UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN UN SISTEMA CERRADO MEDIANTE UNA CÁMARA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DOMICILIARIA, EN EL AA.HH. 10 DE MARZO – DISTRITO DE MANANTAY, 2017"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

QUIO RUBINA KATERY ALINSON

PUCALLPA-PERÚ
2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 73

En la sala de reuniones del auditorium de la Universidad Nacional de Ucayali a las 1:00 pm el día 28 de agosto de 2018, se reunieron los miembros del jurado evaluador, nombrado con memo MULT-128-2018-UNU. FCFyA-CGT conformado por los siguientes docentes.

Dr. Héctor Quispe Cerna	Presidente
Dr. Carlos Panduro Carbajal	Secretario
Dr. Grober Panduro Pisco	Miembro

Para evaluar la sustentación de la tesis "**EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN UN SISTEMA CERRADO MEDIANTE UNA CÁMARA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DOMICILIARIA, EN EL AA.HH. 10 DE MARZO – DISTRITO DE MANANTAY, 2017**", presentado por la Bachiller, **KATERY ALINSON QUIO RUBINA**. Terminada la sustentación se procedió a realizar las preguntas por parte del jurado evaluador, las cuales fueron absueltas por la sustentante. Por esta razón el jurado APROBÓ la Tesis por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **BUENO** declarando a la sustentante APTO para obtener el título de Ingeniero Ambiental. El asesor de la tesis fue el Mg. Fermín Campos Solórzano, siendo la 2:00 p.m. se dio por concluido el acto académico.

Dr. Héctor Quispe Cerna
PRESIDENTE

Dr. Carlos Panduro Carbajal
SECRETARIO

Dr. Grober Panduro Pisco
MIEMBRO

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue sometida a consideración para su aprobación ante el Jurado de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Héctor Quispe Cerna



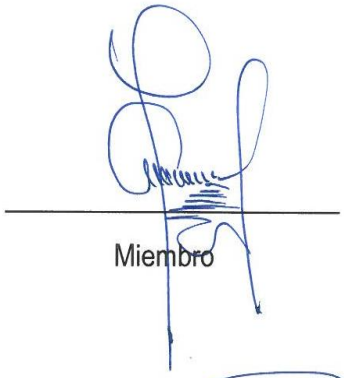
Presidente

Dr. Carlos Panduro Carbajal



Miembro

Dr. Grober Panduro Pisco



Miembro

Dr. Fermín Campos Solórzano



Asesor

Bach. Katery Alinson Quio Rubina



Tesista

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo,_____

Autor de la TESIS titulada:

_____

_____

_____

_____

_____

Sustentada el año:_____

Con la asesoría de: _____

En la Facultad:_____

Escuela Profesional de:_____

_____

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, 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.

Tercero: Autorizo la publicación,

☐ **Total** (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio).

☐ **Parcial** (significa que solo la caratula, la dedicatoria y el resumen en PDF será compartido en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: ____ / ___/ _____

Email: _____ Firma: _____

Teléfono: _____ DNI: _____

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la vida, salud y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre Rayda, Por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, quien a lo largo de su vida ha velado por mi bienestar y educación siendo mí apoyo en todo momento.

A mi padre Mario, quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

A mis hermanos, Magaly, Milet y Mario, quienes han sido mi inspiración para ser mejor cada día.

A mi novio y amigo Carlos Ángel, Por ser alguien muy especial en mi vida y por demostrarme que en todo momento cuento con él.

A mi Abuelita Goya, a quien mando un beso hasta el cielo y sé que guía mi camino.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios quien me guío con su mano de sabiduría durante toda mi carrera y por darme cada día más fuerza para seguir adelante.

A mis padres por estar siempre a mi lado apoyándome en todo lo que he necesitado, y por tener siempre palabras de aliento todo el tiempo, nunca rendirse sin importar que tan difícil estuviera todo, por los sacrificios hechos, dándome amor y aliento para jamás rendirme. Porque sin ellos no hubiera conseguido llegar a mis objetivos.

A mi abuelita Goya en especial, que aunque no está acá, sé que estaría orgullosa de mí.

Agradecer a todos los docentes por sus enseñanzas, consejos, experiencias y los ánimos de seguir investigando y proponer soluciones.

A la Universidad Nacional de Ucayali, por abrirme sus puertas y que durante cinco años me ha dado la oportunidad de estudiar en esta gloriosa casa de estudio, la carrera de Ingeniería Ambiental, con todo el apoyo necesario con el que me alentó a hacer de mí misma una profesional.

Al laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional de Ucayali, Por permitirme el uso de sus instalaciones, equipos y materiales para la ejecución de este proyecto de tesis.

Al Bachiller. Paul Reátegui Ramos por brindarme su apoyo, paciencia y conocimientos dentro del laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional de Ucayali.

Agradecer a todas las amistades que formaron parte de mi vida universitaria.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA v

AGRADECIMIENTO vi

INDICE DE CONTENIDO vii

INDICE DE FIGURAS ix

INDICE DE TABLAS xii

RESUMEN xv

ABSTRACT xvi

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 4

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 4

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 5

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 6

CAPÍTULO II 7

MARCO TEÓRICO 7

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA 7

2.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR) 9

2.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES 9

2.4. SISTEMAS DE TRATAMIENTO CONVENCIONALES VS. SISTEMAS NATURALES 9

2.5. SISTEMAS NATURALES PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA 21

2.6. SANEAMIENTO SUSTENTABLE 23

2.7. OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS DE SALUBRIDAD 24

2.8. TANQUE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN 27

2.9. UBICACIÓN DEL TANQUE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN 27

2.10. COMPONENTES DEL TANQUE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN 27

2.11. VENTAJAS DEL TANQUE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN 29

2.12. TAXONOMÍA DE LA ESPECIE VEGETAL PLÁTANO (MUSA PARADISIACA) 29

2.13. DESCRIPCIÓN DEL PLÁTANO (MUSA PARADISIACA) 30

2.14. MECANISMO DE REMOCIÓN EN TANQUES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN: 30

2.15. DISEÑO DEL TANQUE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN: 31

2.16. MARCO LEGAL 33
2.17. DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS 34
CAPITULO III 40
METODOLOGÍA 40
3.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN 40
3.2. ÁREA DE ESTUDIO 40
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA 41
3.4. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS 42
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS 55
3.6. PROCESAMIENTO PARA RECOLECCIÓN DE DATO 58
3.7. TRATAMIENTO DE DATOS 58
CAPÍTULO IV 60
RESULTADOS 60
4.1. RESULTADO DE LOS PARÁMETROS 60
4.2. RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN 64
4.3. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES 67
4.4. DISCUSIÓN 70
CAPÍTULO V 80
5.1. CONCLUSIONES 80
5.2. RECOMENDACIONES 81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83
ANEXOS 86

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Sistemas de tratamiento de aguas.....	10
Figura 2.	Comparación de sistemas de tratamiento biológico aeróbico y anaeróbico.....	12
Figura 3.	Proceso convencional de lodos activados.....	13
Figura 4.	Esquema de un reactor UASB.....	15
Figura 5.	Interrelaciones de una macrófita en un humedal construido.....	17
Figura 6.	Tipos de humedales: a) flujo superficial y b) flujo sub-superficial.....	18
Figura 7.	Humedales.....	22
Figura 8.	Objetivos del desarrollo sostenible.....	25
Figura 9.	Consumo de agua en una vivienda.....	42
Figura 10.	Diseño general de las cámaras de evapotranspiración.....	45
Figura 11.	Zanjas de las dos cámaras de evapotranspiración.....	47
Figura 12.	Fila de neumáticos en una cámara de evapotranspiración.....	48
Figura 13.	Instalación del tanque Sedimentador.....	48
Figura 14.	Colocación de tubos de Inspección.....	49
Figura 15.	Cámara de evapotranspiración con filtro de carbón activado, tanque secundario y cloración.....	49
Figura 16.	División de la red de agua residual negra a las dos cámaras de evapotranspiración.....	50
Figura 17.	Plantación de la especie vegetal Plátano (Musa Paradisiaca).....	50
Figura 18.	Nivel de concentración de turbidez por cada agua residual de entrada y salida de las cámaras de evapotranspiración.....	60
Figura 19.	Nivel de concentración de SST por cada agua residual de entrada y salida de las cámaras de evapotranspiración.....	61
Figura 20.	Nivel de concentración de DBO(5) por cada agua residual de entrada y salida de las cámaras de evapotranspiración.....	62
Figura 21.	Nivel de concentración de HVH por cada agua residual de entrada y salida de las cámaras de evapotranspiración.....	63
Figura 22.	Nivel de concentración de CTT por cada agua residual de entrada y salida de las cámaras de evapotranspiración.....	64
Figura 23.	%Remoción Turbiedad de las cámaras de evapotranspiración.....	65
Figura 24.	% Remoción Sólidos suspendidos totales de las cámaras de evapotranspiración.....	65
Figura 25.	% Remoción Demanda bioquímica de oxígeno de las cámaras de evapotranspiración.....	66
Figura 26.	% Remoción Huevos de Helmintos de las cámaras de evapotranspiración.....	66

Figura 27. % Remoción Coliformes termotolerantes de las cámaras de evapotranspiración..... 67
Figura 28. Tratamientos de cámaras de evapotranspiración VS Límites máximos permisibles UNT..... 67
Figura 29. Tratamientos de humedales artificiales VS Límites máximos permisibles SST..... 68
Figura 30. Tratamientos de cámaras de evapotranspiración VS Límites máximos permisibles DBO (5)..... 68
Figura 31. Tratamientos de cámaras de evapotranspiración VS Límites máximos permisibles HVH..... 69
Figura 32. Tratamientos de cámaras de evapotranspiración VS Límites máximos permisibles CTT..... 69
Figura 33. Normalidad del afluente de la cámara de evapotranspiración-Turbiedad..... 87
Figura 34. Normalidad del afluente de la cámara de evapotranspiración-Solidos suspendidos totales..... 88
Figura 35. Normalidad del afluente de la cámara de evapotranspiración-DBO(5)..... 89
Figura 36. Normalidad del afluente de la cámara de evapotranspiración-HVH..... 89
Figura 37. Normalidad del afluente de la cámara de evapotranspiración-CTT..... 90
Figura 38. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario)-Turbiedad..... 91
Figura 39. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario)-SST..... 92
Figura 40. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario)-DBO(5)..... 93
Figura 41. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario)-CTT..... 94
Figura 42. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración testigo – Turbiedad..... 95
Figura 43. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración testigo - SST..... 96
Figura 44. Normalidad del agua del efluente de la cámara de Evapotranspiración testigo – DBO(5..... 97
Figura 45. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración testigo – HVH..... 98
Figura 46. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración testigo – CTT..... 99

Figura 47. Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR..... 108
Figura 48. Temperatura Promedio del mes de Enero y Febrero..... 118
Figura 49. Temperatura Promedio del mes de Marzo y Abril..... 119
Figura 50. Humedad Relativa y Precipitación Promedio del mes de Enero..... 119
Figura 51. Humedad Relativa y Precipitación Promedio del mes de Febrero..... 120
Figura 52. Humedad Relativa y Precipitación Promedio del mes de Marzo..... 120
Figura 53 Certificados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del afluente por el Laboratorio acreditado de Natura Analítica S.A.C..... 121
Figura 54. Certificados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del efluente por el Laboratorio acreditado de Natura Analítica S.A.C..... 122
Figura 55. Certificados de los análisis turbiedad del efluente por el Laboratorio acreditado de Natura Analítica S.A.C..... 123
Figura 56. Sedimentador secundario, incluido el filtro de carbón activado y la cloración..... 124
Figura 57. Investigador con las cámaras de evapotranspiración..... 124
Figura 58. Cámara de evapotranspiración tratamiento terciario y testigo..... 124
Figura 59. Inodoro conectado al Sedimentador primario..... 125
Figura 60. Llenado de los filtros granulométricos a la cámara de evapotranspiración..... 125
Figura 61. Lecho de grava como filtro granulométrico..... 125
Figura 62. Impermeabilización de las cámaras de evapotranspiración..... 125
Figura 63. Análisis en campo de las propiedades fisicoquímicas (pH, T°), por el laboratorio de Natura..... 126
Figura 64. Toma de muestras de la salida del agua tratada..... 126
Figura 65. Análisis de las propiedades fisicoquímica (pH, T°, Turbiedad)..... 126
Figura 66. Monitoreo de las cámaras de evapotranspiración..... 126
Figura 67. Agua tratada de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario y afluente (izquierda y derecha)..... 127
Figura 68. Agua tratada de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario..... 127
Figura 69. Agua tratada de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario y afluente (izquierda y derecha respectivamente) y testigo (centro)..... 127

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Tratamientos físicos.....	11
Tabla 2.	Tratamientos físicos/químicos.....	11
Tabla 3.	Niveles de eliminación de contaminante (%) según el tipo de tratamiento.....	16
Tabla 4.	Opciones de diseños de Humedales.....	18
Tabla 5.	Comparación sistemas de tratamientos convencionales vs. Naturales.....	19
Tabla 6.	Taxonomía del Plátano (Musa Paradisiaca).....	29
Tabla 7.	Datos principales para el cálculo del tanque de evapotranspiración.....	43
Tabla 8.	Dimensiones finales del tanque de evapotranspiración.....	44
Tabla 9.	Prueba T de dos muestras independientes: ECE1-TURBIEDAD, ECE2-TURBIEDAD.....	100
Tabla 10.	Prueba T de dos muestras independientes: ECE1-SST, ECE2-SST.....	101
Tabla 11.	Prueba T de dos muestras independientes: ECE1-DBO(5), ECE2-DBO(5).....	101
Tabla 12.	Prueba T de dos muestras independientes: ECE1-HVH, ECE2-HVH.....	102
Tabla 13.	Prueba T de dos muestras independientes: ECE1-CTT, ECE2-CTT.....	103
Tabla 14.	Prueba T de dos muestras independientes: ACE-TURBIEDAD, ECE 1 TURBIEDAD.....	104
Tabla 15.	Prueba T de dos muestras independientes: ACE-SST, ECE 1-SST.....	105
Tabla 16.	Prueba T de dos muestras independientes: ACE-DBO(5), ECE 1-DBO(5).....	106
Tabla 17.	Prueba T de dos muestras: ACE-(HVH), ECE 1-(HVH).....	106
Tabla 18.	Prueba T de dos muestras: ECE1-(CTT), ECE2-(CTT).....	107
Tabla 19.	Ubicación del punto de monitoreo donde se ejecutó la investigacion.....	109
Tabla 20.	Registro de datos de campo donde se ejecutó la investigación.....	110

Tabla 21. Etiquetas para muestras de agua residual..... 111

Tabla 22. Reporte de resultados del primer monitoreo de fecha 13/04/2018..... 112
Tabla 23. Reporte de resultados del segundo monitoreo de fecha 19/04/2018..... 113
Tabla 24. Reporte de resultados del tercer monitoreo de fecha 26/04/2018..... 114
Tabla 25. Reporte de resultados del cuarto monitoreo de fecha 05/05/2018..... 115
Tabla 26. Reporte de resultados del quinto monitoreo de fecha 13/05/2018..... 116
Tabla 27. Reporte de resultados sexto monitoreo de fecha 29/05/2018..... 117

INDICE DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ACE	Afluente de la cámara de evapotranspiración
CO2	Dióxido de carbono
CTT	Coliformes Termotolerantes
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DBO5	Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días
DQO	Demanda química de oxígeno
ECE1	Efluente de lacámara de evapotranspiración con tratamiento primario y terciario
ECE2	Efluente de la cámara de evapotranspiración testigo
EPA	Environmental protection agency
H2O	Agua
MO	Materia orgánica
N	Nitrógeno
N2	Nitrógeno gas
NH3	Amoníaco
NMP	Número más probable
O2	Oxígeno
OD	Oxígeno disuelto
P	Fósforo
SST	Sólidos suspendidos totales
TRH	Tiempo de retención hidráulico
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor
UNT	Unidades nefelométricas de turbiedad
V	Volumen

RESUMEN

El estudio fue realizado en la región amazónica del Perú (región Ucayali), el objetivo fue mejorar y evaluar la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales negras domésticas mediante una cámara de evapotranspiración domiciliaria. Es por ello que se propone una alternativa en Perú, con las mejoras necesarias aplicadas en el sistema para obtener una mejor calidad del agua residual y sea vertida sin ningún daño al ambiente.

El estudio consistió en construir dos tanques de evapotranspiración con la misma especie vegetal conocido comúnmente como Plátano (*Musa paradisiaca)*. Se diferenciaron en su operación ya que al primero se le agregó carbón activado de coco, de malla 12 x 40(1,68mmm – 0,420mm), con la inclusión de las etapas primaria (Sedimentador primario) y terciario (estrato de carbón vegetal, Sedimentador secundario, filtro de carbón activado y cloración). Mientras que al otro se mantuvo en su forma original (para ser usado como testigo). En esta investigación se llevaron a cabo mediciones y cálculos para determinar el dimensionamiento y construcción del tanque de evapotranspiración.

Los resultados muestran una eficiencia de remoción al: 99,12% respecto a la concentración de turbidez, 99,0% (SST), 99,0% (DBO5), 100% (Huevos de Helmintos) y 100% (Coliformes termotolerantes), concluyéndose que mediante este sistema de tanque de evapotranspiración es eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas negras y se presenta como una alternativa viable para el tratamiento de las aguas residuales urbanas y rurales.

Palabras claves: Aguas negras, cámara de evapotranspiración, carbón activado, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario.

ABSTRACT

The study was conducted in the Amazon region of Peru (Ucayali region), the objective was to improve the efficiency in the treatment of domestic wastewater by means of a house evapotranspiration chamber. That is why an alternative is proposed in Peru, with the necessary improvements applied in the system to obtain a better quality of wastewater and be discharged without any damage to the environment.

The study consisted of building two evapotranspiration tanks with the same plant species commonly known as Banana (Musa paradisiaca). They differed in their operation since the first one was added coconut activated carbon, with a mesh size of 12 x 40 (1.68mmm - 0.420mm), with the inclusion of the primary (Primary Settler) and tertiary stages (charcoal layer, Sedimentation secondary, activated carbon filter and chlorination). While the other remained in its original form (to be used as a witness). In this investigation, measurements and calculations were carried out to determine the sizing and construction of the evapotranspiration tank.

The results show a removal efficiency at: 99.12% with respect to the concentration of turbidity, 99.0% (SST), 99.0% (BOD5), 100% (Helminth eggs) and 100% (thermotolerant coliforms), concluding that by means of this system of evapotranspiration tank is efficient for the treatment of black domestic wastewater and is presented as a viable alternative for the treatment of urban and rural wastewater.

Keywords: Sewage, evapotranspiration chamber, activated charcoal, primary treatment, secondary treatment, tertiary treatment.

INTRODUCCIÓN

De la revisión del estudio efectuado por SUNASS (2008), se desprende que el 70% de las aguas residuales en el Perú no tienen tratamiento de aguas alguno; asimismo, que de las 143 plantas de tratamiento residual que existen en el Perú, solo el 14% cumplen con la normatividad vigente para el cabal funcionamiento de las mismas. En este mismo informe se refiere que de acuerdo a la Dirección General de Gestión de la Calidad de los Recursos Hídricos, los ríos de Loreto, Piura, Pasco, Arequipa, Moquegua Puno, Ucayali, Madre de Dios, se encuentran contaminados por aguas residuales municipales sin tratamiento.

En el mundo más del 80% de las aguas residuales son vertidas al medio ambiente sin ningún tratamiento (UNESCO). Actualmente el aumento de la población genera aguas residuales domesticas con alto contenido de materia orgánica y patógenos que son vertidos sin previo tratamiento hacia los cuerpos receptores tales como ríos, lagos y mares, posteriormente estos altera los ecosistemas acuáticos y produce la muerte de especies hidrobiológicas, definido como contaminación de aguas. La contaminación de los cursos de aguas ha impactado negativamente hacia la salud y el medio ambiente, por ello se busca diversas formas para mitigar esta situación. Las zonas con inadecuado abastecimiento de agua son los que más sufren de enfermedades como el cólera, la hepatitis, la disentería, gastroenterocolitis, etc. En las zonas rurales, el principal problema es la eliminación inadecuada de las aguas residuales de los hogares convirtiéndose aún más grave debido a que estos lugares no suelen tener plantas de tratamiento de aguas residuales, representando una alternativa de solución donde el efluente o descarga del agua tratada será menos tóxicos y pueden ser utilizadas para diversas actividades antrópicas. Los sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales tanto grises como negras suelen ser en la mayoría de los casos un pozo séptico o un pozo ciego, en tanto el efluente que está parcialmente tratado se infiltra en el suelo afectando la napa freática y a las aguas superficiales.

El tanque de evapotranspiración funciona como un filtro anaeróbico, seguido de un filtro granulométrico, en la parte superior va un tratamiento biológico que funciona como un humedal y a la salida un tratamiento final, compuesto por carbón vegetal, un tanque Sedimentador secundario y cloración. Esto se ha implementado para tratar aguas domésticas, por lo tanto es un sistema que a través de la evaporación del suelo y transpiración de la plantas el agua se eliminara del sistema, mientras que los nutrientes presentes se eliminan a través de su incorporación en la biomasa de las plantas que son podado o cosechados periódicamente.

Adriana, F.G, 2009. Realizo el análisis de la composición de las aguas residuales domésticas, donde se observó la proporción de 25000-100000 l/ año por persona de aguas grises, para 500 l de la orina y apenas 50 l anuales de sólo heces producidos por persona. La cantidad total de heces excretada por un ser humano en un año es de 25 a 50 kg que contienen 550 gr de nitrógeno, 180 gr fosforo, 370 g de potasio, pero la mayoría de los nutrientes de los excrementos humanos es encontrado en la orina. Un adulto puede producir 400 l de la orina por año, que contiene 4 kg de nitrógeno, 400 g de fósforo y 900 g de potasio. Estos nutrientes son ideales para ser absorbidos por las plantas: nitrógeno en la forma de urea, fósforo como superfosfato y de potasio en forma iónica. La mayor parte del carbono se encuentra en las heces y otros nutrientes tales como calcio y magnesio, están presentes casi en la misma medida en las heces y orina. De los datos presentados, se puede deducir el uso potencial de las aguas residuales negras para apoyar el crecimiento de las plantas, con fines de reciclaje de nutrientes, a través de la reutilización de los excrementos y evitar la contaminación causada por la descarga directa del agua negro en las cuencas hidrográficas y otros ecosistemas. Un beneficio secundario es que devolvemos los nutrientes al suelo y a las plantas, reduciendo así la necesidad de volver a usar fertilizantes industriales.

Otro de los beneficios de los tanques de evapotranspiración es que representa una de las soluciones a la caída de las emisiones de carbono, además de estar conectados directamente a tres de los ocho objetivos de desarrollo, como asegurar un medio ambiente sano y seguro, reducir la mortalidad

infantil y erradicar el hambre, incluidos en los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas.

El objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamiento y determinar el porcentaje de remoción de los contaminantes en el tanque de evapotranspiración que ha sido mejorado tomando en cuenta, las condiciones climáticas y adaptando la tecnología a nuestra ciudad. El agua usada para el tratamiento en estos tanques de evapotranspiración fue tomada de una vivienda unifamiliar ubicada en el AA.HH. 10 de Marzo Mz-B lote-20 del distrito de Manantay – Pucallpa.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El principal problema de la investigación radica en la débil eficiencia de las cámaras de evapotranspiración convencionales, debido a que estos no cuentan con un tratamiento primario y terciario, solo cuentan con un tratamiento secundario o biológico. Por lo tanto en este estudio se pretende incluir los tratamientos ya mencionados para mejorar la calidad del agua residual.

El tanque de evapotranspiración (TEvap) es una tecnología propuesta por permacultores para el tratamiento y reutilización de aguas negras, sin embargo esta alternativa necesita de mejoras puesto que el agua residual sale parcialmente tratada, sin tomar en cuenta un filtro de carbón vegetal, un tanque de sedimentación secundario para matar los huevos de helmintos que para su eliminación necesitan un tiempo de retención de 2 horas, ni un filtro de carbón activado para eliminar olores, reducir y mejorar la turbidez del agua residual. Así mismo no dispone de un tratamiento final que es la cloración, para matar los patógenos del agua residual.

La inclusión de las etapas primaria (Sedimentador primario) y terciario (Sedimentador secundario, filtro de carbón activado y cloración) mejorara la eficiencia de este método de tratamiento de las aguas residuales negras domésticas para reducir los contaminantes orgánicos. Asimismo por ser un método relativamente viable a la realidad de la población del distrito de Manantay donde se hizo la investigación.

En los últimos tiempos la presencia de aguas domésticas es un problema que se acrecienta ya que requieren ser tratadas antes de ser dispuestas a los cuerpos receptores como los ríos y mares, ya sea por obligación legal o por principio ecológico. De no hacerlo sucede la presencia de vectores infecciosos, metano, malos olores, etc. Las aguas residuales domesticas son producidas por

las actividades del hombre en su rutina hogareña tales como el lavado de ropa, bañeras, ducha, etc. (Galán & Prieto, 2010).

