO Nº 003-2010-MINAM
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2020-11-26
COLECTOR	El Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADOS	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
FECHA INICIO DE ENSAYO	2020-11-26
FECHA TÉRMINO DE ENSAYO	2020-12-05
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	2020-12-06

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
pH	---	SM 4500H+B	6.45	6.5 – 9.0
TURBIEDAD	NTU	SM 2130 B	78. 4	NE
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	SM 2540 D	3 70	150
NITRÓGENO	mg/l	Kjeldah	33.2	NE
FÓSFORO	mg/l	Espectrofotométrico	4.21	NE
ACEITES Y GRASAS	mg/l	EPA 1664 B	61	20
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5)	mg/l	SM 5210 B	1 71.3	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/l	SM 5220 A	28 7. 7	200

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
BACTERIAS HETEROTRÓFICAS	UFC/ml	Recuento en placas	2.3×10^3	NE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	SM 9221 B	5.5×10^3	NE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES[G]	NMP/100ml	SM 9221 E	1.15×10^5	1×10^4

LMP: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
NE: No especifica

GERENCIA TÉCNICA Natura Analítica S.A.C.

NATURA ANALITICA SAC.
Blgo. Alcides E. Castillo Quezada
CBP. LABORATORIO CLINICO Y ANALISIS BIOLOGICO

Av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060
E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com
Natura Analítica

Anexo 4. Certificados de análisis del efluente.

Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS Nº 2020.12 .06

SOLICITANTE	DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO
DNI	76317659
DIRECCIÓN	Jr. Huancavelica 662 - Pucallpa
MUESTRA	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FORMA Y PRESENTACIÓN	02 Botellas de plástigo con tapa hermética, 01 botella de vidrio con tapa hermética y 01 botella de vidrio oscuro/ámbar con tapa hermética
CANTIDAD RECIBIDA	4 L. aprox
CÓDIGO DE MUESTRA	2020.12.0 6
BASE TÉCNICA	DECRETO SUPREMO Nº 003-2010-MINAM
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2020-12- 0 7
COLECTOR	El Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADOS	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
FECHA INICIO DE ENSAYO	2020-12-0 7
FECHA TÉRMINO DE ENSAYO	2020-12-12
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	2020-12-B

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
pH	---	SM 4500H+B	7.25	6.5 – 9.0
TURBIEDAD	NTU	SM 2130 B	22.3	NE
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	SM 2540 D	136	150
NITRÓGENO	mg/l	Kjeldah	20	NE
FÓSFORO	mg/l	Espectrofotométrico	0.56	NE
ACEITES Y GRASAS	mg/l	EPA 1664 B	11	20
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5)	mg/l	SM 5210 B	3 7.6	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/l	SM 5220 A	75.2	200

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
BACTERIAS HETEROTRÓFICAS	UFC/ml	Recuento en placas	1.4×10^2	NE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	SM 9221 B	1.1×10^2	NE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES[G]	NMP/100ml	SM 9221 E	1.1×10^3	1×10^4

LMP: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
NE: No especifica

NATURA ANALITICA SAC.
Blgo. Alcides E. Castillo Quezada
LABORATORIO CLINICO Y ANALISIS BIOLOGICO

1 de 1

GERENCIA TÉCNICA
Natura Analítica S.A.C.

Av. Saenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060
E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com
Natura Analitica

Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS Nº 2020.12 .06

SOLICITANTE	DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO
DNI	76317659
DIRECCIÓN	Jr. Huancavelica 662 - Pucallpa
MUESTRA	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FORMA Y PRESENTACIÓN	02 Botellas de plástigo con tapa hermética, 01 botella de vidrio con tapa hermética y 01 botella de vidrio oscuro/ámbar con tapa hermética
CANTIDAD RECIBIDA	4 L. aprox
CÓDIGO DE MUESTRA	2020.12.0 6
BASE TÉCNICA	DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2020-12- 0 7
COLECTOR	El Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADOS	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
FECHA INICIO DE ENSAYO	2020-12-0 7
FECHA TÉRMINO DE ENSAYO	2020-12-12
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	2020-12-B

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
pH	---	SM 4500H+B	6.9	6.5 – 9.0
TURBIEDAD	NTU	SM 2130 B	22.3	NE
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	SM 2540 D	121	150
NITRÓGENO	mg/l	Kjeldah	21.5	NE
FÓSFORO	mg/l	Espectrofotométrico	0.61	NE
ACEITES Y GRASAS	mg/l	EPA 1664 B	12	20
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5)	mg/l	SM 5210 B	35.1	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/l	SM 5220 A	70.2	200