Un sistema doméstico de tratamiento de aguas residuales colecta, trata y distribuye las aguas residuales tratadas en el suelo. Por definición, las aguas residuales manejadas por un sistema individual no deben salir de la propiedad en la que son generadas. Las aguas pueden ser evaporadas al aire, transpiradas a través de las plantas o moverse a través del suelo hacia las aguas subterráneas. Un sistema efectivo de tratamiento de aguas residual individual, evacua las aguas grises y negras de la casa, les da tratamiento, y las distribuye, a la vez que protege nuestros recursos hídricos. (Lesikar & Enciso, 1999).

En busca de una alternativa de solución para el tratamiento de este tipo de aguas residuales domésticas se diseñara una cámara de evapotranspiración de tipo subterráneo al que se incorporara en la parte superficial la especie conocido comúnmente como Plátano (*Musa paradisiaca)* con (carbón vegetal, tanque de sedimentación secundario, carbón activado y cloración) y otra cámara de evapotranspiración paralelo para que sirva de testigo, en ambos se experimentara la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales negras domésticas.

Los resultados comparativos de dicho tratamiento permitieron determinar la eficiencia de este proceso con la inclusión del tratamiento terciario (carbón vegetal, Sedimentador secundario, filtro de carbón activado y cloración). La ventaja de este método es viable, es amigable con el medio ambiente, se tiene un impacto positivo paisajístico, no consume energía y reduce los costos del alcantarillado.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

¿La cámara de evapotranspiración domiciliaria en un sistema cerrado permitirá la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del AA.HH. 10 de Marzo – Distrito de Manantay, 2017?

1.2.2. Problemas Específicas

¿Qué contaminantes físicos – químicos orgánicos básicos presenta las aguas residuales domésticas del AA.HH. 10 de Marzo – Distrito de Manantay, 2017?

¿Las aguas tratadas de la cámara de evapotranspiración domiciliaria con tratamiento terciario (carbón vegetal, Sedimentador secundario, filtro de carbón activado y cloración) se encuentran dentro de los límites máximos permisibles vigentes en la legislación peruana?

¿En qué nivel de porcentaje mejora la eficiencia de remoción de contaminantes las cámaras de evapotranspiración domiciliaria en un sistema cerrado para las aguas residuales negras domésticas?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante una cámara de evapotranspiración domiciliaria del AA.HH. 10 de Marzo – Distrito de Manantay, 2017?

1.3.2. Objetivos Específicos

Determinar el nivel de indicadores físicos – químicos orgánicos básicos (pH, T°, SST, TURBIDEZ, DBO, CTT, HVH) de las aguas residuales domésticas de las zonas rurales, del AA.HH. 10 de Marzo – Distrito de Manantay, 2017.

Comparar los resultados de los parámetros físico-químicos básicos de las aguas tratadas de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario con los límites máximos permisibles de este tipo de vertimientos, vigentes en la legislación peruana.

Determinar el nivel de porcentaje de eficiencia de remoción de contaminantes de las cámaras de evapotranspiración domiciliaria para el tratamiento de las aguas residuales negras domésticas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Según (Pamplona y Venturi, 2004), La idea original se atribuye al permacultor Estadounidense Tom Watson, adaptado por los proyectos de permacultura llevados a cabo en Brasil, principalmente en el Estado de Santa Catarina y la región del Distrito Federal. El tanque de la evapotranspiración es una técnica desarrollada por la permacultura y la proliferación de diversas nacionalidades, con potencial para su aplicación en el tratamiento domiciliario de agua negro en las zonas urbanas y peri-urbanas.

Según Galbiati A.F & Loureiro, P. (2009) de la UFMS- Brasil, realizaron el proyecto titulado: “Estudio de tanque de evapotranspiración para la atención domiciliaria de agua oscura”. En el mismo se estudia una tecnología propuesto por permacultores para el tratamiento y reutilización de aguas de la casa y se compone de un sistema de sembrado, que es la descomposición anaeróbica de materia orgánica, la digestión y absorción de nutrientes y agua por las raíces. Los nutrientes se van al sistema que incorpora a la planta de biomasa y el agua se elimina por evaporación. El objetivo de este trabajo fue estudiar los procesos que intervienen en la operación del sistema, a través de la observación y el análisis de laboratorio del sustrato de efluentes, plantas y también específicamente, para producir información para el diseño del tanque y el comportamiento de las plantas utilizadas en el sistema. Los resultados mostraron que pueden recomendar su aplicación en viviendas peri-urbanas, con el fin de reducir el impacto ambiental por el vertido de aguas residuales en arroyos y ríos. Así mismo en el estudio se obtuvo que los riesgos de contaminación por el mantenimiento del tanque de evapotranspiración no son mayores que presentan en los sistemas convencionales y también tienen beneficios adicionales en relación con el uso de agua y nutrientes para la producción de alimentos y la composición de la jardinería.

Según (Silva, Sales, Costa, & Rocha, 2016).San Luis, Brasil. En la Universidad Pitágoras – Facultad de ingeniería ambiental realizaron una investigación experimental acerca del tanque de evapotranspiración para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias. Esta técnica consistió en un sistema de tratamiento de aguas que utiliza las plantas y presenta como una alternativa a los sistemas de tratamiento convencionales. Se compone de un tanque rectangular resistente al agua, llena de diferentes capas de sustrato y sembrada con especies de rápido crecimiento y de alta demanda de agua. El efluente del inodoro entra en la parte inferior del tanque a través de la tubería de alcantarillado dirigido a la cámara de recepción, donde comienza a digestión anaerobia y la mineralización de los efluentes a continuación, pasa el efluente a través de un filtro anaerobio de aguas arriba compuesta de capas escombros de cerámica y de piedra, con el fin de retener el material sólido presente en el efluente, el sólido se deposita en la cámara y derrame de líquido libremente. Este sistema de tratamiento de tanque de evapotranspiración resulto ser una técnica que mejor se adapta a las condiciones económicas y sociales de la comunidad pobre, como es el caso del barrio Sao Raimundo y que mejor satisface las necesidades de la misma una solución urgente y eficaz para su hogar de aguas residuales, generando una mejora en las condiciones de vida de las personas involucradas. También resulto ser muy beneficioso para toda la sociedad, tanto en el aspecto higiénico, con la prevención de enfermedades tales como la posibilidad de crear formas de adición incidido en el cultivo de frutas y plantas ornamentales, que puede ser comercializado y luego subir una forma de complementar los ingresos. A través de este estudio se concluyó que la Instalación del tanque de evapotranspiración es una excelente alternativa para el tratamiento de aguas residuales en la zona de Sao Raimundo, tanto a las zonas urbanas como en zonas rurales y comunidades agrícolas y minimiza los impactos ambientales derivados de la liberación de este alcantarillado en las carreteras u organismos públicos de agua, como ríos y arroyos, ya que el Tanque de evapotranspiración reduce la carga contaminante y la cantidad de efluentes que se deposita en los cuerpos de agua, destacando incluso en lugares donde no hay red de recogida de aguas residuales como en el caso del barrio de São Raimundo. (Silva, Sales, Costa, & Rocha, 2016)

Según Quipuzco, L. (2006). Cieneguilla. Realizó una planta de tratamiento de aguas residuales grises mediante los humedales artificiales con la especie vegetal Canna edulis “Achira” para una Casa de Retiro “El Milagro” situado en Cieneguilla. El porcentaje de remoción del humedal fueron la siguiente: Para la demanda bioquímica de oxígeno 74,00%, sólidos suspendidos 84,00%, coliformes termotolerantes 99,40% y helmintos 100%. En conclusión el humedal Canna edulis “Achira” es un eficiente sistema de tratamiento de aguas residuales grises, también mejora el paisaje de la Casa de Retiro ya que es una planta ornamental.

2.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR)

Una planta de tratamiento de agua residual se define como estructura integral en función al tratamiento de aguas residuales consistiendo en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. Por lo tanto el objetivo del tratamiento de las aguas residuales es producir efluente reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reutilización. (García, C. & Fonseca, J. 2015, Bogotá.)

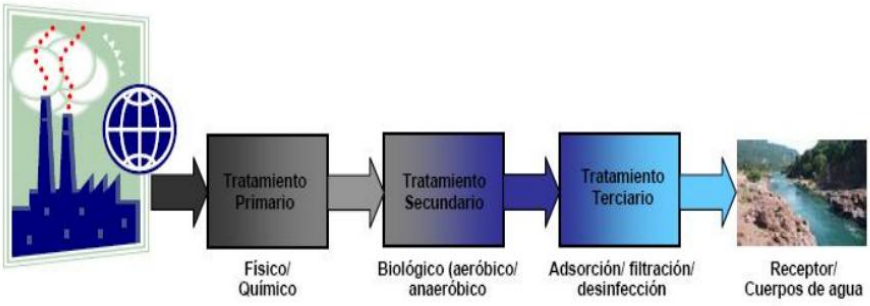
2.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Con el transcurso de los años el hombre ha buscado diversas formas de recuperar las aguas contaminadas con el fin de satisfacer sus necesidades. Por ello, el tratamiento de aguas residuales es una alternativa que consiste en reducir sus contaminantes de forma sostenible para evitar los impactos negativos hacia el medio ambiente y salud humana. (Reynolds, 2002)

2.4. SISTEMAS DE TRATAMIENTO CONVENCIONALES VS. SISTEMAS NATURALES

Los sistemas de tratamiento resultan de la combinación de procesos y operaciones unitarias en los que se pueden diferenciar distintos niveles para las aguas residuales, dependiendo de los objetivos que se deseen cumplir. La selección del sistema de tratamiento depende de una serie de factores, dentro de los cuales se incluyen:

- Característica del agua residual: DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), materia en suspensión, pH, productos tóxicos, entre otros.
- Calidad del efluente necesario para la descarga.
- Costo y disponibilidad de terrenos.
- Tecnologías disponibles De acuerdo a esto, es posible encontrar tratamientos de tipo primario, secundario y terciario, los cuales se detallan a continuación (Figura 1).



Fuente: Jordi Morató, et al, Universitat Politècnica de Catalunya-España, 2009

Figura 1. Sistemas de tratamiento de aguas.

2.4.1. Tratamiento Primario

Según Jordi Morató, et al; de la Universitat Politècnica de Catalunya-España, 2009. Los sistemas de tratamiento primario son procesos de tipo físico y/o químicos, que tienen como objetivo eliminar el contenido de sólidos presentes en las aguas residuales. Los procesos de tipo físico son aplicados a vertidos líquidos con contaminantes inorgánicos o con materia orgánica no biodegradable y/o insoluble (en suspensión); mientras que los procesos químicos son usados para la eliminación de sustancias solubles, empleando para esto agentes químicos como floculantes y/o coagulantes que mejoran la separación de partículas. Su importancia radica en eliminar constituyentes de las aguas residuales que puedan alterar el normal funcionamiento de los diferentes procesos y operaciones, disminuyendo los riesgos de problemas en las unidades de tratamiento posteriores. Los tratamientos primarios permiten la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas para pasar a un tratamiento

secundario. En las Tablas 1 y 2 se muestran los principales tratamiento físicos y físico/químicos.

Tabla 1. Tratamientos físicos

Procesos Físicos	Objetivos
Desbaste	Remoción de solidos gruesos(rejas, cribas o tamices)
Desarenado	Separación de partículas sólidas pequeñas de alta densidad.
Sedimentación	Remoción de sólidos en suspensión entre 1 mm – 1 m
Flotación	Remoción de grasa, aceites (arrastre por burbujas de aire)

Fuente: Jordi Morató, et al, Universitat Politècnica de Catalunya-España, 2009

Los tratamientos físico/químicos actúan sobre la base de que la coagulación y floculación debe ser asistida por agentes coagulantes que son adicionados para neutralizar cargas en el sistema, mientras que la floculación se realiza con polímeros orgánicos que se adsorben y actúan como puentes entre las partículas, con la finalidad de aumentar el coágulo formado y de este modo, mejorar la velocidad de precipitación de los sólidos contenidos en los efluentes.

Ejemplos de coagulantes utilizados: $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$ polimerizado Agentes floculantes orgánicos: polímeros cargados derivados de celulosa, poliaminas, almidones cuaternarios, Quitosan, taninos condensados.

Tabla 2. Tratamientos físicos/químicos

Procesos Químicos	Objetivo
Coagulación/Floculación	Mejora la sedimentación de partículas en suspensión de sistemas coloidales, alterando las propiedades fisicoquímicos de las partículas, acelerando su decantación.

Fuente: Jordi Morató, et al, Universitat Politècnica de Catalunya-España, 2009

2.4.2. Tratamiento Secundario

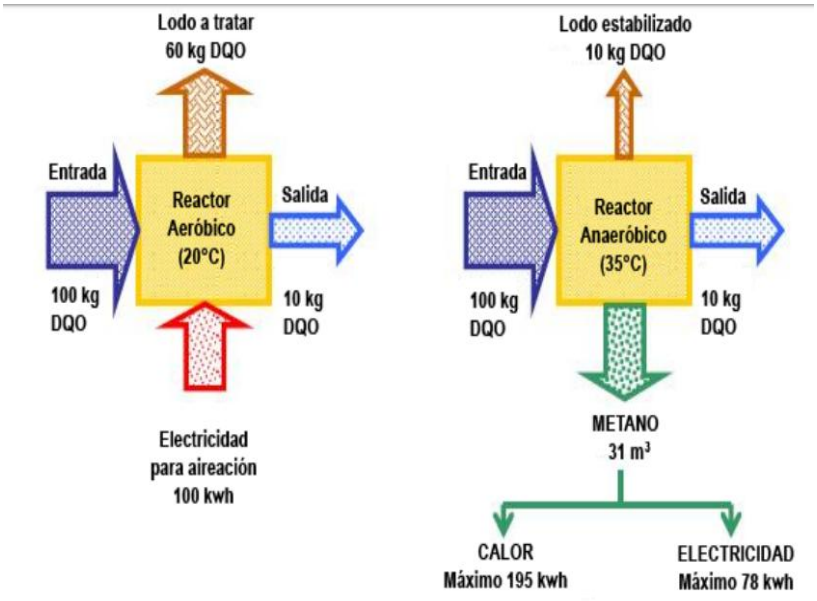
Jordi Morató, et al, de la Universitat Politècnica de Catalunya-España, 2009. Define al tratamiento secundario como la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual, mediante un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos que utilizan dicha materia orgánica como nutriente. Su objetivo es, entonces, el de remover la materia orgánica contaminante, vale decir, reducir la

demanda de oxígeno en el agua. Los sistemas biológicos pueden clasificarse en:

- Sistemas con biomasa suspendida (SBS)
- Sistemas con biomasa fija (SBF)

Las ventajas de los sistemas de biomasa fija o sistemas en que los microorganismos forman biopelículas o biofilm, es que éstos son más robustos en su operación, ocupan menores superficies de instalación y son capaces de tratar elevadas cargas de materia orgánica con elevadas eficiencias de eliminación. El tratamiento secundario puede ser de naturaleza aeróbica o anaeróbica.

La Figura 2, muestra las características de uno y otro. Dentro de las diferencias está la generación de metabolitos finales, las necesidades de oxígeno y la cantidad de biomasa producida, debido a las características de las bacterias de cada sistema. Por ejemplo, la productividad de la biomasa en condiciones aeróbicas es de 60% más que la de un sistema anaeróbico.



Fuente: Jordi Morató, et al, Universitat Politècnica de Catalunya-España, 2009

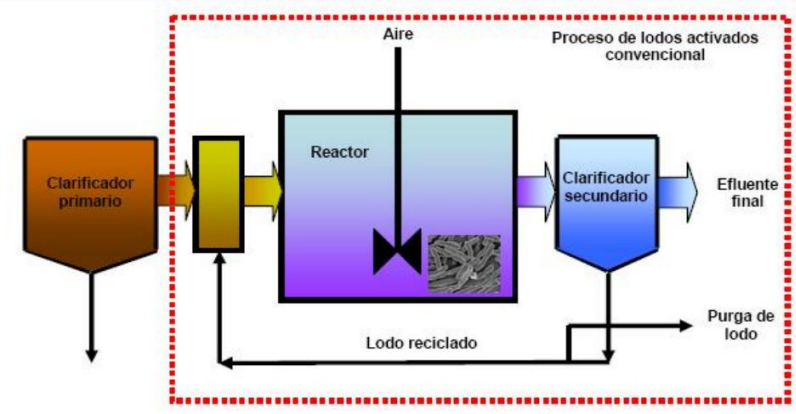
Figura 2. Comparación de sistemas de tratamiento biológico aeróbico y anaeróbico..

2.4.2.1. Sistemas de tratamiento biológicos aeróbicos

El tratamiento biológico aeróbico consiste en la descomposición de la materia orgánica por microorganismos aeróbicos (presencia de oxígeno) en dióxido de carbono, moléculas de agua y biomasa microbiana, como se muestra en el esquema.

Materia Orgánica + O2 + μorg → CO2 + H2O + Biomasa

La configuración de un sistema de lodos activados tradicional se muestra en la Figura 3. En general los sistemas aeróbicos implican el empleo de aireación en forma continua, debido a que la oxidación microbiana de la materia orgánica requiere de un alto consumo de oxígeno (entre 30–100 mg O2 /L·h, aproximadamente), que además cumple la función de agitación del sistema, evitando la formación de zonas anóxicas y la disminución de la eficiencia de operación del sistema. Por esta razón una de las desventajas de esta tecnología está asociada al costo de energía para la aireación, y la extensión de terreno que utilizan (Ramalho, 1996; Metcalf y Eddy, 1995)



Fuente: Modificado de Rramalho, 1996

Figura 3. Proceso convencional de lodos activados

La eliminación de la materia orgánica se realiza preferentemente en el sistema de lodos activados por

bacterias. Sin embargo, estos sistemas pueden generar una cadena trófica, demostrando de este modo la existencia de estas cadenas alimenticias en los sistemas. También se muestra la caracterización de la biomasa de un sistema biológico, en la que se pueden diferenciar claramente los distintos niveles tróficos de microorganismos: bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoos y rotíferos.

2.4.2.2. Tecnologías anaeróbicas

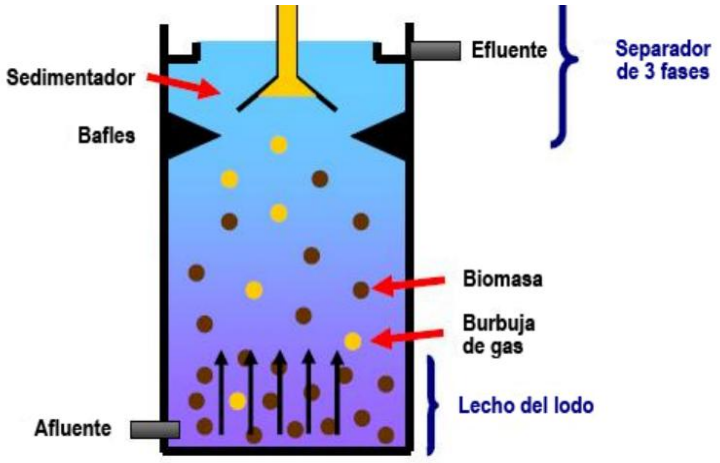
El tratamiento biológico anaeróbico, o digestión anaeróbica, consiste en una serie de reacciones bioquímicas que transforman la materia orgánica contaminante en biogás, cuyos componentes principales son el metano (CH4) y CO2, entre otros (H2S e H2). Si este biogás es gestionado adecuadamente, puede ser utilizado como energía (Navia y Vidal, 2002). El proceso de digestión anaeróbica puede resumirse como lo indica la siguiente expresión:

Materia Orgánica + μorg → CO2 + CH4 + Biomasa

Este proceso transcurre en ausencia de oxígeno, y el CH4 tiene la particularidad de ser recuperado y usado como combustible (energía) en el mismo proceso para calentar la caldera, debido a que los microorganismos anaeróbicos realizan esta digestión a una temperatura entre 30-37ºC (Metcalf y Eddy,1995).

Una desventaja del proceso es que la puesta en marcha es delicada, debido al lento crecimiento de los microorganismos anaeróbicos. Un ejemplo de esta tecnología la constituyen el digestor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) y los filtros anaeróbicos. Ambos sistemas se caracterizan por una alta productividad de biogás, y bajos tiempos de retención hidráulicos. El reactor UASB presenta en su diseño

estructural tres zonas: una de lecho expandido, otra de lecho fluidizado y otra zona fluidizada (Figura 7) (Ramalho, 1996)



Fuente: Modificado de: www.uasb.org

Figura 4. Esquema de un reactor UASB

2.4.3. Tratamiento terciario

La utilización de los distintos tipos de tratamiento de aguas residuales tiene relación con el cumplimiento de normas específicas de calidad, antes de que estas aguas tratadas vuelvan a utilizarse o sean descargadas a un cuerpo de agua. El tratamiento terciario tiene como objetivo eliminar compuestos específicos que no han sido eliminados por los sistemas primarios y secundarios. Las tecnologías empleadas pueden ser de tipo física, química y/o biológica. Un ejemplo de aplicación es la adsorción con carbón activado, para la eliminación de compuestos organoclorados, o la desinfección para eliminar patógenos mediante cloración u ozonización, entre otros. (Metcalf y Eddy, 1995).

2.4.4. Comparación entre tratamientos convencionales

La Tabla 3, muestra los distintos niveles de depuración de un efluente dependiendo del tipo de tratamiento aplicado (Ramalho, 1996). Se puede observar que a medida que se acoplan sistemas de tratamiento, los niveles de depuración aumentan.

Tabla 3. Niveles de eliminación de contaminante (%) según el tipo de tratamiento

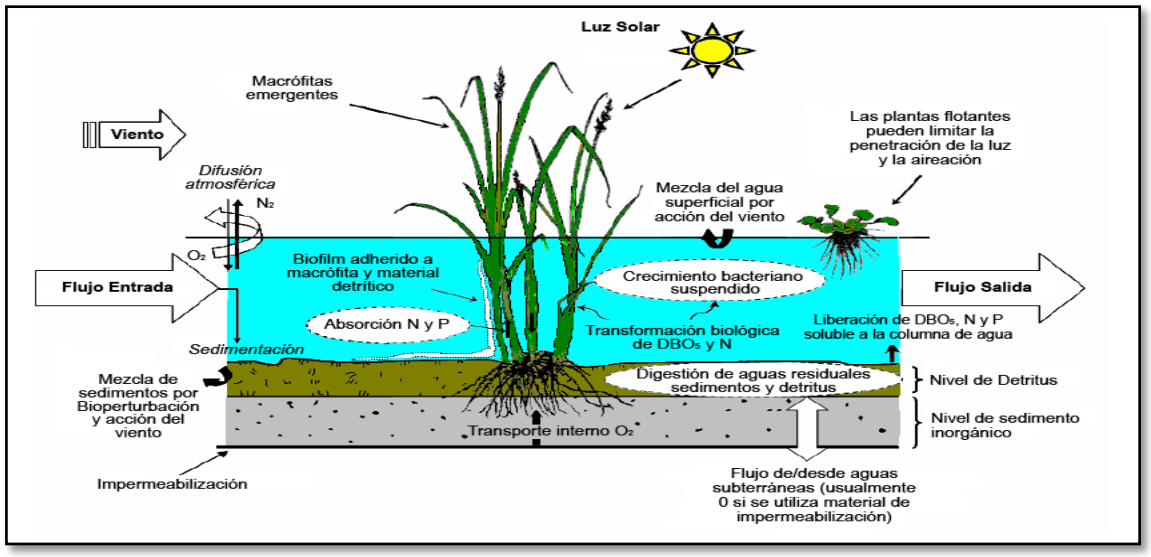
Parámetro	Tratamiento Primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario
$DB0_5$	35	90	99.9
DQO	30	80	99.8
Solidos Suspendidos	60	90	100
Nitrógeno	20	50	99.5
Fosforo	10	30	99.3

Fuente: Modificado de Rramalho, 1996

2.4.5. La función del suelo y las plantas

El sustrato (suelo, tierra o grava) constituye un material de soporte para el crecimiento de las plantas y la formación de biopelículas. Además, se ha indicado en la literatura que su composición química y física (granulometría) condiciona el régimen hidráulico de humedales artificiales (Cooper y Boon, 1987; Stottmeister et al., 2003). La columna de agua permite el transporte de sustancias y gases, lo que proporciona un ambiente óptimo para el desarrollo de procesos biogeoquímicos para plantas y bacterias. Las plantas, en tanto, desempeñan funciones tales como airear el sistema radicular y proporcionar oxígeno a los microorganismos que habitan en la rizósfera, eliminación de contaminantes mediante procesos de asimilación y/o fijación, y filtración de sólidos a través de su sistema radicular (Gersberg et al., 1986).

Finalmente, los microorganismos (bacterias, hongos, algas y protozoos) degradan las sustancias contaminantes presentes en los efluentes para obtener nutrientes y/o energía necesaria para sus ciclos de vida (Hammer, 1992) (Figura 6).