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
BACTERIAS HETEROTRÓFICAS	UFC/ml	Recuento en placas	1.4×10^2	NE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	SM 9221 B	1.1×10^2	NE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES[G]	NMP/100ml	SM 9221 E	1.1×10^3	1×10^4

LMP: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
NE: No especifica

NATURA ANALITICA SAC.
Blgo. Alcides D. Castillo Quezada
ESP. LABORATORIO CLINICO Y ANALISIS BIOLOGICO

GERENCIA TECNICA
Natura Analítica S.A.C.

1 de 1

Jr. Huancavelica 503 PUCALLPA teléfono: 576060 E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com
Natura Analitica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661
SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS Nº 2020.12.08

SOLICITANTE	DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO
DNI	76317659
DIRECCIÓN	Jr. Huancavelica 662 - Pucallpa
MUESTRA	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FORMA Y PRESENTACIÓN	02 Botellas de plástigo con tapa hermética, 01 botella de vidrio con tapa hermética y 01 botella de vidrio oscuro/ámbar con tapa hermética
CANTIDAD RECIBIDA	4 L. aprox
CÓDIGO DE MUESTRA	2020.12.0 8
BASE TÉCNICA	DECRETO SUPREMO Nº 003-2010-MINAM
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2020-12-0 9
COLECTOR	El Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADOS	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
FECHA INICIO DE ENSAYO	2020-12-0 9
FECHA TÉRMINO DE ENSAYO	2020-12-14
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	2020-12-15

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
pH	---	SM 4500H+B	7.1	6.5 – 9.0
TURBIEDAD	NTU	SM 2130 B	20.1	NE
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	SM 2540 D	126	150
NITRÓGENO	mg/l	Kjeldah	19. 7	NE
FÓSFORO	mg/l	Espectrofotométrico	0.49	NE
ACEITES Y GRASAS	mg/l	EPA 1664 B	14	20
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5)	mg/l	SM 5210 B	42.3	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/l	SM 5220 A	8 4.6	200

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
BACTERIAS HETEROTRÓFICAS	UFC/ml	Recuento en placas	1.4×10^2	NE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	SM 9221 B	1×10^2	NE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES[G]	NMP/100ml	SM 9221 E	1.35×10^3	1×10^4

LMP: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
NE: No especifica

NATURA ANALITICA SAC.
Blgo. Alcides Castillo Quezada
ESP. LABORATORIO CLINICO Y ANALISIS BIOLOGICO

GERENCIA TÉCNICA
Natura Analítica S.A.C.

Jr. Sánchez Cerro 503 PUCALLPA teléfono: 576060
E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com
Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661
SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS Nº 2020.12.10

SOLICITANTE	DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO
DNI	76317659
DIRECCIÓN	Jr. Huancavelica 662 - Pucallpa
MUESTRA	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FORMA Y PRESENTACIÓN	02 Botellas de plástigo con tapa hermética, 01 botella de vidrio con tapa hermética y 01 botella de vidrio oscuro/ámbar con tapa hermética
CANTIDAD RECIBIDA	4 L. aprox
CÓDIGO DE MUESTRA	2020.12.10
BASE TÉCNICA	DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2020-12-11
COLECTOR	El Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADOS	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
FECHA INICIO DE ENSAYO	2020-12-11
FECHA TÉRMINO DE ENSAYO	2020-12-16
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	2020-12-17

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
pH	---	SM 4500H+B	6.8	6.5 – 9.0
TURBIEDAD	NTU	SM 2130 B	22.6	NE
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	SM 2540 D	118	150
NITRÓGENO	mg/l	Kjeldah	22.4	NE
FÓSFORO	mg/l	Espectrofotométrico	0.5	NE
ACEITES Y GRASAS	mg/l	EPA 1664 B	11	20
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5)	mg/l	SM 5210 B	43.5	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/l	SM 5220 A	87	200

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
BACTERIAS HETEROTRÓFICAS	UFC/ml	Recuento en placas	13×10^2	NE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	SM 9221 B	1.05×10^2	NE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES[G]	NMP/100ml	SM 9221 E	1×10^3	1×10^4

LMP: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
NE: No especifica

NATURA ANALITICA SAC.
Blgo. Alcides E. Castillo Quezada
CBP. LABORATORIO CLINICO Y ANALISIS BIOLOGICO

GERENCIA TECNICA Natura Analítica S.A.C.