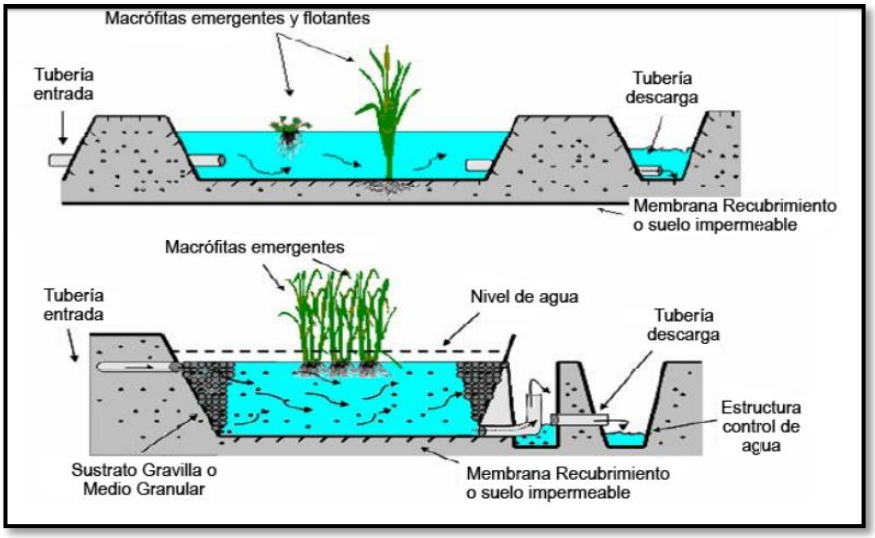
Fuente: (Adaptado de Wallace, 2007)

Figura 5. Interrelaciones de una macrófita en un humedal construido

Los sistemas de humedales artificiales se describen típicamente por la posición de la superficie del agua y/o el tipo de vegetación presente. Estos sistemas usan monocultivos o policultivos de plantas acuáticas (macrófitas acuáticas), las que son dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos. Se produce una simbiosis entre las comunidades bacterianas, presentes en el sustrato, y los rizomas y tallos de las plantas, encargados de realizar la remoción de contaminantes presentes en el agua a tratar, que ocurre junto con una serie de procesos físicos y químicos, los cuales intensifican la acción de la remoción. De esta manera, se distinguen dos tipos de humedales: Humedales de flujo superficial (HFS) y Humedales de flujo sub-superficial (HFSS) (Figura 7 y Tabla 4). En el primero, el flujo de agua está expuesto a la atmósfera y circula a través del sistema con un tiempo de retención hidráulico mínimo de 10 días. Procesos tales como sedimentación, mineralización, adsorción fisicoquímica, precipitación en el sedimento, asimilación de nutrientes y emisiones gaseosas, coexisten en estos sistemas. Sin embargo, estudios indican una baja eliminación de nutrientes (N y P), debido a la hidráulica del sistema (Verhoeven y Meuleman, 1999).

En los humedales de tipo HFSS, el flujo circula a través de un material poroso (grava, arena, entre otros), minimizando el efecto de vectores sanitarios. La limitante en esa configuración la constituye la concentración de la materia orgánica, cuyo valor está limitado aproximadamente a 150 mg/L, alcanzándose niveles de eliminación de un 60% (Metcalf y Eddy, 1995). Las consideraciones de diseño son fundamentales para optimizar el funcionamiento de un humedal construido Las consideraciones de hidráulica, reacciones bioquímicas, interacciones biológicas y microbiológicas hacen que estos sistemas tengan una proyección única respecto de su biodiversidad.

a) flujo superficial



Fuente: Adaptado de Plaza de los Reyes y Vidal, 2007.

Figura 6. Tipos de humedales: a) flujo superficial, y b) flujo sub-superficial

Tabla 4. Opciones de diseños de Humedales

Tipo	Diseño Típico	ventajas	Desventajas
Flujo Superficial	Sistema acierto, poco profundo, uso del suelo como medio para plantación	Bajo costo	Requerimiento de gran espacio de terreno, posibles herramientas para el control de pestes.
Flujo Sub-Superficial	Mayor profundidad, utilización de arena gruesa p gravilla como substrato	Menor exposición al medio ambiente, menos mosquitos, menor potencial de congelamiento	Mayor costo de construcción y operación.

Fuente: Jordi Morató, et al, Universitat Politècnica de Catalunya-España, 2009

2.4.6. Comparación de los sistemas de tratamiento convencionales vs. Naturales

Tabla 5. Comparación sistemas de tratamientos convencionales vs. Naturales

	Tratamiento Aerobio	Tratamiento Anaerobio	Humedales
Alta concentración y actividad			
Bacterias	+++	+++	+
Macrófilas	-	-	+
Eficiencia de eliminación			
Carga Orgánica	+++	+++	+
Nitrógeno	+++	++	+++
Fosforo	+++	+++	+++
Manejo eficientes de compuestos volátiles			
H_2S	-	+++	-
CH_4	-	+++	-
CO_2	-	+++	-
Eficiencia de Depuración	+++	+++	+
Eficiencia en producción de lodos	-	+++	-
Generación de olores	+	+	-
Promueve la biodiversidad	-	-	+++
Ayuda a mejorar el paisaje	-	-	+++

Muy buena (+++), Buena (++), Escala (+), No tiene (-)

Fuente: Adaptado de Plaza de los Reyes y Vidal, 2007.

Los sistemas naturales, al igual que los sistemas de tratamiento convencionales, resultan una herramienta eficaz para el tratamiento de aguas residuales, ya que poseen múltiples ventajas para la obtención de agua con una cierta calidad de acuerdo a su uso. Complementario a esto, pueden ser incorporados a la arquitectura y paisajismo de un lugar. La Tabla 5 compara tecnologías convencionales y naturales para tratar diferentes tipos de efluentes.

Los sistemas naturales son simples de operar, con bajo o nulo consumo energético, y con una buena integración en el medio ambiente natural Debido a la extensión de terreno que requieren, los

sistemas naturales preferentemente son implementados en comunidades pequeñas, y/o efluentes de bajo flujo en sectores rurales, mientras que los tratamientos convencionales se encuentran diseñados para tratar grandes volúmenes de agua, en espacios reducidos dependiendo del tipo de tecnología que se esté adaptando.

Los humedales construidos requieren de una superficie entre 20 y 80 veces superior a tecnologías convencionales Una de las desventajas principales de los sistemas naturales recae en la producción de gases de efecto invernadero tales como CH4, N2O y CO2, constituyentes importantes en el calentamiento global, y sus escasas alternativas de gestión, siendo este un aspecto que requiere de investigación.

2.4.7. Problemas de los sistemas de agua y depuración convencional

- Altos costos de inversión, energía e impacto en los ecosistemas.
- Alto consumo y desperdicio de agua de buena calidad.
- Contaminación de las aguas superficiales por patógenos.
- Pérdida para el ciclo de los ecosistemas agrícolas de los nutrientes contenidos en las excretas y desaprovechamiento.
- Degradación de las tierras agrícolas y eutrofización del ciclo del agua.
- Han demostrado ser insustentables y socialmente excluyente.
- Presentan limitantes geográficas y demográficas para su implementación.

Este tipo de métodos, además, requieren de plantas de tratamiento centralizadas, las cuales presentan varias desventajas. Se requiere de altos costos para su construcción, operación, consumo de energía, químicos, requerimientos de profesionales técnicos calificados, así como la pérdida de muchos nutrientes en el aire o en rellenos sanitarios.

2.5. SISTEMAS NATURALES PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA

2.5.1. Humedales

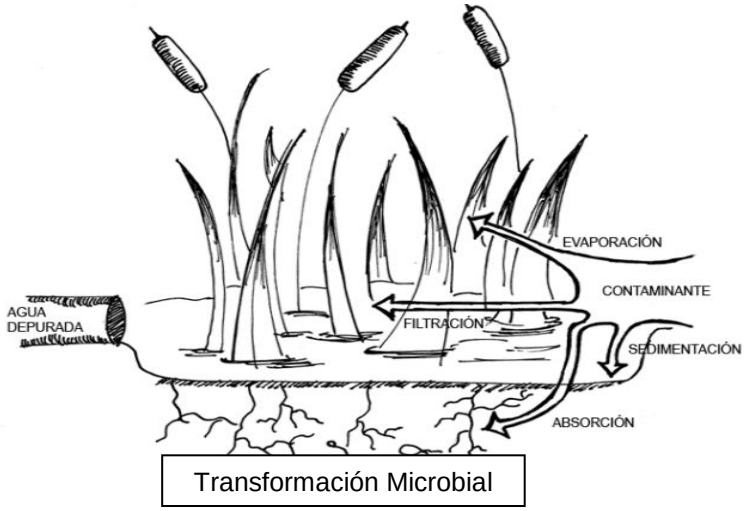
Según (Mena-Sanz, 2008). Los humedales son algo similar a un lago o laguna pero más pequeños y con grandes incorporaciones de vegetación. Éstos remueven contaminantes lentamente, siendo necesarias características extras para lograr un óptimo funcionamiento del sistema, como por ejemplo, el tener zonas bajas que permitan el crecimiento de plantas. La presencia de agua en los humedales permite el desarrollo de especies vegetales y comunidades microbianas.

Generalmente la vegetación es de tipo hidrofílica, y crece y se desarrolla en aguas o suelos en condiciones anaeróbicas; estas plantas también son conocidas como macrófitas, y son clasificadas como emergentes, flotantes y sumergidas. Las plantas emergentes son aquellas arraigadas al suelo, una parte crece bajo la columna de agua y otra fuera de ésta; la mayoría son herbáceas, siendo algunas de ellas: Phragmites australis, Typha spp., Carex spp., Juncus spp., Phalaris arundinacea; también se incluyen las especies leñosas.

En las flotantes, los órganos asimiladores flotan en la superficie y sus raíces se enraízan en el suelo, como por ejemplo: Lemna minor, Spirodela polyrhiza, Wolffia spp., Eichhornia crassipes y Egeria densa; mientras que las sumergidas se desarrollan completamente bajo la columna de agua, tales como Potamogeton spp., Myriophyllum spp. y Elodea spp. Las plantas requieren oxígeno para llevar a cabo la respiración celular, la fotosíntesis y la transpiración.

Las macrófitas han desarrollado complejos mecánicos para adaptarse a las fluctuaciones hídricas y a los cambios en las propiedades químicas de los suelos, por ejemplo, el desarrollo de tejidos (aerenchyma) para transportar el oxígeno a las raíces, favoreciendo la respiración celular y la oxidación. Algunas de las funciones o roles de

las macrófitas son vitales, ya que influyen en la hidrología, régimen de sedimentos y química del agua, ventilan el sistema radicular y proveen el oxígeno necesario para los organismos que habitan en la rizosfera, absorben nutrientes (nitrógeno y fósforo), eliminan contaminantes (asimilación directa en sus tejidos), filtran sólidos a través de sus sistemas radiculares, mitigan efectos del clima local, radiación y temperatura. Los principales procesos biológicos desarrollados en un humedal son: nitrificación, desnitrificación, metanogénesis y sulfato reducción.



Fuente: Modificado de Rramalho, 1996

Figura 7. Humedales

La nitrificación es la oxidación secuencial del amonio a nitrato, realizado por bacterias heterótrofas en dos etapas; la primera etapa es la oxidación del amonio a nitrito, y la segunda etapa es la oxidación del nitrito a nitrato, todo esto a temperaturas óptimas de 25 a 30 ºC y un pH de 6.6 a 6.8.

La desnitrificación es un proceso que es llevado a cabo por bacterias heterótrofas anaeróbicas, en el cual el nitrato se convierte en nitrógeno gaseoso; se realiza a temperaturas óptimas de 30 a 40 ºC y un pH de 6 a 8. La metanogénesis, así como la sulfato reducción, es llevada a cabo por bacterias anaeróbicas.

2.6. SANEAMIENTO SUSTENTABLE

(Mena-Sanz, 2008), Afirma que las infraestructuras de saneamientos sustentables tiene como objetivo superar las desventajas de los sistemas y enfoques que presentan los no de los principios claves para entender el enfoque, quizás sea el de entender y reconocer a las excretas humanas, no como un desecho, sino como un valioso recurso que puede ser usado y reciclado.

2.6.1. Características del saneamiento ambiental

- Ahorro, reusó o reciclaje de agua.
- Separara y reciclar: Separar las excretas y residuos y tratarlos de forma independiente.
- Retorno de los nutrientes contenidos en nuestras excretas (nitrógeno, fósforo y potasio) al suelo y uso en la producción agrícola.
- Protección de la salud humana, mediante la prevención de la contaminación de fuentes hídricas superficiales y subterráneas.
- Prevención de la contaminación de los recursos (físicos, bióticos y abióticos) y los ecosistemas terrestres y acuáticos. No sobrepasar la capacidad de carga de los ecosistemas donde se inserta.

2.6.2. Importancia del saneamiento ambiental

La situación actual a nivel global en cuanto al acceso a agua potable y los diferentes sistemas de depuración es crítica y con ello la vida de muchas personas en el mundo está en crisis frente a la posibilidad de acceder al saneamiento ambiental o sostenible.

Aquí unos datos incómodos que nos ayudan a entender la situación en el mundo:

- Actualmente 663 millones de personas en el mundo no tienen acceso a fuentes de agua potable.
- Al menos 1.800 millones de personas en el mundo utilizan una fuente de agua potable que está contaminada con materia fecal

- La escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial, y se prevé que esta cifra aumente. Más de 1.700 millones de personas viven actualmente en cuencas fluviales donde el consumo de agua es superior a la recarga.
- Actualmente, 2.400 millones de personas carecen de acceso a servicios básicos de saneamiento, como retretes o letrinas. De ellas cera de 1.000 millones practican la defecación al aire libre.
- Más del 80% de las aguas residuales resultantes de las actividades humanas se vierte en ríos o el mar sin ningún tipo de tratamiento.

2.6.3 Tipos saneamientos sustentables

- Sistemas de compostaje.
- Baños Secos Ecológicos.
- Re-utilización de heces tratadas en los sistemas agrícolas.
- Re-utilización de la orina tratada como bio-fertilzante en la producción agrícola.
- Sistemas de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.
- Filtros de aguas grises.
- Implantación de bio-digestores.
- Tanque de Evapotranspiración

2.7. OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS DE SALUBRIDAD

2.7.1 Un adecuado sistema de depuración es vital para la salud humana.

- La diarrea mata cada día a 5.000 bebés y niños.
- El acceso a inodoros higiénicos puede reducir estas muertes en más del 30%, y el lavado de manos en más del 40%.
- Los helmintos intestinales absorben alrededor de 1/3 de los alimentos que consume un niño, y la desnutrición es la causa del 50% de las enfermedades infantiles.

- La combinación de enfermedades agudas de las vías respiratorias y las diarreicas, hacen que el saneamiento inadecuado y la falta de higiene sean la principal razón de las muertes infantiles.
- El año 2015 varios países miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) adoptaron un conjunto de 17 objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible.
- Cada objetivo tiene metas específicas que se deben alcanzar para el año 2030. Para alcanzarlas, todo el mundo tiene que hacer su parte: los gobiernos, el sector privado, la sociedad civil y personas como tú y yo.



Fuente: ONU

Figura 8. Objetivos del desarrollo sostenible

El objetivo número 6 refiere a Agua Limpia y Saneamiento. Y sus metas son:

1. Para 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable, a un precio asequible para todos.

2. Para 2030, lograr el acceso equitativo a servicios de una red de drenaje e higiene adecuados para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones vulnerables.

3. Para 2030, mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad a nivel mundial.

4. Para 2030, aumentar sustancialmente la utilización eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir sustancialmente el número de personas que sufren de escasez de agua.

5. Para 2030, poner en práctica la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.

6. Para 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

7. Para 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y una red salubre, incluidos el acopio y almacenamiento de agua, la desalinización, el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos, el tratamiento de aguas residuales y las tecnologías de reciclaje y re-utilización.

8. Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y la red de alcantarillado.

2.8. TANQUE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN

Es una tecnología que propone la permacultura para el tratamiento y reutilización de aguas residuales domésticas y se planta en un sistema, donde se produce la descomposición anaeróbica de la mineralización de materia orgánica y la absorción de nutrientes y agua por las raíces. Los nutrientes salen del sistema mediante la incorporación a la biomasa de las plantas y el agua se elimina por evaporación. (GALBIATI, 2009)

El objetivo de la cámara de evapotranspiración es evaporar el agua residual a través del suelo y transpirar mediante las plantas durante un período determinado, bajo las condiciones meteorológicas y de humedad de suelo existentes. (GALBIATI, 2009)

2.9. UBICACIÓN DEL TANQUE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN

El espacio que necesita los humedales artificiales subsuperficiales son pequeñas áreas a diferencia de los humedales superficiales que necesitan más espacio. La pendiente más usada está entre 0 a 0,5%. En el caso que el suelo de la construcción del humedal es permeable se debe instalar un recubrimiento o geomembrana para evitar pérdida hídrica. (EPA, 2000)

2.10. COMPONENTES DEL TANQUE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN

2.10.1 Vegetación

La vegetación en los humedales artificiales subsuperficiales está compuesta por plantas tales como los juncos ("*Scirpus*"), carrizos ("*Phragmites*"), papiro ("*Cyperus papyrus*"), achira ("*Canna Indica*"), Papaya (Carica papaya), Plátano (*Musa paradisiaca)* y otras especies tolerables a la saturación. El objetivo de la vegetación es suministrar oxígeno a la zona radicular.

Las raíces son las estructuras responsables de depurar las aguas residuales ya que asimila y degrada la carga orgánica contaminante con el apoyo de los microorganismos. (Arias, O., 2004)

La energía solar es la única fuente que necesita la vegetación para obtener el carbono orgánico a partir del inorgánico, por ello los humedales artificiales son mencionados como ahorradores de energía ya que no utiliza energía no renovable. Por otra parte, la función de la vegetación es estabilizar el medio poroso filtrando la carga contaminante favoreciendo el crecimiento de los microorganismos.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras: Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo; dan lugar a velocidades de aguas bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen; toman el carbono, nutrientes y elementos traza y los incorporan a los tejidos de la planta; transfieren gases entre la atmosfera y los sedimentos; el escapa de oxigeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato; el tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos. (Lara, 1999)

2.10.2 Medio Poroso o Substrato

También llamado medio del lecho, en los humedales artificiales subsuperficiales se utilizan con frecuencia la grava. El medio poroso es el ámbito de la vegetación y de los microorganismos para su crecimiento y desarrollo. Durante la construcción del humedal artificial subsuperficiales se debe tomar en cuenta en la entrada y salida del flujo hídrico ya que es probable que se obstruya estos conductos y se malogre el sistema de tratamiento. Por otro lado si el medio poroso se asemeja a las características de la arcilla o limo, entonces habrá mayor capacidad de absorción, filtración y retención hidráulica. (Arias, O., 2004)

2.10.3. Microorganismos

Son los responsables de la depuración del agua contaminada, en los humedales artificiales subsuperficiales presenta una gran variedad de microorganismos y estos son dependientes a la temperatura y el sustrato o el medio poroso que se implemente en el humedal. También son dependientes del oxígeno que es suministrado por la vegetación. (Arias, 2004)

La interacción que existe entra la vegetación y el sustrato de los humedales artificiales genera una biopelícula, es decir presencia de actividad microbiana que reduce las concentraciones de sustancias tóxicas orgánicas e inorgánicas y emite gases. (Lara, 1999)

2.11. VENTAJAS DEL TANQUE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN

- Soporta fuertes variaciones de carga hidráulica y orgánica
- Ausencia de olores, insectos y ruidos molestos
- Posibilidad de tratar diferentes tipos de aguas
- Ausencia de vertido (con excepción de los periodos de fuertes lluvias)
- Estética muy agradable
- Óptima integración en cualquier entorno natural
- Mínimo mantenimiento
- No hay producción de lodos

2.12. TAXONOMÍA DE LA ESPECIE VEGETAL PLÁTANO (MUSA PARADISIACA)

Tabla 6. Taxonomía del Plátano (Musa Paradisiaca)

Reino:	Plantae
División	Magnoliopyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae

Genero	Musa
Nombre Científico	Musa paradisiaca
Nombre Común	Plátano
Variedad	Bellaco, Hargon o Barraganeta
Origen	Asia

2.13. DESCRIPCIÓN DEL PLÁTANO (MUSA PARADISIACA)

- **Hojas**: Muy grandes y dispuestas en forma de espiral, de 2-4 m. de largo y hasta de medio metro de ancho, con un peciolo de 1 m o más de longitud y limbo elíptico alargado, ligeramente decurrente hacia el peciolo, un poco ondulado y glabro.

- **Tallo:** El verdadero tallo es un rizoma grande, almidonoso, subterráneo, que está coronado con yemas; éstas se desarrollan una vez que la planta ha florecido y fructificado. A medida que cada chupón del rizoma alcanza la madurez, su yema terminal se convierte en una inflorescencia al ser empujada hacia arriba desde el interior del suelo por el alargamiento del tallo, hasta que emerge arriba del pseudotallo.

- **Raíces:** Son superficiales distribuidas en una capa de 30 - 40 cm, concentrándose la mayoría a los 15 a 20 cm. Son de color blanco y tiernas cuando emergen, posteriormente son duras, amarillentas. Pueden alcanzar los 3 m de crecimiento lateral y 1,5 m de profundidad. El poder de penetración de la raíz es débil, por lo que la distribución radicular está relacionada con la textura y estructura del suelo.

2.14. MECANISMO DE REMOCIÓN EN TANQUES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN:

El mecanismo de remoción en el tanque de evapotranspiración para las aguas residuales negras domésticas se lleva a cabo mediante complejo procesos físicos, químicos y biológicos. Los mecanismos principales de la remoción son la

conversión biológica, la adsorción y la filtración física. También la remoción es dependiente del tiempo de retención, el medio poroso, las cargas hidráulicas, el manejo o diseño que más adelante se mencionará.

- **Remoción de solidos suspendidos:**

Los tanques de evapotranspiración contienen vegetación, sustrato y presentan dos tipos de procesos que facilita la remoción de los sólidos suspendidos tales como la filtración y sedimentación. (Kolb, 1998)

- **Remoción de materia orgánica:**

La remoción de materia orgánica en los tanques de evapotranspiración se realiza por la adsorción de compuestos orgánicos en solución y por oxidación bacterial, ya que el suelo o el medio poroso contienen bacterias especializadas en degradar la materia orgánica. (Delgadillo & otros, 2010)

La remoción de materia orgánica tiene lugar principalmente mediante biodegradación anaeróbica, que se realiza en las llantas que están situadas al fondo del tanque. Una pequeña porción también es removida por procesos físicos como la sedimentación y filtración, cuando la materia orgánica es fijada a los sólidos suspendidos. (Kolb, 1998)

2.15. DISEÑO DEL TANQUE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN:

El presente cálculo para humedales artificiales de flujo SSH, es recomendable solo para pequeñas vivienda de hasta un máximo de 10 personas.

Si se desea calcular un humedal para mayores usuarios u otro tipo de establecimientos se recomienda utilizar la ecuación de Redd (1993).

2.15.1. Contribución Diaria (Cd)

Es importante considerar que para que el humedal sea eficiente el efluente deberá de pasar al menos 4 días en el interior del canal (zona media). Este tiempo lo podremos considera como el “tiempo de residencia mínimo” en el canal.

Debemos de considerar una relación largo/ancho de 2:1 o 4:1esto con el fin de asegurar una distribución homogénea del efluente en todo el volumen del humedal.

Dónde:

- #P=Número de personas que viven en la casa
- Cliq=Contribución de líquidos por personas
- TRH= Tiempo de retención Hidráulico
- Cd = Contribución diaria

*Si multiplicamos el número de personas por la contribución de líquidos de cada uno obtendremos la contribución diaria (Cd) que entra al humedal.

$$Cd = \#P \times Cliq \quad \text{.....Ecuación 1}$$

2.15.2 Volumen de la zona media (Vm)

Si multiplicamos la Cd por 4 (tiempo de residencia en la zona media) obtendremos el volumen de la zona media (Vm)

Dónde:

- TRH= Tiempo de retención Hidráulico
- Cd = Contribución diaria
- Vm= Volumen de la zona media

$$Vm = Cd \times TRH \quad \text{.....Ecuación 2}$$

2.15.3 Área superficial de la zona media

La altura donde se desarrollaran las raíces de las plantas será la profundidad útil del humedal (Pu), que será de 1.5 m.

Entonces si dividimos el volumen de la zona media (Vm) por la profundidad útil del humedal (Pu), obtendremos el área superficial de la zona media (As).

Dónde:

- Vm= Volumen de la zona media
- Pu=Profundidad Útil
- As=Área superficial de la zona media

$$As = Vm / Pu \quad \text{.....Ecuación 3}$$

Para que la circulación del agua sea la adecuada debe haber una relación de 2:1 entre largo y ancho del humedal construido. Vamos a proponer entonces un largo de 2 m, ancho de 1 m y para la zona media del humedal.

Pero no debemos olvidar que al largo del humedal debemos de sumarle 1 m, que corresponde a la zona de entrada (0.5 m) y la zona de salida (0.5 m).

2.16. MARCO LEGAL

Las legislaciones peruanas cada vez están siendo correctas y más estrictas a pesar que somos un país de poca conciencia ambiental. A continuación se detalla algunas leyes importantes acerca del cuidado del recurso hídrico y el medio ambiente y así cumplir con el desarrollo sostenible del país.

- **Constitución política del Perú (1993):**

Indica al aprovechamiento de los recursos naturales renovables y no renovables de forma sostenible, para ello se debe cumplir con la política nacional del medio ambiente. Por último se debe conservar las áreas naturales y la biodiversidad para satisfacer las necesidades de las futuras generaciones. (Art. 66, 67, 68)

- **Ley general de aguas (Decreto supremo N° 17752)**

Indica la calidad del recurso hídrico para las aguas de abastecimiento domestico con tratamiento; aguas para riego de vegetales; aguas para zonas recreativas, pesca recreativa o comercial, y de preservación de la fauna acuática. (Decreto Supremo N° 17752)

- **Código del medio ambiente y de los recursos naturales (ecreto legislativo N° 613)**

En este decreto se prohíbe la descarga de efluentes con alta carga de contaminantes que altere negativamente al medio ambiente. (Capítulo IV, art. 14).

- **Código sanitario (Decreto Ley N° 1705)**

Toda persona en territorio peruano tiene la responsabilidad de cuidar los cursos de aguas a través del cumplimiento de las normas de salud pública. (Saneamiento ambiental, art. 146)

- **Ley general del ambiente (Ley N° 28611):**

El estándar de calidad ambiental o llamado “ECA” se define como la concentración de alguna sustancia en cualquier cuerpo receptor que no sea riesgoso para la salud humana y el medio ambiente. (Art. 32)

El límite máximo permisible o llamado “LMP” se define como la concentración de alguna sustancia de un efluente o emisión que al pasar el límite es riesgoso para la salud humana y el medio ambiente. (Art. 32)

- **MINAM (Decreto N° 003-2010):**

Decreto que aprueba los límites máximos permisibles para los efluentes de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales. (Art. 1)

- **Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (R.M. 273 – 2013 VIVIENDA):**

Resolución que establece el protocolo de monitoreo para los afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales tanto sea municipal o doméstica. (R.M. 273 – 2013 MVCS)

2.17. DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Turbidez**

Es el parámetro físico que mide la transparencia de cierto volumen de agua. La transparencia depende del contenido de partículas en suspensión. Cuando el agua está sucia entonces presenta sólidos en suspensión por lo tanto aumenta la

turbidez. Su unidad de medida está expresada en NTU (unidades nefelométricas de turbidez). (Rigola, 1990)

- **Sólidos suspendidos totales**

Parámetro fisicoquímico que indica la cantidad de solidos retenidos durante la filtración en volumen de agua. Los sólidos encontrados en el agua son orgánicos e inorgánicos. Los orgánicos tenemos a las fibras de plantas y bacterias. Mientras los sólidos inorgánicos son la arena, arcilla y sales. (Campos, 20003)

- **Demanda bioquímica de oxigeno (DBO (5)):**

La demanda bioquímica de oxigeno (DBO (5)) consiste en la cantidad de oxígeno que demanda los microorganismos para oxidar o estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas. (Ramalho, 1996)

- **Demanda química de oxigeno (DQO)**

La demanda química de oxigeno (DQO) es un parámetro fisicoquímico que consiste en medir el oxígeno equivalente para oxidar la materia orgánica por proceso químicos con la ayuda de un agente oxidante fuerte llamado dicromato de potasio. (Ramalho, R., 1996)

- **Aguas residuales**

Las aguas residuales de forma general son una mezcla de todo efluente generado por diversas actividades antrópicas que son vertidas sin previo tratamiento ocasionando impactos negativos hacia el medio ambiente y la salud humana. Por ello es necesario tomar medidas de prevención mediante diferentes tipos de tratamientos de aguas residuales. (Rolim, 2000)

- **Agua residual doméstico**

Comúnmente son aguas residuales generadas por las viviendas o actividades antrópicas domésticas tales como: Lavado de ropa, lavado de plato, limpieza de vehículos, etc. Las aguas residuales domesticas son de dos formas, aguas grises y aguas negras o fecales. Estas aguas presentan altos contenidos de materia orgánica, patógenos, detergentes, nutrientes de fósforo y nitrógeno. (Romero, 2004)

- **Aguas grises**

Las aguas grises tienen como característica principal su color que es propiamente dicha “Gris”. Son generadas por las actividades domésticas del hombre tales como el lavado de ropa, duchas y bañeras. No se considera a los inodoros. (Romero, 2004)

- **Aguas negras**

También llamadas aguas fecales o aguas cloacales, estas son las producidas en los inodoros y mingitorios, contienen sólidos y elementos patógenos que son expulsados por el cuerpo humano. (Salazar, 2003).

- **Contaminación de aguas**

Es alterar el sistema hídrico de un ecosistema causado naturalmente o por actividades humanas, estas son muy frecuentes ya que cada vez la población va creciendo y a su vez genera más consumo hídrico y por ende más efluentes contaminantes. La contaminación, en cualquiera de sus formas, es cuestión de concentración. (Orozco, 2005)

- **Tratamiento preliminar**

Consiste en tratar las aguas residuales a través de la separación de aceites, grasas, sólidos, etc. Es un tratamiento simple ya que solo se encarga en las propiedades físicas que presenta las aguas residuales. Su objetivo principal es evitar el ingreso de los sólidos gruesos presente en el agua residual. Si estos no se eliminan generará problemas en el funcionamiento de los procesos posteriores.

- **Tratamiento secundario**

Los tratamientos secundarios su función es remover cargas orgánicas y patógenas de las aguas residuales domésticas. También se usa bacterias anaeróbicas, facultativas y aeróbicas. Entre los diferentes tipos de tratamiento secundarios elegí los humedales artificiales debido a que utiliza poca energía y es estético ya que usa vegetación ornamental.

- **Caudal**

Parámetro físico que determina el volumen de agua que pasa por una sección en un tiempo determinado. A su vez la relación que existe entre volumen y el tiempo son directamente proporcionales. La medición del caudal se realiza a través de un recipiente con la ayuda de un cronómetro. La unidad de medida para este caso se expresa en m3/s. (Londoño, L.; Marín, C., 2009)

- **Temperatura**

Es un parámetro físico esencial para evitar inconvenientes durante el funcionamiento del humedal artificial ya que genera malos olores y gases de invernadero. A su vez, al aumentar la temperatura también incrementa la remoción de demanda bioquímica de oxígeno y nitrógeno. (Londoño, L.; Marín, C., 2009)

- **Vivienda unifamiliar**

Es aquella vivienda en la que habita una familiar por lo general de uno o más pisos esta también puede ser una residencia habitual permanente o temporal, para una sola familia.

- **Evaporación**

La evaporación es el proceso físico por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, retornando directamente a la atmósfera en forma de vapor. También el agua en estado sólido (nieve o hielo) puede pasar directamente a vapor y el fenómeno se denomina sublimación. La radiación solar proporciona a las moléculas de agua la energía necesaria para el cambio de estado. (Morales, 2015).

- **Transpiración**

Es el proceso físico-biológico por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso a través del metabolismo de las plantas y pasa a la atmósfera. Esencialmente es el proceso físico desde la cual se escapan las moléculas del líquido no es de agua libre sino que es la superficie de las hojas. Están compuestas por finas capas de células (mesodermo) y poseen una delgada epidermis, la cual posee numerosas estomas. (Morales, 2015).

- **Fuente**

Es el espacio natural desde el cual se derivan los caudales demandados por la población a ser abastecidas. Pueden ser superficiales o subterráneas.

- **Aeración**

Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido). (OS 90).

- **Afluente**

Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento (OS 90).

- **Anaerobio**

Condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre (OS 90).

- **Biodegradación**

Transformación de la materia orgánica en compuestos menos complejos, por acción de microorganismos. (OS 90).

- **Impacto ambiental**

Cambio o efecto sobre el ambiente que resulta de una acción específica (OS 90).

- **Medio poroso o substrato**

También llamado medio del lecho, en los humedales artificiales subsuperficiales se utilizan con frecuencia la grava. El medio poroso es el ámbito de la vegetación y de los microorganismos para su crecimiento y desarrollo. Durante la construcción del humedal artificial subsuperficiales se debe tomar en cuenta en la entrada y salida del flujo hídrico ya que es probable que se obstruya estos conductos y se malogre el sistema de tratamiento. Por otro lado si el medio poroso se asemeja a las características de la arcilla o limo, entonces habrá mayor capacidad de absorción, filtración y retención hidráulica. (Arias, O., 2004)

- **Microorganismos**

Son los responsables de la depuración del agua contaminada, en los humedales artificiales subsuperficiales presenta una gran variedad de microorganismos y estos son dependientes a la temperatura y el sustrato o el medio poroso que se implemente en el humedal. También son dependientes del oxígeno que es suministrado por la vegetación. (Arias, 2004)

- **Carbón activado**

El carbón activado está hecho de una serie de materiales, incluyendo al lignito a la hulla bituminosa y también a las cáscaras carbonizadas de madera o coco. La activación del carbón se produce a altas temperaturas, generalmente en presencia de vapor, dióxido de carbono o aire. Esto crea una estructura que es muy porosa, lo que le otorga una superficie extremadamente grande de entre 500 y 1.500 metros cuadrados por gramo. El carbón activado puede atrapar diferentes productos químicos por medio de una propiedad conocida como adsorción. Cuando un líquido o gas entran en contacto con el carbón activado, éste atrae y retiene uno o más átomos, moléculas o iones en su superficie. Es un material que se caracteriza por poseer una cantidad muy grande de microporos (poros menores a 2 nanómetros de radio) a causa de su alta microporosidad. (Marsh, 1989)

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

En el estudio se empleó el tipo de investigación experimental cuantitativo - descriptivo:

Experimental-cuantitativo: Es un estudio cuantitativo**,** porque se midieron las variables antes y después del tratamiento. Es experimental porque se manipulo la variable independiente que viene hacer la cámara de evapotranspiración y se observó los cambios en la variable dependiente que viene hacer la calidad del agua residual.

Descriptivo: Es descriptivo porque las fases experimentales fueron descritas según las etapas a los que fueron sometidas las variables. Los resultados fueron sometidos al procedimiento estadístico Prueba t de student para muestras independientes y utilizarse para comparar las medias de dos grupos.

3.2. ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica en una vivienda unifamiliar con dirección AA.HH. 10 de Marzo Mz_B Lote_20, en la longitud 74° 32´ 48.4" W, latitud 8° 23´11"S y tiene una altitud de 153 m.s.n.m. del distrito de Manantay perteneciente al departamento de Ucayali. Se utilizará el software Google maps para la respectiva localización.

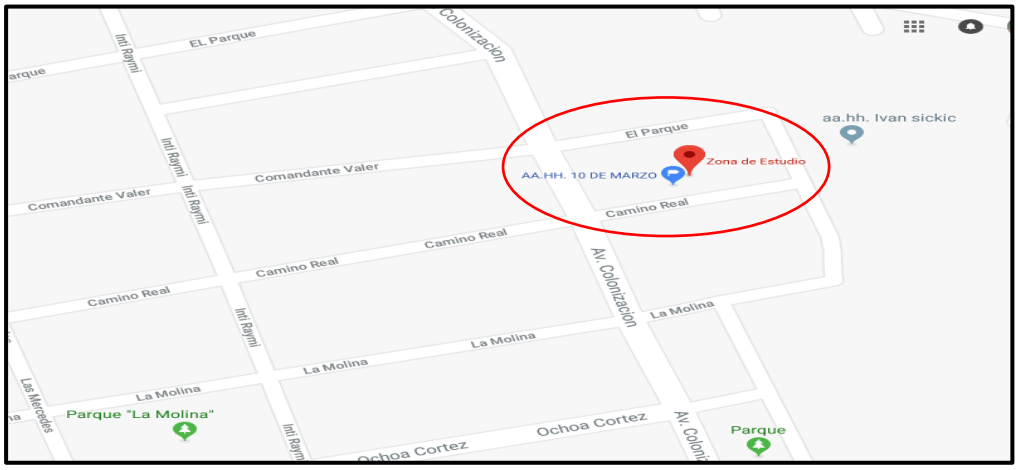


Figura 9. Localización del tanque de evapotranspiración en el AA.HH. 10 de Marzo.

La temperatura promedio en el distrito de Manantay es de 26 °C, con picos que pueden alcanzar 34 °C en los días más calurosos. A mediados del 2008, la temperatura alcanzó los 37 °C. Las precipitaciones se producen entre los meses de octubre y diciembre. Durante este período, la temperatura baja hasta 21,5 °C aproximadamente. Se han llegado a reportar más de 40 °C, siendo de los registros más calurosos de la selva baja.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

- **Población**

  Para el presente estudio, la Población fueron los 40 l/día de caudal de las aguas residuales negras domesticas generada por una vivienda del AA.HH. 10 de Marzo del Distrito de Manantay - Departamento de Ucayali; se utilizara el efluente de la taza del baño (agua negro) generado por una familia de la zona rural.

- **Unidad de análisis:** El agua residual negro doméstico.

- **Muestra**

  La muestra para el tratamiento fue tomada de las aguas residuales negras domésticas generada por una vivienda del HH. 10 de Marzo del Distrito de Manantay - Departamento de Ucayali, de manera dirigida por conveniencia y facilidades para la investigación. Para los respectivos análisis se tomara seis litros (6 l) de muestra del afluente y doce litros(12 l) de muestra del efluente de cada cámara de evapotranspiración construida (la primera con carbón activado, tanque Sedimentador secundario, cloración. Y la segunda como testigo) en su forma original.

Tabla 7. Tipo de Muestreo que se va emplear es al azar

MUESTRA	N° MUESTRAS	Volumen x muestra
• Aguas residuales negras domiciliarias del afluente.	06	1 l
• Aguas residuales negras domiciliarias del efluente (la primera cámara de evapotranspiración y la segunda como testigo).	12	1 l

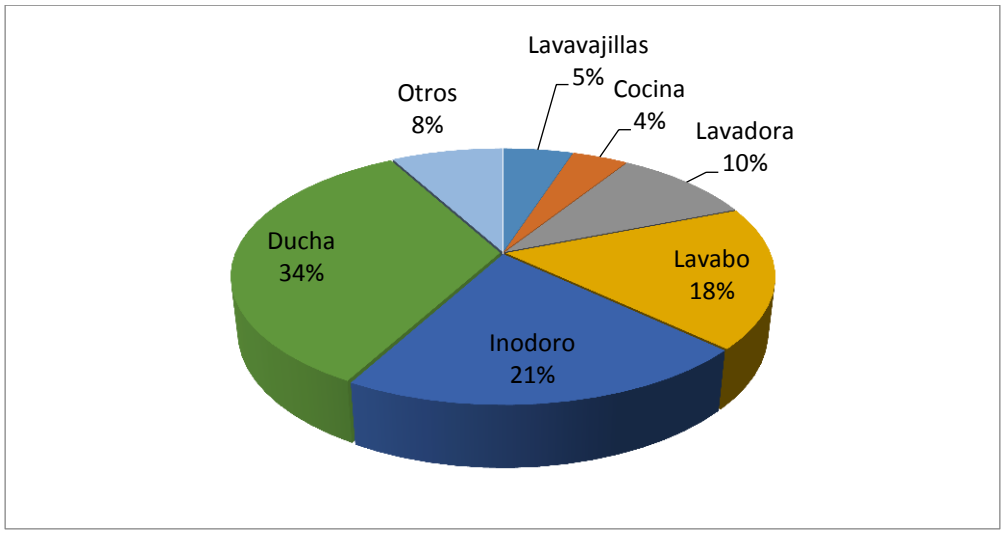
- **Tipo de muestreo:** Dirigido y puntual.

3.4. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los procedimientos de recolección de datos se describen a continuación:

a) Consumo de agua en la vivienda

El consumo medio real sobre la base de los resultados de sectores que operan con micro medición es del orden de los 180 l/hab./día. (SSGRH, 1997). Este dato se tomara en cuenta para realizar nuestros cálculos y mediciones del tanque de evapotranspiración.



Fuente: Ministerio de vivienda construcción y saneamiento- Perú (SSGRH, 1997)

Figura 9. Consumo de agua en una vivienda

b) Medición de caudal de entrada al tanque de evapotranspiración

Para obtener el caudal inicial de la vivienda, se tomó como dato importante el volumen y capacidad del Inodoro, siendo 4.8 LPF (Litros por Flujo); es decir cada vez que se jala la cadena se consumen en promedio 4.8 l de agua. También tener en cuenta que en la vivienda habitan 4 personas, las mismas que hacen el uso del servicio sanitario.

- **Uso del servicio sanitario:**

*Normal: 2 usos / día / 1 persona x 4.8. x 1 día =9.6 l / día

*2 usos por día x 4 miembros x 4.8. x 1 día = 38.4 l/día (Representa el 21% del consumo diario del inodoro).

Por lo tanto el caudal de ingreso de la familia al Tanque de evapotranspiración es de 38.4 l/día, pero se tomara en cuenta un caudal máximo de 40 l/día.

c) Cálculo matemático del diseño

De acuerdo a los cálculos matemáticos de GALBIATI se debe optar por la relación 2:1, este fue hallado por los antecedentes de la presente investigación. Para realizar el desarrollo matemático se usará el software Excel. A continuación se calculará las dimensiones para la construcción del tanque de evapotranspiración:

Tabla 7. Datos principales para el cálculo del tanque de evapotranspiración

Datos de diseño	Cantidad y/o especie	Unidad de medida
Caudal	40	l/día
Población	4	Hab
Vegetación	Plátano bellaco (Musa Paradisiaca)	
Profundidad del Tanque de evapotranspiración (Pu)	1.5	m
# Celdas	2	
Tiempo de retención Hidráulica	28	Días

- Reemplazando Ecuación 1

$$Cd = \#P \; x \; Cliq$$

Cd	160 l/día

- Reemplazando Ecuación 2

$$Vm = Cd \; x \; TRH \ldots\ldots Ecuación\ 2$$

Vm	4480l ó 4.5 m^3

- Reemplazando Ecuación 3

$$As = Vm / Pu \ldots\ldots Ecuación\ 3$$

As	3 m^2

Por lo tanto ambos tanques tendrán las siguientes dimensiones, como se muestra a continuación.

Tabla 8. Dimensiones finales del tanque de evapotranspiración serán:

Tanque de evapotranspiración 1		**Tanque de evapotranspiración 2 (Testigo)**	
Ancho	1 m	**Ancho**	1 m
Largo	1.5 m	**Largo**	1.5 m
Profundidad	1.5 m	**Profundidad**	1.5 m

Las dimensiones de largo y ancho para cada tanque de evapotranspiración son 1.5 m y 1 m respectivamente.

d. Diseño de la cámara de evapotranspiración

Antes de construir se comunicó a la propietaria de la vivienda unifamiliar para disponer un área para la implementación de las cámaras de evapotranspiración, lo cual se obtuvo el patio de la vivienda. Para la presente investigación se diseñó dos cámaras de evapotranspiración de tipo subsuperficial de acuerdo a la cantidad de contaminante orgánico presente en el agua residual domestica negra generada por la vivienda unifamiliar. La entrada para cada cámara de evapotranspiración presento un Sedimentador formado por un sólo bidón azul (polietileno de alta densidad) para almacenar el agua contaminada. En la salida de la primera cámara de evapotranspiración se colocó un Sedimentador secundario que en su interior contiene un filtro de carbón activado y como tratamiento final la cloración, con pastillas de cloro. A la salida de la segunda cámara de evapotranspiración (testigo) se colocó un tubo de PVC de 4 pulgadas para el recojo de las muestras del tratamiento.

Las dimensiones de cada cámara de evapotranspiración son: Largo (1,5 m), ancho (1 m) y profundidad (1,5 m). Con respecto al contenido de cada cámara de evapotranspiración, el primero contiene un tratamiento primario, secundario, terciario y cloración. La segunda cámara de evapotranspiración (Testigo) no contiene tratamiento terciario (Sedimentador secundario, filtro de carbón activado y cloración). En la siguiente figura N° 10 se detallará el diseño de los humedales utilizando el software AutoCAD.

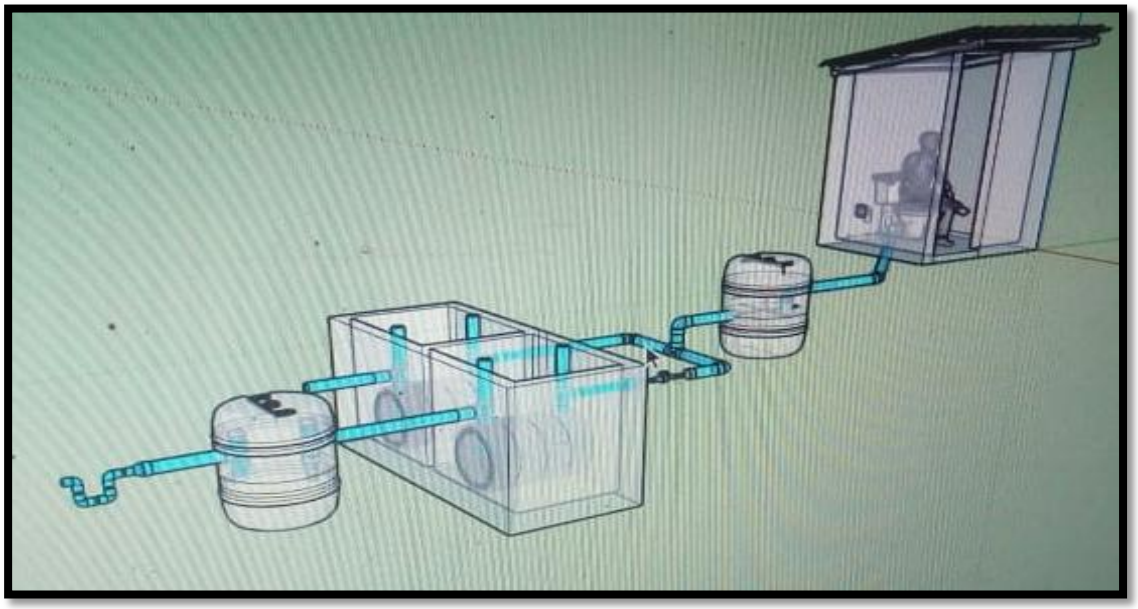


Figura 10. Diseño general de las cámaras de evapotranspiración

e. Implantación del Sistema

Este sistema fue aplicado en una escala completa en un hogar con 4 residentes. El TEvap será impermeable y construido de ladrillo y cemento, hecho en una zanja en el suelo, las dimensiones de 1,5 m de profundidad, 1 m de ancho y 1,5 m de longitud. El borde del tanque será unos 10 cm por encima de la superficie del suelo para evitar el escurrimiento del agua de lluvia en el sistema. Se colocara un tanque Sedimentador primario como primera etapa del tratamiento, seguida de una malla fina para retener algunos solidos fecales gruesos que puedan obstruir el medidor de caudal, en este medidor de caudal se colocó de manera provisoria hasta evaluar el caudal de ingreso a la PTAR. Posteriormente se colocó una cámara formada por la alineación de los neumáticos (llantas) que será colocada en la parte inferior del tanque de modo que el efluente pueda salir de la cámara, pasando entre las llantas. Las aguas residuales de entrada se colocaran en esta

cámara. Alrededor de la misma, se colocara una capa de piedras de 30 cm y diámetro de 30 cm, una capa de grava de 15 cm de 1 pulgada ½ , una capa de grava de 15 cm de 1pulgada, una capa de 30 cm de arena fina, una capa de 20 cm de carbón activado y una capa de 30 cm de suelo o tierra negra para sembrar el plátano. (GALBIATI, 2009). Finalmente se colocara un tanque Sedimentador secundario y como tratamiento final la cloración.

En el TEvap como testigo, se colocó una cámara formada por la alineación de los neumáticos (llantas) que será colocada en la parte inferior del tanque de modo que el efluente pueda salir de la cámara, pasando entre las llantas. Las aguas residuales de entrada se colocaran en esta cámara. Alrededor de la misma, se colocara una capa de piedras de 30 cm y diámetro de 30 cm, una capa de grava de 15 cm de 1 pulgada ½ , una capa de grava de 15 cm de 1 pulgada, una capa de 30 cm de arena fina y una capa de 50 cm de suelo o tierra negra para sembrar el plátano. (GALBIATI, 2009).

A la salida de ambos tanques será colocado un tubo de drenaje de 4 pulgadas de diámetro, 18 cm por debajo de la superficie del suelo en caso de fuga del tanque. Se instalara 3 tubos piezómetro (visita), hecha con tubos de PVC de 4pulgadas de diámetro, con acceso al túnel de neumáticos, filtros granulométricos (grava, arena y carbón activado) en la entrada y salida del tanque para el mantenimiento y para recoger muestras del efluente. (GALBIATI, 2009)

En la superficie, tres plantas serán sembradas de plátano (Musa *paradisiaca*) distribuidos a lo largo del centro del tanque, y plantas ornaméntales por la mitad. (GALBIATI, 2009)

Después de la siembra, el depósito se llenara completamente con agua para dar cabida a los sustratos y la verificación de la capacidad neta de la cisterna. El volumen de agua que se va a introducir inicialmente en el tanque se mide con un hidrómetro. Se creara una escala, correlacionando el volumen de agua contenido en el depósito con cada nivel de agua medida en el interior del piezómetro, con la ayuda de una cinta métrica. La calibración de esta escala se realizara mediante la adición progresiva de volumen conocido de agua en el tanque y comprobar el cambio en el nivel de antes del inicio de la operación del sistema. (GALBIATI, 2009)

Para el inicio del funcionamiento del sistema, el tanque estará conectado a la tubería de desagüe del inodoro. (GALBIATI, 2009)

f. Construcción de las cámaras de evapotranspiración

Primero se hará zanja de acuerdo a la medida diseñada por cada cámara de evapotranspiración. Luego se realizará el encofrado para fortalecer y evitar el desborde de las cámaras de evapotranspiración. En la siguiente figura N° 11 se observa las zanjas:



Figura 11. Zanjas de las dos cámaras de evapotranspiración

Cada cámara de evapotranspiración consta de una impermeabilización de concreto. Inmediatamente se pondrá las capas de sustrato granulométricas como material de relleno de cada cámara de evapotranspiración.