Jr. Manuel Prado Sanchez Cerro Nº 503 PUCALLPA teléfono: 576060
E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com
Natura Analítica

Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS Nº 2020.12. 12

SOLICITANTE	DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO
DNI	76317659
DIRECCIÓN	Jr. Huancavelica 662 - Pucallpa
MUESTRA	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FORMA Y PRESENTACIÓN	02 Botellas de plástico con tapa hermética, 01 botella de vidrio con tapa hermética y 01 botella de vidrio oscuro/ámbar con tapa hermética
CANTIDAD RECIBIDA	4 L. aprox
CÓDIGO DE MUESTRA	2020.12. 12
BASE TÉCNICA	DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2020-12- 13
COLECTOR	El Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADOS	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
FECHA INICIO DE ENSAYO	2020-12- 13
FECHA TÉRMINO DE ENSAYO	2020-12-18
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	2020-12-19

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
pH	---	SM 4500H+B	7.3	6.5 – 9.0
TURBIEDAD	NTU	SM 2130 B	21.8	NE
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	SM 2540 D	131	150
NITRÓGENO	mg/l	Kjeldah	23	NE
FÓSFORO	mg/l	Espectrofotométrico	0.44	NE
ACEITES Y GRASAS	mg/l	EPA 1664 B	10	20
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5)	mg/l	SM 5210 B	39. 8	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/l	SM 5220 A	7 9. 6	200

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
BACTERIAS HETEROTRÓFICAS	UFC/ml	Recuento en placas	1.25×10^2	NE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	SM 9221 B	1.1×10^2	NE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES[G]	NMP/100ml	SM 9221 E	9.5×10^2	1×10^4

LMP: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
NE: No especifica

NATURA ANALITICA SAC.
Blgo. Alcides E. Castillo Quezada
REG. LABORATORIO CLINICO Y ANALISIS BIOLOGICO

1 de 1

GERENCIA TÉCNICA
Natura Analítica S.A.C.

Av. Centenario Mz. Ñ Lote 503 PUCALLPA teléfono: 576060 E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com
Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661
SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS Nº 2020.12. 14

SOLICITANTE	DANIEL PAIMA CHUQUIPIONDO
DNI	76317659
DIRECCIÓN	Jr. Huancavelica 662 - Pucallpa
MUESTRA	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FORMA Y PRESENTACIÓN	02 Botellas de plástigo con tapa hermética, 01 botella de vidrio con tapa hermética y 01 botella de vidrio oscuro/ámbar con tapa hermética
CANTIDAD RECIBIDA	4 L. aprox
CÓDIGO DE MUESTRA	2020.12. 14
BASE TÈCNICA	DECRETO SUPREMO Nº 003-2010-MINAM
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	2020-12- 15
COLECTOR	El Solicitante
ANÁLISIS SOLICITADOS	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
FECHA INICIO DE ENSAYO	2020-12- 15
FECHA TÉRMINO DE ENSAYO	2020-12-20
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	2020-12-2 1

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
pH	---	SM 4500H+B	7.1	6.5 – 9.0
TURBIEDAD	NTU	SM 2130 B	22.1	NE
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	SM 2540 D	129	150
NITRÓGENO	mg/l	Kjeldah	23.6	NE
FÓSFORO	mg/l	Espectrofotométrico	0.51	NE
ACEITES Y GRASAS	mg/l	EPA 1664 B	13	20
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5)	mg/l	SM 5210 B	40.2	100
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/l	SM 5220 A	80. 4	200

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LMP
BACTERIAS HETEROTRÓFICAS	UFC/ml	Recuento en placas	1.2×10^2	NE
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	SM 9221 B	$1. \times 10^2$	NE
COLIFORMES TERMOTOLERANTES[G]	NMP/100ml	SM 9221 E	9.1×10^2	1×10^4

LMP: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
NE: No especifica

NATURA ANALITICA SAC.
Blgo. Alcides E. Castillo Quezada
ESP. LABORATORIO CLINICO Y ANALISIS BIOLOGICO

GERENCIA TÉCNICA
Natura Analítica S.A.C.

Jr. Cahuide Moreno 503 PUCALLPA teléfono: 576060
E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com
Natura Analítica

Anexo 5. Mapa de ubicación del proyecto de tesis