Figura 12. Fila de neumáticos en una cámara de evapotranspiración

Los neumáticos colocados en una de las cámaras de evapotranspiración, han sido previamente reciclados, este tratamiento secundario anaeróbico, tendrá la función de tratar el agua residual en ausencia de oxígeno. Asimismo se colocó un tubo de inspección para observar el tratamiento.



Figura 13. Instalación del tanque Sedimentador

El tanque Sedimentador, recepcionará el ingreso del agua residual negra proveniente del inodoro, esta es la primera etapa del tratamiento o tratamiento primario. Se estima que en esta etapa se sedimentara el 80% de los huevos de helmintos.



Figura 14. Colocación de tubos de Inspección

En la figura 14, se observa los tubos de inspección colocados en el interior de la cámara. Cada cámara cuenta con 4 tubos de inspección, desde el tratamiento anaeróbico, sustrato de piedras de 25 cm de diámetro, sustrato de grava de 1pulgada ½ y sustrato de arena, respectivamente. Estos tubos nos servirán para poder observar la eficiencia de remoción que surge en cada sustrato.



Figura 15. Cámara de evapotranspiración con filtro de carbón activado, tanque secundario y cloración

En la figura 15, observamos que la cámara de evapotranspiración cuenta con un tratamiento terciario, constituido por un filtro de carbón activado de coco, un Sedimentador secundario y como tratamiento final, la cloración para matar algunos patógenos que pueda contener el agua residual tratada. Y posteriormente ser vertido al suelo que por infiltración llegara a la napa freática, sin causar ningún tipo de impacto negativo al agua subterránea.



Figura 16. División de la red de agua residual negra a las dos cámaras de evapotranspiración

En la figura 16, se nivelo el terreno para que la caída por gravedad del agua residual sea la misma para ambas cámaras de evapotranspiración.



Figura 17. Plantación de la especie vegetal Plátano (Musa Paradisiaca)

En la figura 17, podemos apreciar que se plantaron 06 unidades de la especie vegetal Plátano (Musa Paradisiaca), para cada cámara de evapotranspiración, uno con tratamiento terciario y el otro como testigo, ambos contienen 3 plantaciones de la especie vegetal Plátano (Musa Paradisiaca) respectivamente.

g. Monitoreo de agua

Para el procedimiento de muestreo es necesario disponer de un protocolo que describa la toma de muestra, etiquetado, tipo de recipiente, su manipulación previa y transporte hasta el análisis en el laboratorio. Estos se observan en los anexos de la presente investigación.

Para el desarrollo del plan de muestreo se utilizará la siguiente norma:

- ✓ Resolución Ministerial N° 273 – 2013 – VIVIENDA: Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR.

La toma de muestras se realizará con el empleo de botellas (toma – muestras), enjuagadas previamente con la misma agua a muestrear. Los puntos de muestreo son dos. El primero en la entrada de la cámara de evapotranspiración y la segunda en su salida. La muestra recogida de la entrada y salida de la cámara de evapotranspiración construida se identificará como EV y SV respectivamente.

El material de los envases se escoge en función de los parámetros a analizar, respetando siempre la normativa vigente.

El investigador al momento de tomar la muestra debe presentar su equipo de protección personal de acuerdo al protocolo. Posteriormente las muestras son transportadas inmediatamente al Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional de Ucayali. Se usará un cooler para mantener las muestras.

h. Realización de muestreo de agua en campo y laboratorio

- **Lugar de análisis de muestras de agua**

El análisis de los parámetros físico-químicos se realizaron en campo con los equipos proporcionado por el laboratorio de Microbiología de la Universidad

Nacional de Ucayali. Los análisis de parámetros microbiológicos se realizaron en el laboratorio de calidad ambiental de la Universidad Nacional de Ucayali.

También se mandó a análisis los parámetros fisicoquímicos al Laboratorio acreditado de Natura Analítica S.A.C para comparar los resultados obtenidos con el laboratorio de microbiología de la universidad Nacional de Ucayali.

- **Selección de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos**

Dentro de los parámetros de análisis se seleccionaron a los parámetros de control de laboratorio obligatorios: coliformes termotolerantes, turbiedad, $DBO_{(5)}$, Huevos de Helmintos y parámetros adicionales de control de campo obligatorios como: Sólidos suspendidos totales, temperatura y pH.

- **Esterilización de materiales**

Los materiales de laboratorio tales como los frascos de vidrio para toma de muestra, placas tetri entre otros se esterilizarán tal y como se describe a continuación:

a) Lavar correctamente los materiales a esterilizar, y cubrir con ayuda del papel periódico.
b) Seguidamente agregar agua a la autoclave.
c) Luego colocar los materiales a esterilizar, cerrar y asegurar la autoclave.
d) Esterilizar por 1 hora hasta que llegue a una temperatura de 120°C.
e) Esperar a que se enfrié la autoclave, luego proceder a retirar los materiales esterilizados.

- **Métodos de análisis de laboratorio para parámetros microbiológicas**

Los cuales se describen a continuación:

Coliformes termotolerantes

Para determinar los coliformes termotolerantes se utilizó el método filtración de membrana establecida en la NTP 214.032 (2001), que consiste en:

a) Realizar la desinfección complete del el área de trabajo con alcohol, luego colocar los insumos, equipos y materiales a utilizar.

b) Seguidamente colocar y encender los mechero de alcohol de 10 a 15 minutos antes de empezar con el procedimiento para esterilizar el área de trabajo.

c) De forma paralela rotular las muestras y placas petri a utilizar de forma ordenada, se debe de considerar una placa petri en blanco para constatar de que no hubo algún tipo de contaminación en el área de trabajo.

d) Así mismo se va instalando el equipo portátil bacteriológico (que está compuesto por un vaso de medición de plástico y una rejilla de filtración a los cuales se debe de esterilizar cada vez que se utilice) que a su vez va conectado por medio de una manguera a un Kitasato de polisulone y a una bomba de membrana.

e) Seguidamente se coloca la rejilla de filtración, luego con ayuda de la pinza esterilizada colocar el papel filtro y el vaso de plástico en uno de los compartimientos de succión, posteriormente agregar 100 ml de la muestra y encender la bomba de succión hasta que se filtre toda la muestra.

f) Luego con ayuda de la pinza retirar el papel filtro y colocarlo encima del medio de cultivo (AFC), es importante realizar este procedimiento acercando la placa petri al mechero de alcohol para evitar contaminación y tener en cuenta el sellar la placa petri rodeando los bordes con la llama del mechero.

g) El procedimiento es el mismo para todas las muestras, luego se procede a colocar las placas petri (se coloca boca abajo) en la estufa a 37°C por 24 horas.

h) Finalmente lavar los instrumentos utilizados y dejar limpio y ordenado el área de trabajo.

- **Métodos de análisis de laboratorio para parámetros fisicoquímicos**

  Los cuales se describen a continuación:

  1. **$DBO_{(5)}$**
  2. **Huevos de Helmintos**
  3. **Solidos Suspendidos Totales**

4. Temperatura

Para determinar la temperatura consiste en:

a) Desinfectar completamente el área de trabajo con alcohol, y colocar los materiales a utilizar.
b) Encender el medidor e introduzca la sonda de temperatura en la muestra.
c) Automáticamente el multiparámetro Hach HQ40 mostrara el resultado.
d) Finalmente lavar los instrumentos utilizados y dejar limpio y ordenado el área de trabajo.

5. Potencial de hidrogeno (pH)

Para determinar el pH consiste en:

a) Desinfectar completamente el área de trabajo con alcohol, y colocar los materiales a utilizar (previa esterilización).
b) Encender el medidor e introduzca la sonda de pH en la muestra.
c) Pulse la tecla VERDE/ DERECHA que se encuentra debajo de medición.
d) Seguidamente la pantalla mostrara el mensaje “Estabilizando” y una barra de progreso se ira llenando de 0 a 100% a medida que la sonda se estabiliza. La estabilidad se determina utilizando un cambio fijo en la ecuación señal/tiempo. Aparecerá el icono del candado y el resultado se memorizara automáticamente se registrara el resultado obtenido.
e) Finalmente lavar los instrumentos utilizados y dejar limpio y ordenado el área de trabajo.

6. Turbiedad

Para determinar la turbiedad consiste en:

a) Desinfectar completamente el área de trabajo con alcohol, y colocar los materiales a utilizar.

b) Encender el turbidímetro portátil 2100Q. Seguidamente llenar 10 ml de la muestra en la celda de vidrio.
c) Seguidamente colocar la celda de vidrio en el comportamiento de la celda.

d) Seguidamente pulse la tecla que se encuentra debajo de medición, y seguidamente se obtendrá el resultado.

e) Finalmente lavar los instrumentos utilizados y dejar limpio y ordenado el área de trabajo.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica utilizada son la observación siguiendo el protocolo de monitoreo de aguas para plantas de tratamiento tales como la ubicación del punto de monitoreo, etiqueta de las muestras, cadena de custodia y reporte de resultados del monitoreo de efluente / afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

3.5.2. Materiales, Insumos, equipos, indumentaria e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos, se utilizaron los siguientes materiales, equipos, indumentaria e instrumentos:

- **Materiales**

Materiales empleados en campo:

- Botella de vidrio esterilizada
- Culer
- Tablero de campo
- Libreta de campo
- Lápiz
- Lapiceros
- Plumón Indeleble
- Llantas de carro
- Grava
- Arena
- Piedra
- Escombro
- Ripio

- Carbón activado de coco
- Carretilla
- Rastrillo
- Tubos de PVC de 4pulgadas de diámetro
- Plantas de plátano
- Wincha
- Pala
- Pico
- Machete
- Cemento
- Ladrillos

Materiales empleados en laboratorio

- Placas petri
- Papel toalla
- Mechero de alcohol
- Pinza de acero inoxidable
- Filtro de membrana
- Kisatato de polisulone
- Vaso precipitado
- Celda de vidrio (recipiente de vidrio)
- Matraz
- Probeta
- Piceta
- Pipeta

- **Insumos**

- Muestra de agua
- Agua destilada
- Alcohol
- Medio de cultivo AFC
- Medio de cultivo ENDO
- Ácido clorhidrico concentrado
- Cloridrato de hidroxilamina

- Fenantoleina

- **Equipos**

Equipos empleados en campo:

- GPS
- Cámara digital
- Hidrómetro

- **Equipos empleados en laboratorio:**

- Rampa de filtracion de 3 vías (equipo portatil bacteriológico)
- Bomba de membrana ME 4R NT
- Autoclave vertical AV-18
- Espectofotómetro DR5000
- Medidor portatil HQ40D (multiparámetro Hach)
- Tubidímetro portatil 2100Q
- Campana extractora
- Placa calefactora
- Olla a presión
- Incubadora
- Cocina electrica
- Balanza analitica

- **Indumentaria**

- Bata
- Gorro desechable
- Guantes desechables
- Mascarilla desechable

- **Instrumentos de campo**

- Ficha de muestreo de la PTAR
- Fichas de recolección de datos para la PTAR
- Empleo de softwares: IBM SPSS Statistics 23, AutoCAD, Google maps y Microsoft Excel.

3.6. PROCESAMIENTO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

El procesamiento para recolección de datos se utiliza el software Excel con el fin de calcular y graficar los resultados. Luego para la interpretación de resultados se analizará mediante los descritos a continuación con el fin de contrastar la hipótesis planteada.

1. Trabajo de campo : Ordenamiento y codificación de datos
2. Trabajo de laboratorio: Ordenamiento y codificación de datos
3. Matriz de resultados :Tablas estadísticas
4. Análisis de datos : Interpretación de datos

3.7. TRATAMIENTO DE DATOS

Se obtuvieron distintos datos para dar respuesta a las interrogantes planteadas los cuales fueron analizados, interpretados y expresados en tablas y figuras utilizando los siguientes programas:

- Se utilizó el software IBM SPSS Statistics 23, para realizar mediante el procedimiento estadístico Prueba t de student para muestras independientes y utilizarse para comparar las medias de dos grupos de casos, es decir, cuando la comparación se realice entre las medias de dos poblaciones independientes (los individuos de una de las poblaciones son distintos a los individuos de la otra). Y Si el nivel de significación (sig.) es menor o igual que 0,05, rechazamos la hipótesis de igualdad de medias, si es mayor – aceptamos la igualdad de medias, es decir, no existen diferencias significativas entre los grupos.

- Se utilizó el software Excel para el tratamiento de datos los cuales nos permitieron evaluar la calidad fisicoquímica y microbiología del tanque de evapotranspiración en relación a los Límites Máximos Permisibles del D.S. 003 – 2010- MINAN;

- Así mismo se utilizó el software AutoCAD 2014, que me permitió diseñar y graficar los tanques de evapotranspiración, con cada una de sus dimensiones.

A continuación se describe las etapas para el tratamiento de datos de la cámara de evapotranspiración:

- Primera etapa, desde Noviembre a diciembre del 2017 se realizó la construcción de la cámara de evapotranspiración y la medición del caudal que entra al sistema.

- Segunda etapa, se realizaran 06 veces las muestras del afluente y efluente final después del inicio de la operación del tanque, en los meses de enero, febrero, marzo y abril.

Las muestras del afluente y efluentes se recogerán en dos puntos - dentro y fuera del tanque, en seis fechas diferentes desde Enero hasta Abril de 2018 para la consideración de los siguientes parámetros: coliformes Termotolerantes (CTT), Huevos de Helmintos, pH, temperatura, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO 5), sólidos suspendidos totales (SST).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADO DE LOS PARÁMETROS

A continuación se detallará los resultados obtenidos por el Laboratorio acreditado de Natura Analítica S.A.C y el laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional de Ucayali. Para las aguas de salida o efluente de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario se identificará como “ECE 1”, mientras el testigo se identificará como “ECE 2”. Finalmente para el agua residual de entrada o afluente a la cámara de evapotranspiración se detallará como “ACE”.

- **Resultados de la turbiedad**

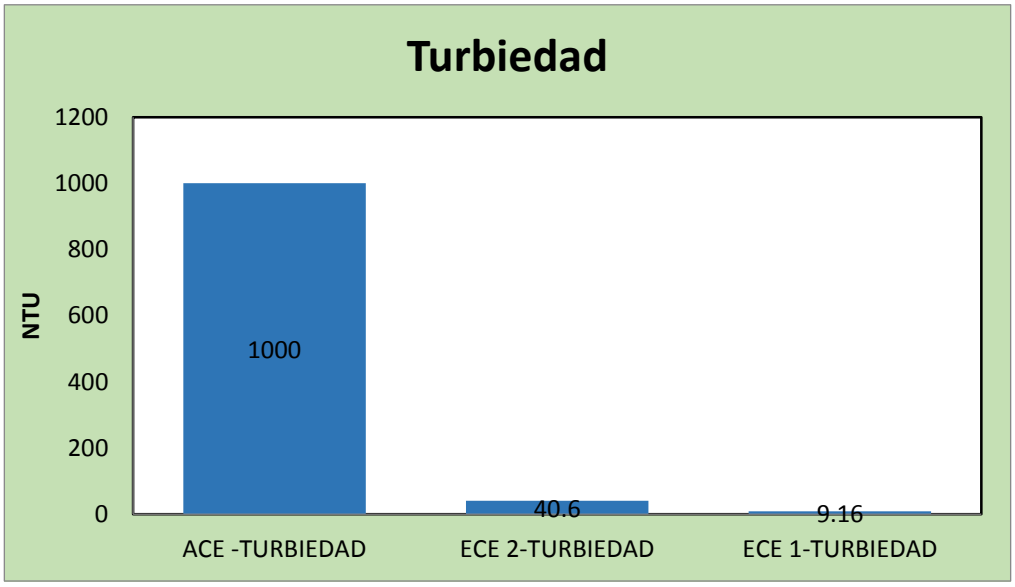


Figura 18. Nivel de concentración de turbidez por cada agua residual de entrada y salida de las cámaras de evapotranspiración

En la Figura 18, se realizó un total de 6 muestreos para el agua residual de entrada o afluente y salida o efluente de las cámaras de evapotranspiración.

Para el ACE se obtuvo como promedio >1000 UNT. Para el ECE-1 se obtuvo como promedio 9,16 UNT. El valor mínimo encontrado fue de 5 UNT y el valor máximo encontrado fue de 12 UNT. Y para el ECE-2 se obtuvo como promedio 40,6 UNT. El valor mínimo encontrado fue de 18 UNT, y el valor máximo encontrado fue de 86,27 UNT.

- **Resultados de los sólidos suspendidos totales (SST):**

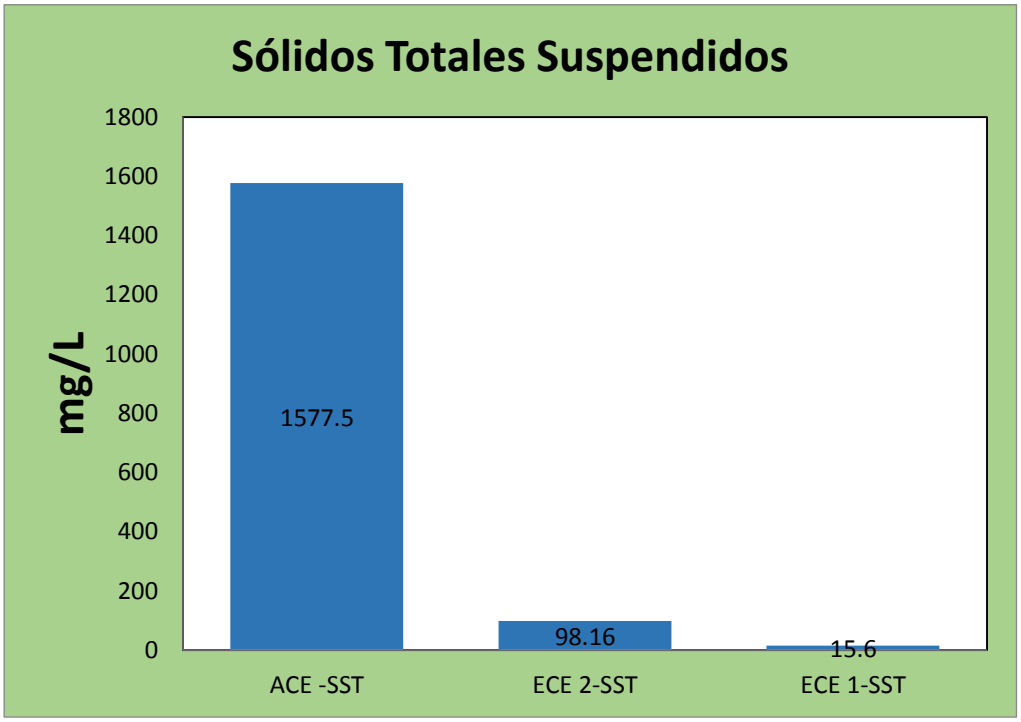


Figura 19. Nivel de concentración de SST por cada agua residual de entrada y salida de las cámaras de evapotranspiración

En la Figura 19, se realizó un total de 6 muestreos para las aguas de entrada y salida de las cámaras de evapotranspiración.

Para el ACE se obtuvo como promedio 1577.5 mg/L. El valor mínimo encontrado fue de 1035 mg/L, y el valor máximo encontrado fue de 2180 mg/L. Y para el ECE-1 se obtuvo como promedio 15,6 mg/L. El valor mínimo encontrado fue de 8,0 mg/L, y el valor máximo encontrado fue de 21,0 mg/L. Y para el ECE-2 se obtuvo como promedio 98,1 mg/L. El valor mínimo encontrado fue de 40,0 mg/L, y el valor máximo encontrado fue de 174,0 mg/L.

- **Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_{(5)}$):**

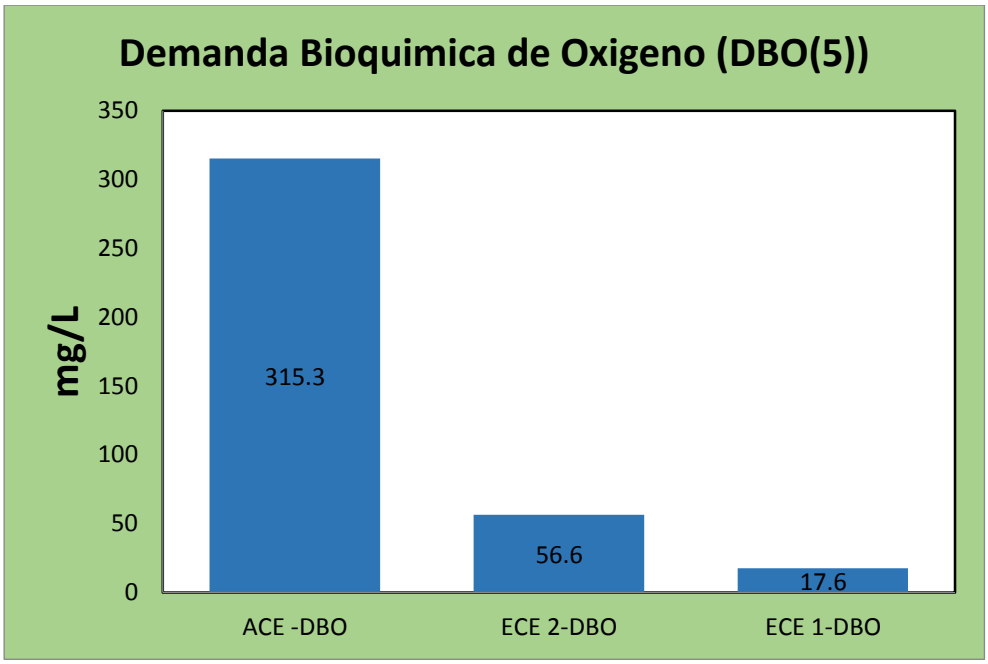


Figura 20. Nivel de concentración de DBO(5) por cada agua residual de entrada y salida de las cámaras de evapotranspiración

En la figura 20, se realizó un total de 6 muestreos para las aguas de entrada y salida de las cámaras de evapotranspiración.

Para el ACE se obtuvo como promedio 315,3 mg/L. El valor mínimo encontrado fue de 225,0 mg/L, y el valor máximo encontrado fue de 547,0 mg/L. Y para el ECE-1 se obtuvo como promedio 17,6 mg/L. El valor mínimo encontrado fue de 7,4 mg/L, y el valor máximo encontrado fue de 22,0 mg/L. Para el ECE-2 se obtuvo como promedio 56,6 mg/L. El valor mínimo encontrado fue de 40,0 mg/L y el valor máximo encontrado fue de 80,0 mg/L.

- **Resultados de los huevos de helmintos (HVH)**

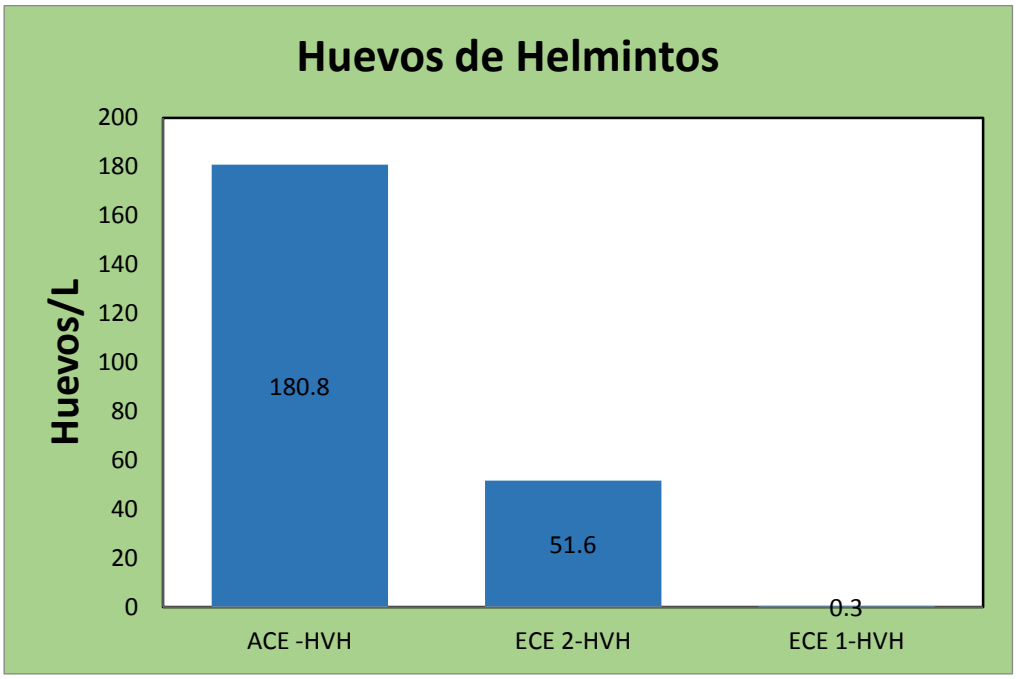


Figura 21. Nivel de concentración de HVH por cada agua residual de entrada y salida de las cámaras de evapotranspiración

En la Figura 21, se realizó un total de 6 muestreos para el agua residual de entrada o afluente y salida o efluente de las cámaras de evapotranspiración.

Mientras que para el Afluente se obtuvo como promedio 180,8 mg/L. El valor mínimo encontrado fue de 150,0 mg/L y el valor máximo encontrado fue de 250,0 mg/L. Para el ECE-1 se obtuvo la ausencia de los Huevos de Helmintos y para el ECE-2 se obtuvo como promedio 51,6 mg/L. El valor mínimo encontrado fue de 0,3 mg/L y el valor máximo encontrado fue de 100,0 mg/L.

- **Resultados de los coliformes termotolerantes (CTT)**

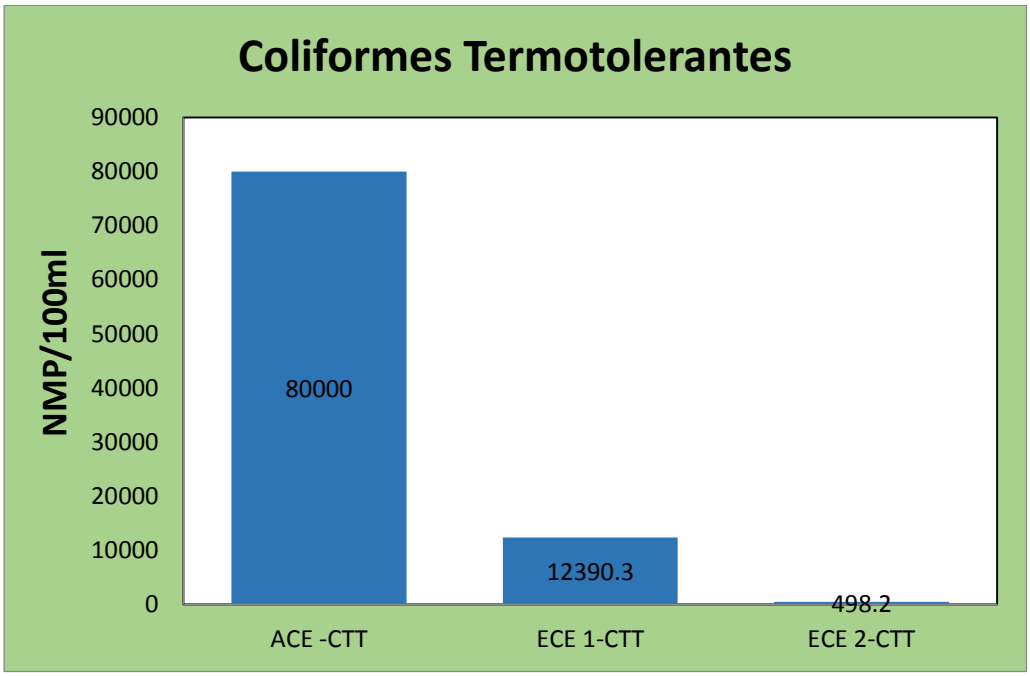


Figura 22. Nivel de concentración de CTT por cada agua residual de entrada y salida de las cámaras de evapotranspiración

En la figura 22, se realizó un total de 6 muestreos para las aguas de entrada y salida de las cámaras de evapotranspiración.

Para el ACE se obtuvo como promedio 322620,0 mg/L. El valor mínimo encontrado fue de 107022,0 mg/L, y el valor máximo encontrado fue de 9000000,0 mg/L. Para el ECE-1 se obtuvo como promedio 498,2 mg/L. El valor mínimo encontrado fue de 1,8 mg/L, y el valor máximo encontrado fue de 1070,0 mg/L. Y para el ECE-2 se obtuvo como promedio 12390/L. El valor mínimo encontrado fue de 4532,0 mg/L, y el valor máximo encontrado fue de 16902,0 mg/L.

4.2. RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN

Para presentar los resultados de la eficiencia de remoción de las cámaras de evapotranspiración, por cada parámetro se mencionará y analizará de manera independiente. Para la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario) se identificará como “CE 1”, mientras el testigo se identificará como “CE 2”.

- **Eficiencia de remoción de la turbiedad (UNT):**

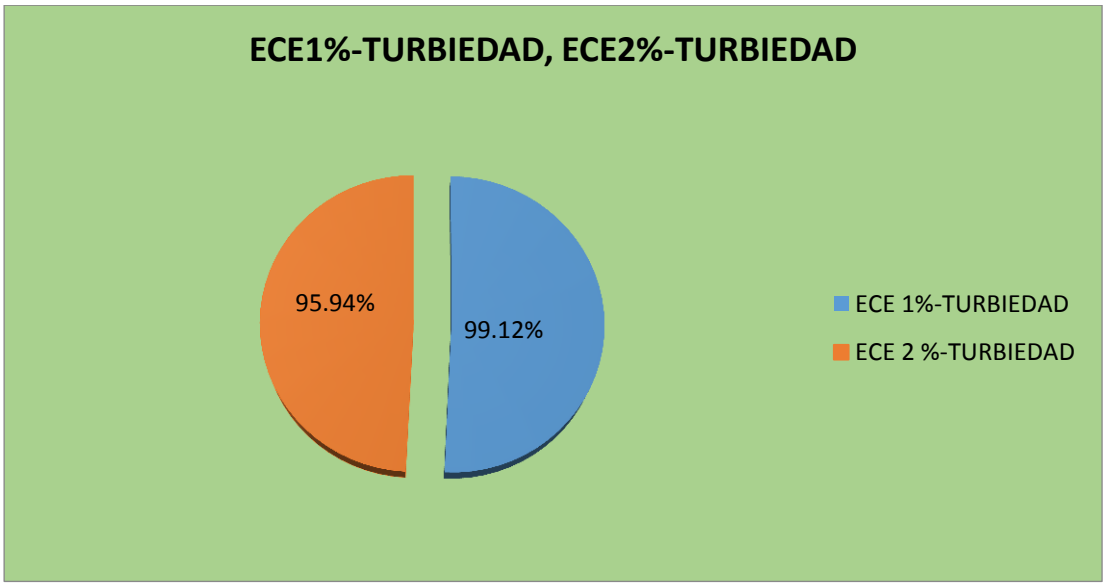


Figura 23. %Remoción Turbiedad de las cámaras de evapotranspiración

Se observa en la Figura 23. La cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario) presenta mayor porcentaje de remoción con un valor promedio de 99,12%, mientras el testigo presenta un valor promedio de 95,94%.

- **Eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos totales (SST):**

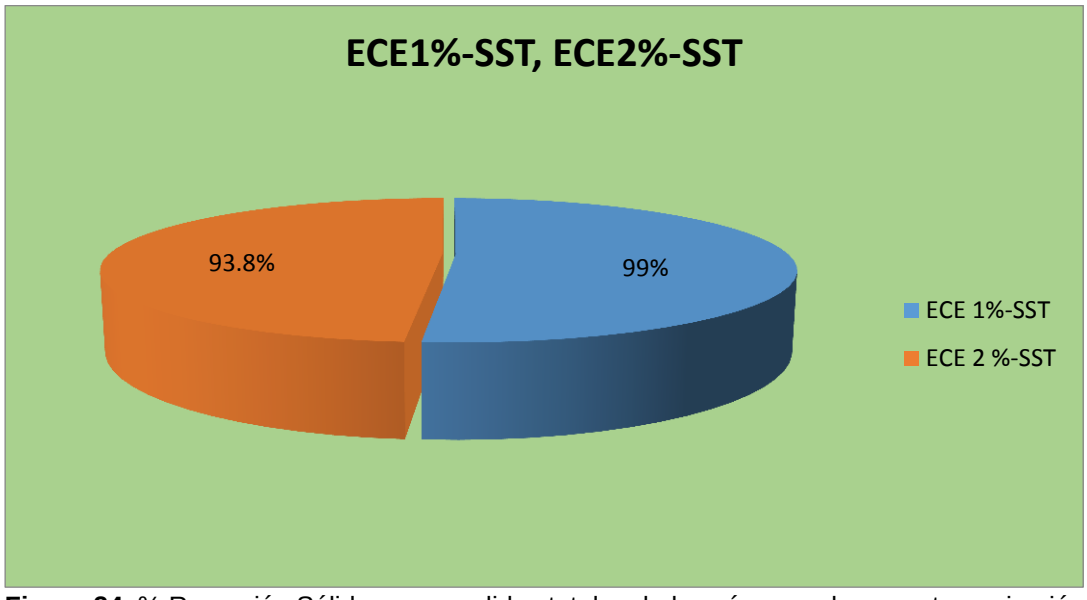


Figura 24. % Remoción Sólidos suspendidos totales de las cámaras de evapotranspiración

Se observa en la Figura 24. La cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario) presenta mayor porcentaje de remoción con un valor promedio de 99%, mientras el testigo presenta un valor promedio de 93,8%.

- **Eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO(5)):**

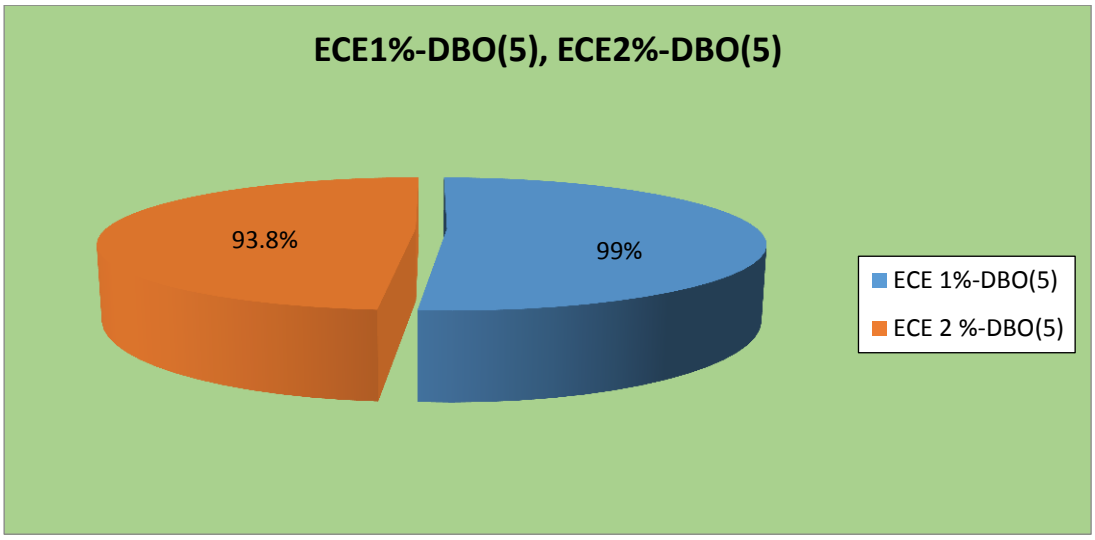


Figura 25. % Remoción Demanda bioquímica de oxígeno de las cámaras de evapotranspiración

Se observa en la Figura 25, la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario) presenta mayor porcentaje de remoción con un valor promedio de 99%, mientras el testigo presenta un valor promedio de 93,8%.

- **Eficiencia de remoción de los huevos de helmintos (HVH):**

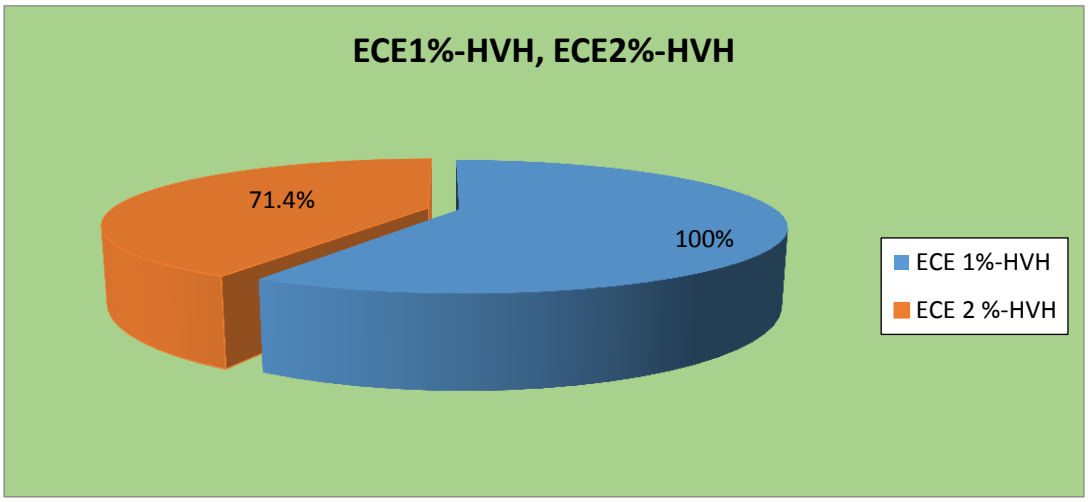


Figura 26. % Remoción Huevos de Helmintos de las cámaras de evapotranspiración

Se observa en la Figura 26, la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario) presenta mayor porcentaje de remoción con un valor promedio de 100%, mientras el testigo presenta un valor promedio de 71,4%.

- **Eficiencia de remoción de los coliformes termotolerantes (CTT)**

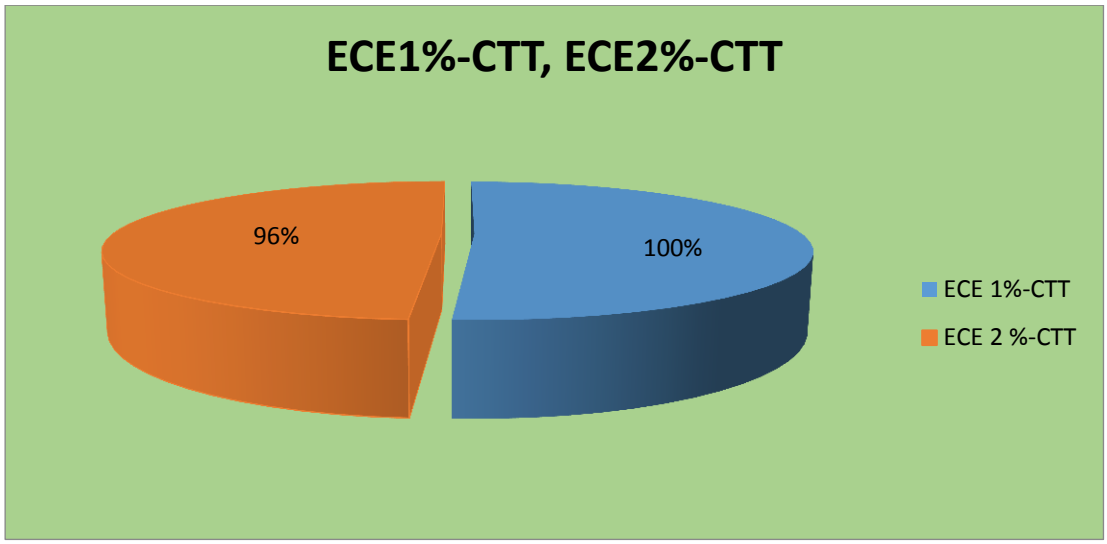


Figura 27. % Remoción Coliformes termotolerantes de las cámaras de evapotranspiración

Se observa en la Figura 27, la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario) presenta mayor porcentaje de remoción con un valor promedio de 100%, mientras el testigo presenta un valor promedio de 96%.

4.3. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

La comparación de los parámetros con los límites máximos permisibles se realizó entre la fecha de muestreo y las cámaras de evapotranspiración domiciliaria.

- **Resultados de la turbiedad y LMP**

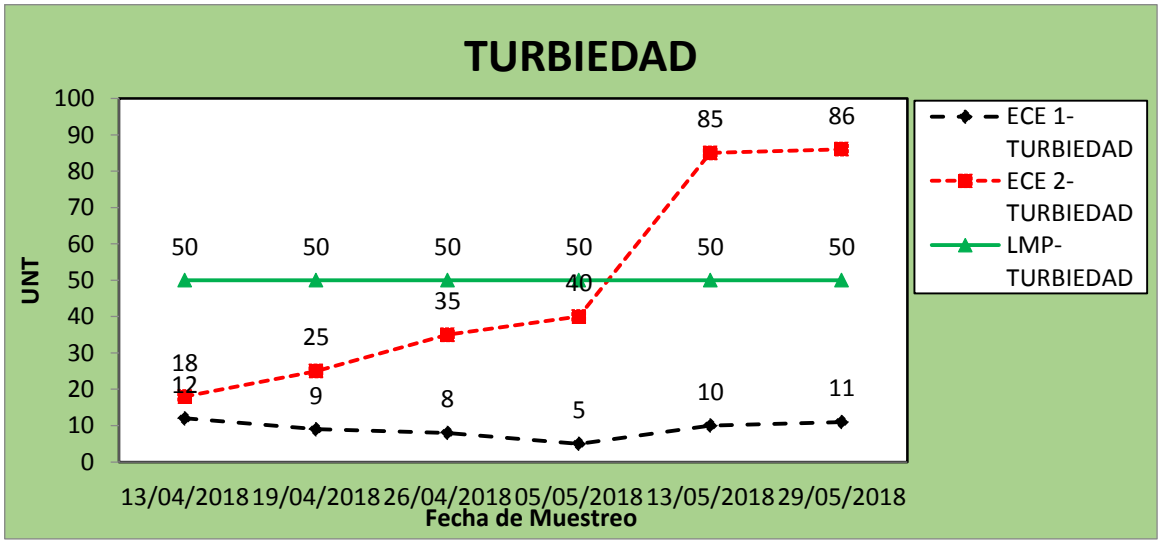


Figura 28. Tratamientos de cámaras de evapotranspiración VS Límites máximos permisibles UNT

La Figura 28, se observa lo siguiente, el tratamiento de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario (ECE 1) cumple con la norma internacional de la organización mundial de la salud (OMS, 1998) ya que en el D.S. 003 – 2010 no existe valores para la turbidez.

- **Resultados de los sólidos suspendidos totales y LMP**

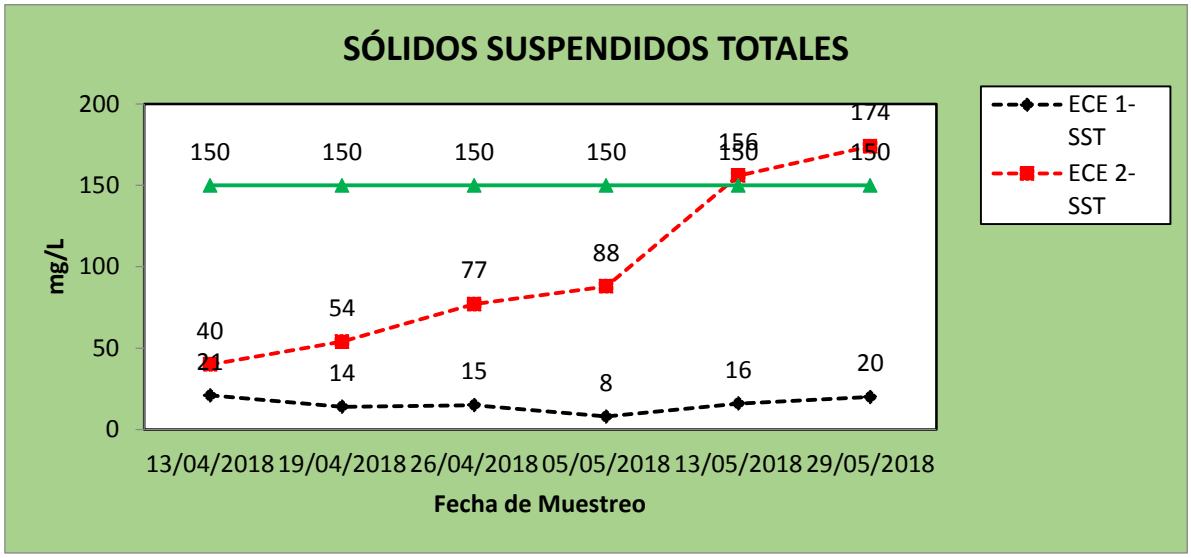


Figura 29. Tratamientos de humedales artificiales VS Límites máximos permisibles SST

La figura 29, se observa lo siguiente, los tratamientos de los humedales cumple con límites máximos permisibles.

- **Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno y LMP:**

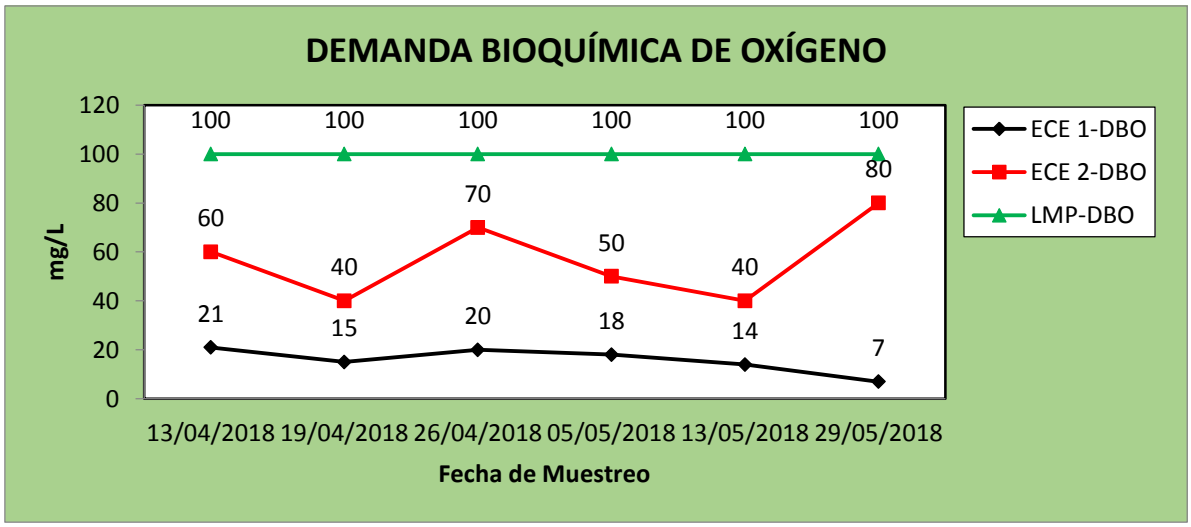


Figura 30. Tratamientos de cámaras de evapotranspiración VS Límites máximos permisibles DBO(5)

En la Figura 30, los tratamientos de las cámaras de evapotranspiración con tratamiento terciario y el otro como testigo, cumple con los límites máximos permisibles establecidos en el D.S. 003 – 2010-MINAN.

- **Resultados de huevos de helmintos de oxígeno y LMP**

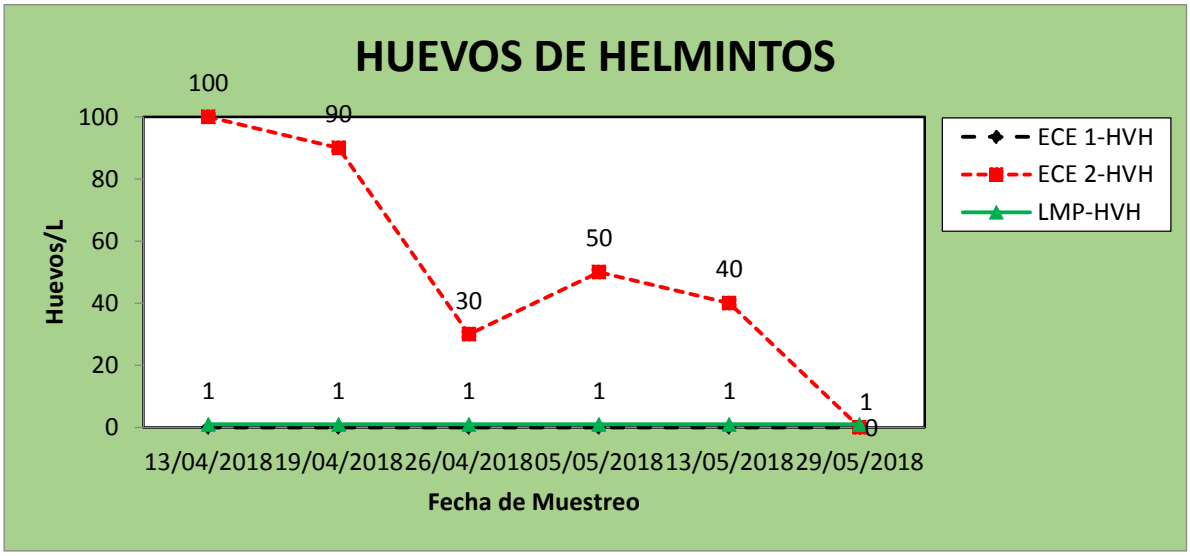


Figura 31. Tratamientos de cámaras de evapotranspiración VS Límites máximos permisibles HVH

En la Figura 31, el tratamiento de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario (ECE 1) cumple con la norma internacional de la organización mundial de la salud (OMS, 1998).

- **Resultados de coliformes termotolerantes y LMP**

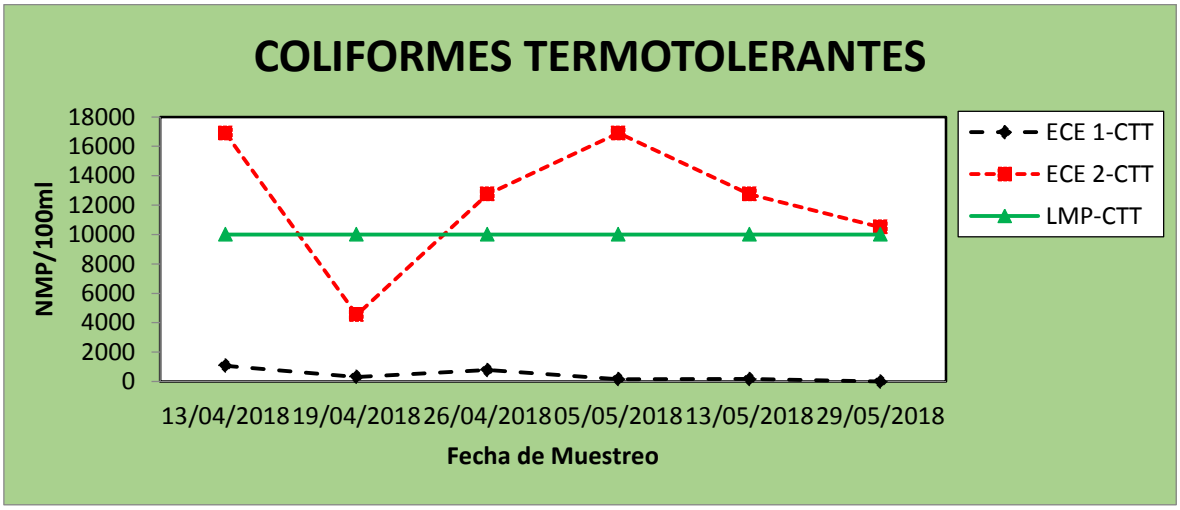


Figura 32. Tratamientos de cámaras de evapotranspiración VS Límites máximos permisibles CTT

En la Figura 32, se observa lo siguiente, el tratamiento de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario (ECE 1) cumple con el D.S. 003 – 2010-MINAN de la legislación ambiental peruana.

4.4. DISCUSIÓN

4.4.1. Eficiencia en el tratamiento

En la figura 18, se observa que en las fechas 13/05/2018 y 29/05/2018 de monitoreo, el efluente o salida del agua residual de la cámara de evapotranspiración testigo, presento valores de 85 y 86,27 NTU siendo los valores más altos que los monitoreos anteriores. Las causas de este valor elevado es que en esos días hubo precipitación y como la salida del tubo de PVC está en contacto con el suelo, este se llenó de arcilla, aumentando material sólido. Como se sabe la concentración de la turbiedad depende de la cantidad de solidos suspendidos totales del agua residual, mientras mayor sea la concentración de solidos suspendidos, mayor será la turbiedad. Así mismo se observa que en la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario y el afluente o entrada del agua residual presenta niveles de turbiedad constante de 8,8 y <1000NTU, respectivamente. Durante las 06 fechas de muestreo el efluente o salida del agua residual de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario, siempre mantuvo valores de turbiedad constantes con promedio de 8,8 NTU, sin embargo en la investigación titulado “Tratamiento domiciliar de aguas negras atraves de un tanque de evapotranspiración”, realizada por Galbiati, A. 2009, Brasil; se obtuvo como promedio en turbiedad de 88,01 UNT; Esta diferencia significativa, es a consecuencia de que no cuentan con un tanque Sedimentador primario, ni con un filtro de carbón activado, la adición de estos elementos en una planta de tratamiento de agua residual es muy eficaz, puesto que estos elementos por su gran porosidad ayuda a la absorción de material solido suspendidos y disueltos en el agua residual. Por consecuencia reducir la concentración de turbiedad y así garantizar una mejor calidad del agua.

En la Figura 19, se observa que durante las 06 fechas de muestreo el efluente o salida de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario, presenta valores de concentración de solidos suspendidos totales constantes. Sin embargo los niveles de concentración de la cámara de evapotranspiración testigo, presenta un nivel de variación a partir del quinto y sexto monitoreo con fechas 13/05/2018 y 29/05/2018, con valores de 156 y 174 mg/l, respectivamente; siendo los valores más altos que los monitoreos anteriores, las causas de estas elevadas concentraciones es que en esos días hubo precipitación y como la salida del tubo de PVC está en contacto con el suelo, este se llenó de arcilla aumentando material sólido. Mientras que el afluente o entrada del agua residual presenta una significativa variación en los niveles de concentración de solidos suspendidos totales en las fechas 13/04/2018 y 29/05/2018. En estas fechas se observa una concentración >2000 mg/l, este incremento del nivel de concentración en estas dos fechas es porque el tanque Sedimentador va aumentando su volumen de agua residual y mientras exista más volumen de agua, también existirá mayor cantidad de solidos suspendidos totales. Durante las 06 fechas de muestreo el efluente o salida del agua residual de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario, siempre mantuvo valores de solidos suspendidos totales constantes con promedio de 15,6 mg/l; sin embargo en la investigación titulado “Tratamiento domiciliar de aguas negras atraves de un tanque de evapotranspiración”, realizada por Galbiati, A. 2009, Brasil; se obtuvo como resultado promedio en solidos suspendidos totales un valor de 37,74 mg/l. Esta diferencia significativa, recae en que la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario cuenta con un Sedimentador primario o pretratamiento y un Sedimentador secundario o post tratamiento, donde empieza la primera etapa del tratamiento y se reduce la mayor cantidad de solidos suspendidos y sedimentables, así como también cuenta con mayores lechos filtrantes como el carbón vegetal y carbón activado, para mejorar la calidad del agua tratada.

En la figura 20, se observa que durante las 05 fechas de muestreo del efluente o salida del agua residual de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario, realizado por el laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional de Ucayali, se obtuvo valores de Demanda bioquímica de oxigeno DBO (5) con rango de 14 – 22 mg/l; sin embargo en el sexto monitoreo de fecha 29/05/2018 el monitoreo fue realizado por el laboratorio acreditado de Natura Analítica S.A.C; dando como resultado 7,4 mg/l de DBO(5). Se puede deducir que la diferencia no es excesiva. Algunas causas se originan en la forma de la toma de muestras y el tiempo en que se demora para sacar los análisis, en este caso durante los 5 monitoreos realizado en el laboratorio de microbiología de la universidad nacional de Ucayali y por carecer de algunos materiales de laboratorio, se tuvo que dejar por dos días para recién sacar el oxígeno disuelto(OD); este tiempo repercute en los resultados, puesto que los microorganismos tienden a multiplicarse cada segundo y en efecto aumentar la DBO(5). Este resultado obtenido por Natura de 7,4mg/l significa que la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario es muy efectivo para la reducción de DBO(5), debido al actuar de las plantas sembradas en la superficie y que actúan como depuradoras de materia orgánica. Lo mismo se observa en la cámara de evapotranspiración testigo y afluente, ambos tratamientos coinciden en la variación insignificante del resultado del sexto monitoreo realizado por Natura. Durante las 06 fechas de muestreo el efluente o salida del agua residual de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario, siempre mantuvo valores de Demanda bioquímica de Oxigeno (DBO(5) constantes con promedio de 17,8 mg/l, sin embargo en la investigación titulado “Tratamiento domiciliar de aguas negras atraves de un tanque de evapotranspiración”, realizada por Galbiati, A. 2009, Brasil. Se obtuvo como promedio en DBO(5) un valor de 72,74 mg/l. Esta diferencia casi insignificativa, recae en la turbidez alta que presenta esta investigación, mientras más alto sea la turbiedad, el nivel de oxigeno es menor, porque al existir tanto material solido presente en el agua residual, la concentración de oxígeno disuelto disminuye, porque al

existir bastante carga orgánica los microorganismos consumen más oxígeno, gastando los niveles de oxígeno disuelto en el agua y al existir menos concentración de oxigeno el DBO(5) sale alto.

En la Figura 21, se observa que durante las 06 fechas de muestreo el efluente o salida de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario, los resultados obtenidos es la ausencia de huevos de helmintos, este resultado es motivo de la función que cumplen el Sedimentador primario y secundario, ya que según un estudio realizado por otherpoll, 2002; los sedimentadores ayudan a la remoción del 80% de huevos de helmintos y al existir dos sedimentadores, se garantiza la eliminación total de este parámetro. Mientras que en el sexto monitoreo del afluente del agua residual con fecha 29/05/2018, sufre un nivel de variación significativo, porque el rango de variación era de 150-250 huevo/l, en este monitoreo presento ausencia de huevos de helmintos, siendo la concentración más baja que los demás monitoreos. El motivo de este resultado radica en que las personas se desparasitaron días antes, esto en vista que los resultados anteriores presentaban presencia de huevos de helmintos, por tanto se avisó a la familia y ellos tomaron la acción de desparasitarse. Así mismo, el afluente y la cámara de evapotranspiración testigo presentan ausencia de huevos de helmintos en el sexto monitoreo.

En la Figura 22, se observa que durante las 06 fechas de muestreo el efluente o salida de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario y testigo, la concentración de coliformes termotolerantes es constante, pero los niveles de concentración de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario es menor que la del testigo. Mientras que el afluente o entrada del agua residual presenta una significante de variación de los niveles de concentración de coliformes termotolerantes. En las fechas 13/04/2018 y 29/05/2018 se presentan las más elevadas concentraciones de coliformes termotolerantes con valores >1000000 NMP/100ml, que las demás fechas monitoreadas; esto es debido a la función del Sedimentador

primario, puesto que el tiempo de retención de este componente es de 30 días, en donde recién empezara a actuar. Es por ello que en el segundo, tercero, cuarto y quinto, monitoreo la concentración de turbidez sale menor. Posteriormente notamos que a partir del tercer monitoreo la concentración va en creciente, hasta llegar al sexto monitoreo donde vuelve a aumentar la concentración de coliformes termotolerantes >1000000 NMP/100ml, este crecimiento de concentración es porque el tanque Sedimentador va aumentando su volumen de agua residual y mientras exista más volumen de agua, también existirá mayor carga de coliformes termotolerantes. Durante las 06 fechas de muestreo del efluente o salida del agua residual de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario realizado por el laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional de Ucayali, se obtuvo valor promedio de 498,2 NMP/100ml, de coliformes termotolerantes, sin embargo en el sexto monitoreo de fecha 29/05/2018 el monitoreo fue realizado por el laboratorio acreditado de Natura Analítica S.A.C; dando como resultado la ausencia de coliformes termotolerantes (0 <1,8). Esta diferencia de resultados por ambos laboratorios no es significativa, puesto que es aceptable según el DS-003-2010-MINAN. Sin embargo en la investigación titulado "Tratamiento domiciliar de aguas negras atraves de un tanque de evapotranspiración, realizada por Galbiati, A. 2009, Brasil. Se obtuvo como promedio en coliformes termotolerantes el valor de $3,24x10^7$ NMP/100ml. Esta diferencia significativa de tratamientos, es a causa de que la cámara de evapotranspiración domiciliara con tratamiento terciario cuenta con un sistema de cloración en pastilla, para garantizar una mejor calidad del agua residual.

En la Figura 23, se observa la eficiencia de remoción de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario, presentando un 99,12 % de eficiencia respecto al parámetro turbiedad. Mientras que en la investigación titulado "Tratamiento domiciliar de aguas negras atraves de un tanque de evapotranspiración", realizada por Galbiati, A. 2009, Brasil; se obtuvo como eficiencia de remoción un 80%, esta diferencia

de resultado porcentual radica en que al primero se le adiciono un tratamiento primario y terciario, para mejorar la calidad del agua residual. Mientras que la segunda cámara de evapotranspiración solo cuenta con un tratamiento secundario, es por esta razón que la eficiencia es menor.

En la Figura 24, se observa la eficiencia de remoción de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario, presentando un 99% de eficiencia respecto al parámetro solidos suspendidos totales, mientras que en la investigación titulado “Tratamiento domiciliar de aguas negras atraves de un tanque de evapotranspiración, realizada por Galbiati, A. 2009, Brasil; se obtuvo como eficiencia de remoción un 90% esta diferencia de resultado porcentual radica en que a la primera cámara de evapotranspiración se le adiciono un tratamiento primario, terciario con un filtro de carbón vegetal y carbón activado. Para mejorar la calidad y retención de solidos suspendidos en los lechos filtrantes, de esta manera disminuir la concentración de material sólido. Mientras el segundo solo cuenta con un tratamiento secundario, es por esta razón que la eficiencia es menor.

En la Figura 25, se observa la eficiencia de remoción de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario, presentando un 99% de eficiencia respecto al parámetro demanda bioquímica de oxigeno DBO(5), mientras que en la investigación titulado “Tratamiento domiciliar de aguas negras atraves de un tanque de evapotranspiración, realizada por Galbiati, A. 2009, Brasil; se obtuvo como eficiencia de remoción un 79%, esta diferencia de resultado porcentual, radica en que a uno de ellos se le adiciono un tratamiento primario y terciario, disminuyendo la cantidad de materia orgánica con mayor presencia de oxígeno disuelto, mientras que el segundo solo cuenta con un tratamiento secundario, sin pre-post tratamientos, para facilitar la degradación orgánica, es por esta razón que la eficiencia es menor.

En la Figura 27, se observa la eficiencia de remoción de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario, presentando un 100% de eficiencia de remoción respecto al parámetro coliformes termotolerantes, mientras que en la investigación titulado “Tratamiento domiciliar de aguas negras atraves de un tanque de evapotranspiración, realizada por Galbiati, A. 2009, Brasil; no se obtuvo eficiencia de remoción, si no por el contrario la concentración de este parámetro aumento, es decir la entrada o afluente del agua residual contenía una concentración de 1,65 x 10^7 NMP/100ml y efluente de 6,91x10^7 NMP/100ml, esto significa que los coliformes proliferaron porque no existe ningún tratamiento que reduzca la proliferación de los mismos. Mientras que la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario posee un sistema de cloración en pastilla para eliminar la proliferación de los coliformes termotolerantes.

En la Figura 28, se observa lo siguiente, el tratamiento de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario (ECE 1) cumple con la norma internacional de la organización mundial de la salud (OMS, 1998) ya que en el D.S. 003 – 2010 no existe valores para la turbidez. Pero podemos observar que en los 06 muestreos realizados a la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario se obtuvieron resultados por debajo de lo permitido según la OMS, mientras que la otra cámara de evapotranspiración como testigo a partir del quinto monitoreo no cumple con la norma.

En la Figura 29, se observa lo siguiente, el tratamiento de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario (ECE 1) cumple con el parámetro solido suspendidos totales del D.S. 003 – 2010-MINAN de la legislación ambiental peruana. Pero podemos observar que en los 06 muestreos realizados a la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario se obtuvieron resultados por debajo de lo permitido según la norma vigente, mientras que la otra cámara de evapotranspiración como testigo a partir del quinto monitoreo no cumple con la norma.

En la Figura 31, se observa lo siguiente, el tratamiento de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario (ECE 1) cumple con la norma internacional de la organización mundial de la salud (OMS, 1998) ya que en el D.S. 003 – 2010 no existe valores para los Huevos de Helmintos. Pero podemos observar que en los 06 muestreos realizados a la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario se obtuvieron resultados por debajo de lo permitido según la OMS, mientras que la otra cámara de evapotranspiración como testigo no cumple con lo establecido por la OMS, sin embargo solo en el último muestreo logra cumplir con el límite máximo permisible, porque no hubo presencia de huevos de helmintos.

En la Figura 32, se observa lo siguiente, el tratamiento de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario (ECE 1) cumple con el parámetro coliformes termotolerantes del D.S. 003 – 2010-MINAN de la legislación ambiental peruana. También podemos deducir que en los 06 muestreos realizados a la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario los resultados obtenidos estuvieron por debajo de lo permitido según la norma vigente, mientras que la otra cámara de evapotranspiración como testigo solo cumple con los límites máximos permisibles una sola vez y es en el segundo muestreo, mientras que en los demás muestreos, los resultados se ubican fuera de los límites establecidos en el D.S. 003 -2010-MINAN.

4.2.2. El sistema cerrado

En la investigación titulado “Tratamiento domiciliar de aguas negras a través de un tanque de evapotranspiración”, realizada por Galbiati, A. 2009, Brasil. El tanque de evapotranspiración, fue construida para una familia con 4 miembros, se compone de un tanque rectangular impermeable(plástico), alrededor de la misma se ha colocado una alineación de neumáticos que se ha posicionado a lo largo de la parte inferior del tanque, donde se inicia la digestión anaerobia y el efluente pasa a través de un efluente filtro anaerobio de flujo ascendente

compuesta de capas de escombros cerámica, piedra, arena y suelo; con el fin de retener el material sólido presente en el efluente. En la superficie se sembraron tres tipos de plantaciones, la primera de banano *(Musa cavendishii)*; segundo el taiobas *(Xanthosoma sagittifolium)* y en la tercera parte del área del tanque el beri (varias especies del género *Canna).* En conclusión, este estudio solo cuenta con un tratamiento secundario, excluyendo los tratamientos primarios y terciarios que en este caso si lo requieren, porque los resultados de sus parámetros incumplen la normativa ambiental. Lo más resaltante de este estudio según sus resultados obtenidos, existe la presencia de huevos de helmintos y coliformes termotolerantes en el efluente final, por lo que no se recomienda cualquier otro tipo de reutilización para el riego que los métodos de infiltración del suelo (Santos y Athayde Junior, 2008). Sin embargo, en la presente investigación realizada en el distrito de Manantay, con una familia de 5 integrantes, se tuvo que tener en cuenta los requerimientos exigidos en la NTP OS.90, para el diseño de plantas de tratamiento de agua residual. Es por ello que se implementó un sistema de tratamiento primario, filtro de carbón vegetal, carbón activado, tratamiento terciario, mientras que los nutrientes son absorbidos por las raíces de las plantas que están en la superficie sembradas tres plantaciones de Plátano bellaco *(Musa paradisiaca)*; Para mejorar la calidad del agua residual y cumplir con los parámetros exigidos por la normativa ambiental vigente.

4.2.3. Aplicación del sistema

A través de los estudios realizados en esta investigación se puede deducir que la aplicación e instalación del tanque de evapotranspiración en la región Ucayali es una excelente alternativa viable para el tratamiento de las aguas residuales en el distrito de Manantay, como en las zonas rurales, por las condiciones climáticas para el crecimiento de plantas en la que sus hojas consuman gran cantidad de agua y el proceso de evapotranspiración sea más efectivo. La cámara de evapotranspiración trata el agua negro y minimiza el

impacto ambiental en los cuerpos de agua como ríos y lagos, puede evitar la sobrecarga de las plantas de tratamiento de aguas residuales y reducir la carga de contaminación liberada en los cuerpos de agua. Este sistema resalta incluso en lugares donde no hay sistema de desagüe, así mismo estos efluentes se pueden reutilizar en forma de fertilizantes o se infiltra en el suelo sin ningún prejuicio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. Se determinó el nivel de indicadores físicos – químicos orgánicos básicos de las aguas residuales domésticas mediante una cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario, encontrando un promedio de tratamiento en solidos suspendidos totales de 15, 6 mg/l; demanda bioquímica de oxígeno de 17,8 mg/l; Coliformes termotolerantes de 498.2 NMP/100ml, turbiedad de 8,8 NTU y ausencia de Huevos de Helmintos. Mientras que la cámara de evapotranspiración testigo, presenta un promedio de tratamiento en solidos suspendidos totales de 98, 16 mg/l; demanda bioquímica de oxígeno de 56,6 mg/l; Coliformes termotolerantes de 12390.3 NMP/100ml, turbiedad de 40,6 NTU y Huevos de Helmintos de 51,6 huevo/l.

2. Se comparó los resultados de los parámetros físico-químicos básicos (sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno y Coliformes termotolerantes) del agua tratada de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario con los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de agua residual, cumpliendo con todos estos parámetros establecidos en el D.S. 003 – 2010- MINAN. Así mismo cumple con los parámetros de turbiedad y Huevos de Helmintos exigidos por la norma internacional (OMS).

3. Se determinó la eficiencia de remoción de contaminante presente en la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario, consiguiendo remover los contaminantes físicos – químicos orgánicos de las aguas residuales negras domésticas; es decir la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario presenta un tratamiento

de 99.4% de eficiencia de remoción en los parámetros de turbiedad, 99% Solidos suspendidos totales, 99% demanda bioquímica de oxígeno, 100% Huevos de Helmintos y 100% Coliformes termotolerantes. Mientras que la cámara de evapotranspiración (Testigo) presenta un tratamiento de 95.94% de eficiencia de remoción en los parámetros de turbiedad, 93.8% Solidos suspendidos totales, 93.8% demanda bioquímica de oxígeno, 71.4% Huevos de Helmintos y 96% Coliformes termotolerantes.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que en la réplica de esta investigación, se debe realizar monitoreo cada 06 meses con el fin de observar la eficiencia de las cámaras de evapotranspiración construidos. Practicar la poda cuando el tamaño de la vegetación es grande y así se tendrá mayor depuración de las aguas contaminadas.

2. Se recomienda que para lograr mejor eficiencia en este tipo de cámaras de evapotranspiración se debe realizar limpieza una vez al año y siempre garantizar la completa impermeabilización del tanque.

3. Se recomienda la aplicación de la cámara de evapotranspiración porque es una alternativa económica y viable para el tratamiento local de aguas residuales negras de las zonas urbanas, periurbanos y rurales de la región Ucayali situados en áreas desprovistas de sistemas convencionales de alcantarillado, evitando así la contaminación al medio ambiente; al mismo tiempo evitar la sobrecarga de las depuradoras y disminuir la carga contaminante lanzada en ríos y lagos por el tratamiento parcial de las aguas residuales.

4. Se recomienda tener cuidado en el mantenimiento de la cámara de evapotranspiración y se debe tomar precaución al manipular partes de las plantas que tengan contacto con el mismo suelo del interior de la

cámara de evapotranspiración, que puede contener alto índice de coliformes.

5. Se recomienda elegir para la siembra en la cámara de evapotranspiración especies de plantas con potencial ornamental que pueden ser utilizado para componer el paisajismo de los patios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andrade, N. (1997). Sistemas sencillos para el tratamiento de aguas residuales. Asociación Brasileña de Ingeniería Sanitaria - ABES. Rio de Janeiro.

2. Autoridad Nacional del Agua. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial. Resolución Jefatural N" 182-2011-ANA. 2011.

3. Arias, O. (2004). Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial. Universidad Politécnica de Catalunya. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental. Tesina. Barcelona, España.

4. Arroyabe, F. (1997). Remoción de contaminantes de aguas residuales con humedales artificiales de flujo subsuperficial, Memos de investigación. Pág. 12. Santafé de Bogotá, Colombia.

5. Bernardes, Fernando Silva. Estudo de tanque de evapotranspiração para o tratamento domiciliar de águas negras. 2009. 10 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenheria Ambiental, Hidráulico, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

6. Delgadillo, O.; Camacho, A.; Pérez, L. & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro Agua). Cochabamba, Bolivia. ISBN: 978-99954-766-2-5

7. Dirk, L. (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras .de servicios de saneamiento. Editorial: Miyashiro, Perú. Obtenido de http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf

8. EPA. (1999). Manual: Constructed Wetlands, Treatment of Municipal Wastewaters. PA/625/R-99/010. Disponible en: http://water.epa.gov/type/wetlands/restore/upload/2004_12_20_wetlands_pdf_Design_Manual2000.pdf

9. EPA. (2000b). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedales de Flujo superficial. EPA 833-F-00-024.

10. EPA. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: humedales de flujo subsuperficial. Wastewater Technology fact sheet. September 2000b, pp. 1-13.

11. Fenoglio, L. (2000). Bases de diseño para la construcción de un reactor biológico experimental basado en los sistemas de humedales de flujo vertical.

Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

12. Galán, A. & Prieto, C. (2010). Normas de gestión de las licencias urbanísticas de actividades. Ayuntamiento de Madrid. Editorial: Huygens. Barcelona, España. ISBN: 978-84-937606-4-9

13. Galbiati, A. F. Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração. 2009. 38 p. Orientador: Paula Loureiro Paulo. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. CAMPO GRANDE, MS, 2009.

14. Galindo, V.; Ruiz, M. (2007). Evaluación, diagnóstico y mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial en el AA.HH. Oasis – Villa El Salvador. Universidad Nacional de Ingeniería. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario. Lima, Perú.

15. Garavito, L., Gómez, E., López, F. Diseño, construcción, puesta en marcha y operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, mediante humedales artificiales. Trabajo de grado. Bogotá: Universidad Manuela Beltrán, 2008.

16. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua. 2007.

17. Lara, J. (1999). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

18. Lesikar, B & enciso, J. Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negro. Cámara de evapotranspiración. Texas Water Resources Institute. Sistema Universitario Texas A & M. http://texaserc.tamu.edu

19. Marín S.J. (2002). Tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de humedales artificiales a nivel laboratorio. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Autónoma del Estado de México, México.

20. Ministerio de Salud. DIGESA. Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales y sus Anexos 1, 11, 111 Y IV. Resolución Directoral N° 2254/2007/DIGESA/SA.2007.

21. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). Plan Nacional de Saneamiento 2006 – 2015.

22. Nava, C. (2002). Evaluación de la capacidad depuradora de un fito – tratamiento de flujo horizontal para las aguas residuales domesticas en el AA.HH. Nueva Alianza del distrito de San Juan de Lurigancho. Tesis para optar el título de ingeniero. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. Pág. 129.

23. OMS. (1998). Guías para la Calidad del Agua Potable. 2da edición. Vol. 1 y 3. Ginebra, Suiza.

24. Otterpohl Reino Unido (2001) Negro, marrón, amarillo, gris - los nuevos colores de saneamiento.

25. Otterpohl RU (2002) Tecnologías innovadoras para la gestión descentralizada de aguas residuales en áreas urbanas y periurbanas. Presentación magistral en IWA Small 2002, Estambul.

26. Orozco, C. (2005). Contaminación Ambiental. Una visión desde la química. Editorial: Thomson. 3ª edición. Pág. 631 – 650. Madrid, España.

27. Pamplona S & Venturi M. (2004) Agotamiento a la flor de la tierra. Soluciones ecológicas. Permacultura Brasil. obtenido de http://fazenda.ufsc.br/files/2017/02/Pamplona-Venturi-Permacultura-Brasil-2004-n16.pdf

28. Quipuzco, L. (2006). Planta de tratamiento de aguas residuales 02 – Casa de Retiro "El Milagro" en Cieneguilla. Organización Panamericana de la Salud. Proyecto "Humedales artificiales – documentación de experiencias existentes en el Perú". Pág. 13. Lima, Perú

29. Ramalho, R. (1996). Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverte S.A. Pág. 705. España, España. ISBN: 84-291-7975-5

30. Ramalho, R. (1993). Encontrado en: Tesis Doctorales. Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas. Editorial: Universidad de Castilla – La Mancha. Pág. 9. España, España. ISBN: 84-8427-106-4

31. (Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB) Número 4 – Volume 1 – jan/julho 2016 Periodicidade semestral Disponível em: www.undb.edu.br/ceds/revistadoceds

32. Reynolds, K. (2002). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. Editorial: De La Llave. Arizona, Estados Unidos

33. Ronzano & Dapena. (1995). Encontrado en: Tesis Doctorales. Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas. Editorial: Universidad de Castilla – La Mancha. Pág. 10. España, España. ISBN: 84-8427-106-4

34. WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO. ISBN 978-92-3-300058-2. Obtenido de http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf

ANEXOS

ANEXO 1. PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTES

Para la realización de la prueba de bondad de ajuste, se fijará un α del 5%. La hipótesis estaría dada por:

Ho: Los datos se distribuyen normal

H1: Los datos no se distribuyen normal

En IBM SPSS Statistics 23 se tomará en cuenta la prueba de bondad de ajuste Shapiro – Wilk.

- **Prueba de bondad de ajuste de agua de afluente de la cámara de evapotranspiración**

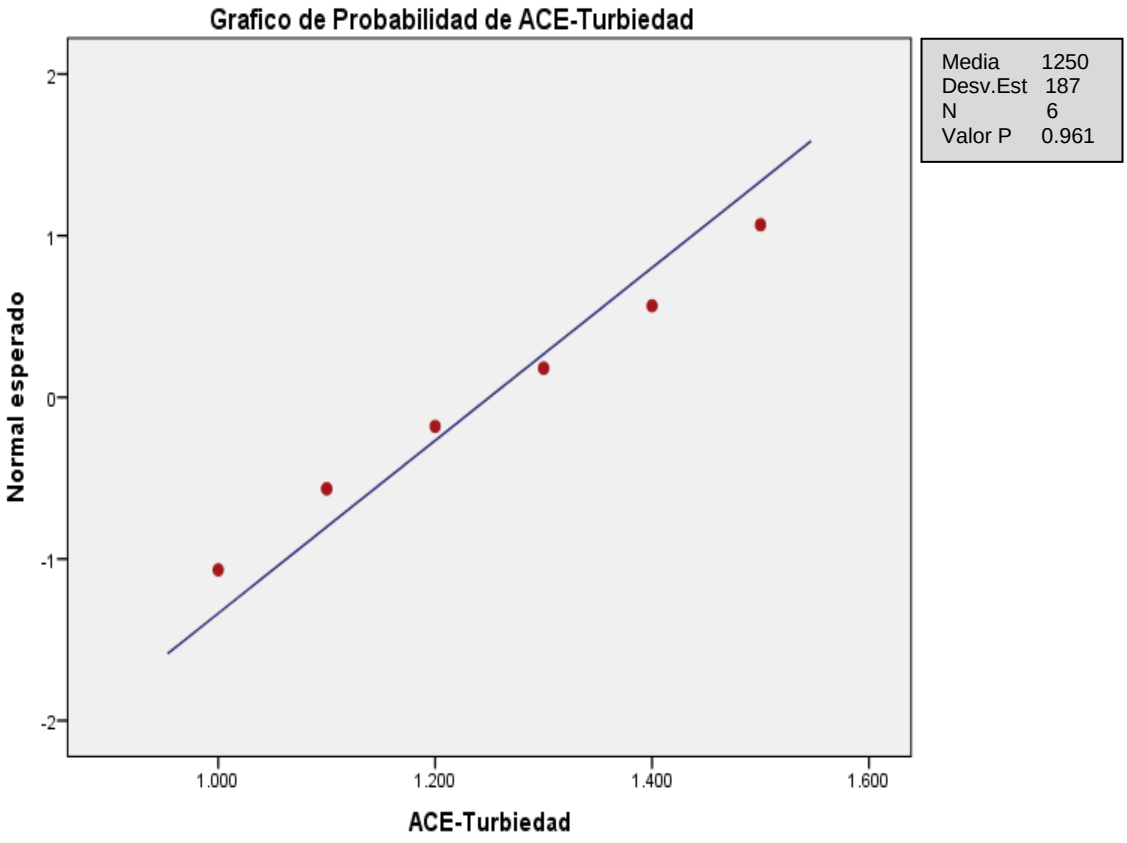


Figura 33. Normalidad del afluente de la cámara de evapotranspiración-Turbiedad

La figura 33, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de turbiedad del afluente a la cámara de evapotranspiración. En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

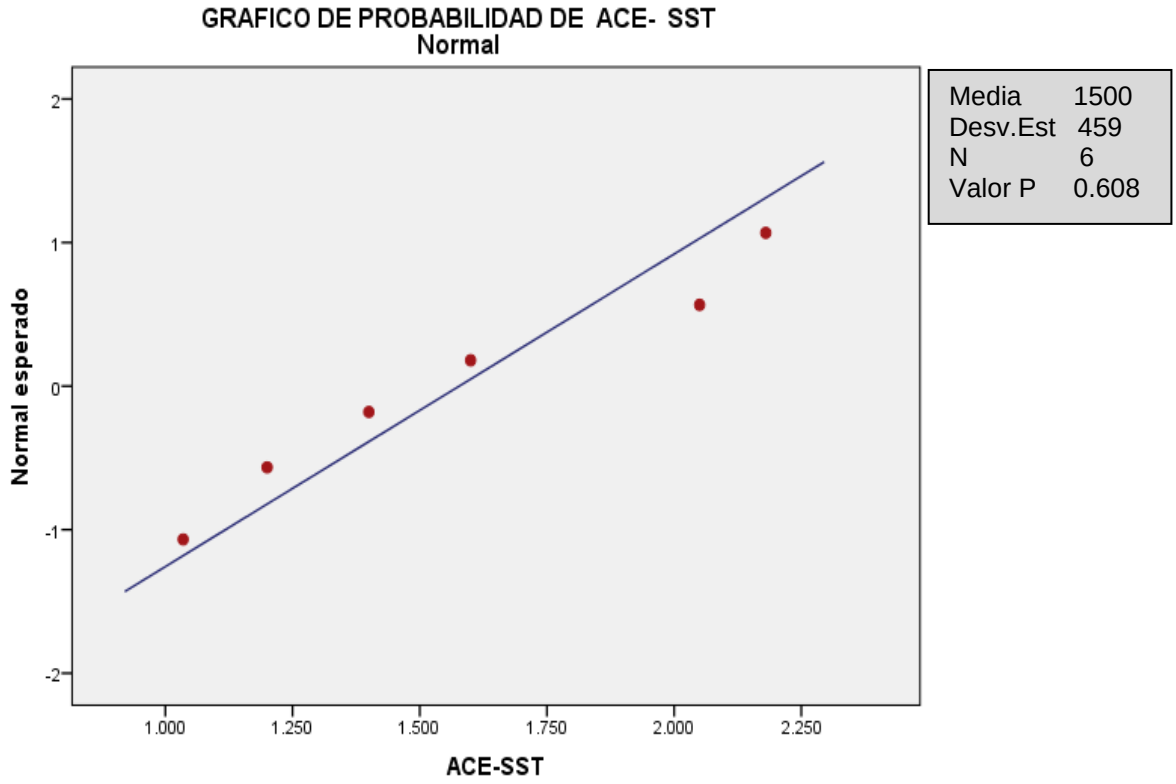


Figura 34. Normalidad del afluente de la cámara de evapotranspiración-Solidos suspendidos totales

La figura 34, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de solidos suspendidos totales del afluente a la cámara de evapotranspiración. En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

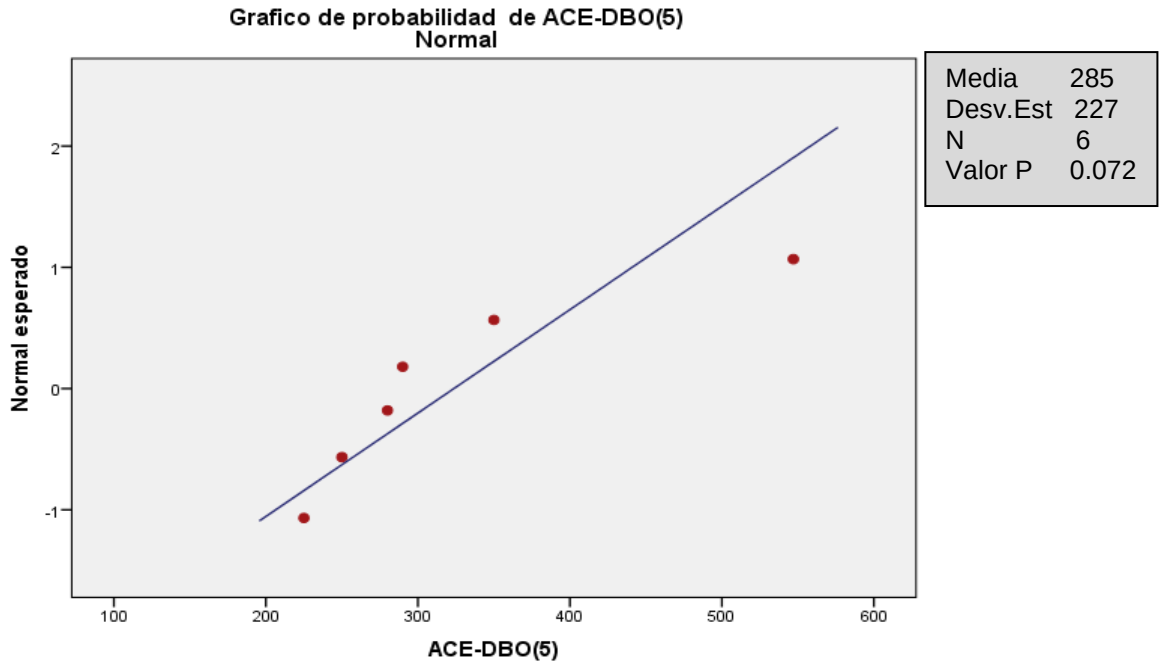


Figura 35. Normalidad del afluente de la cámara de evapotranspiración-DBO(5)

La figura 35, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de la demanda bioquímica de oxigeno del afluente a la cámara de evapotranspiración. En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

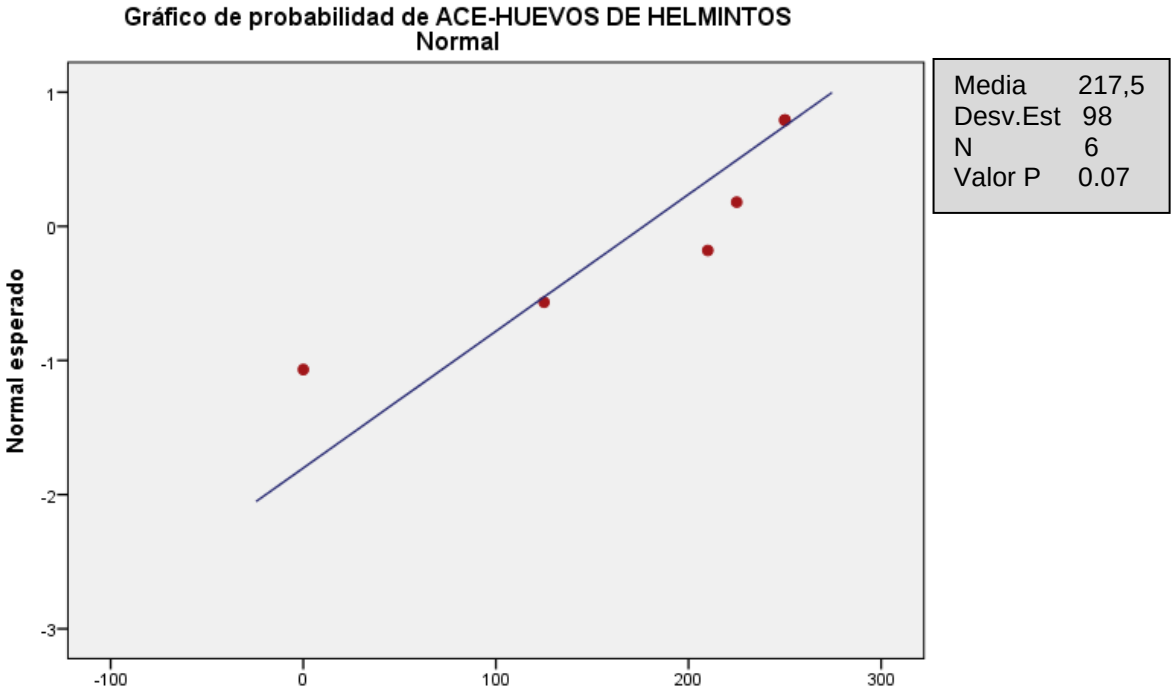


Figura 36. Normalidad del afluente de la cámara de evapotranspiración-HVH

La figura 36, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de llos huevos de helmintos del afluente a la cámara de evapotranspiración. En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

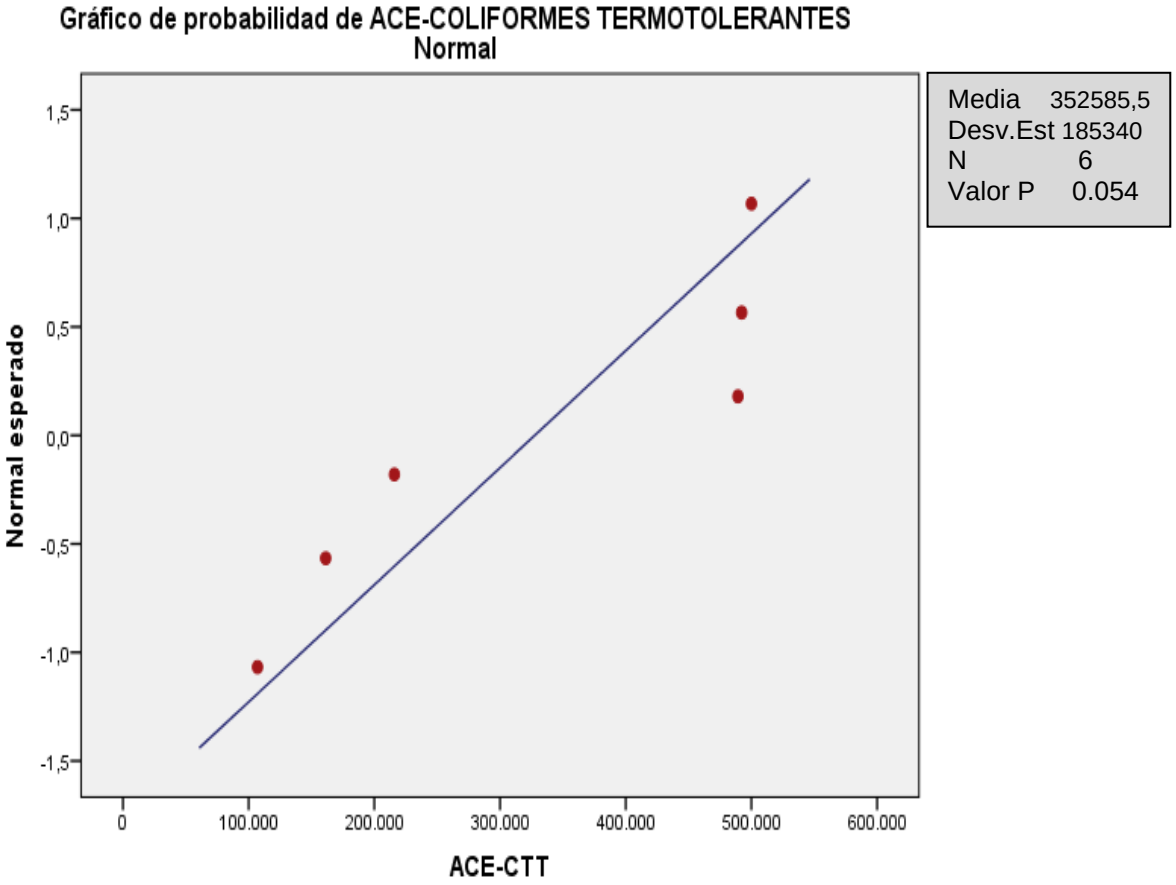


Figura 37. Normalidad del afluente de la cámara de evapotranspiración-CTT

La figura 37, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de los coliformes termotolerantes del afluente a la cámara de evapotranspiración. En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

ANEXO 2. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE AGUA DE EFLUENTE DEL HUMEDAL – TRATAMIENTO TERCIARIO

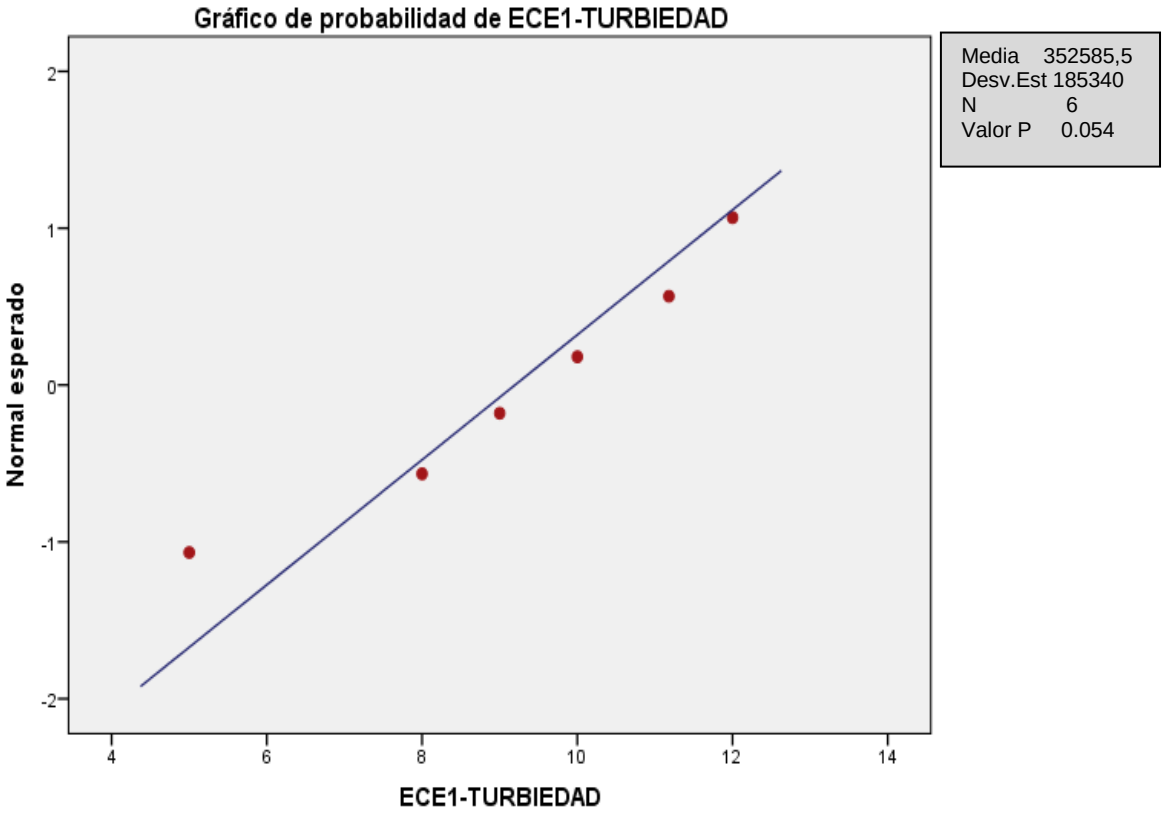


Figura 38. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario)-Turbiedad

La figura 38, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de la turbiedad de las aguas de salida o efluente de la cámara de evapotranspiración (tratamiento terciario). En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

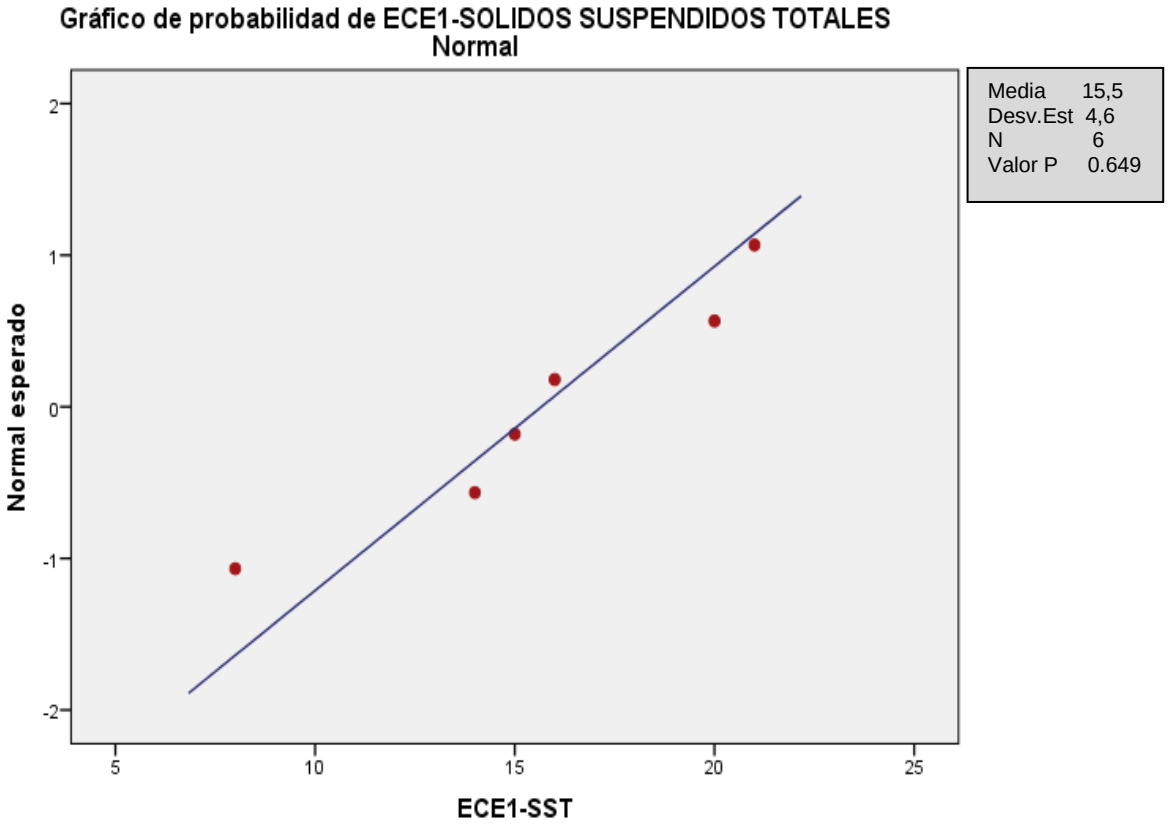


Figura 39. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario)-SST

La figura 39, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de los sólidos suspendidos totales de las aguas de salida o efluente de la cámara de evapotranspiración (tratamiento terciario). En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

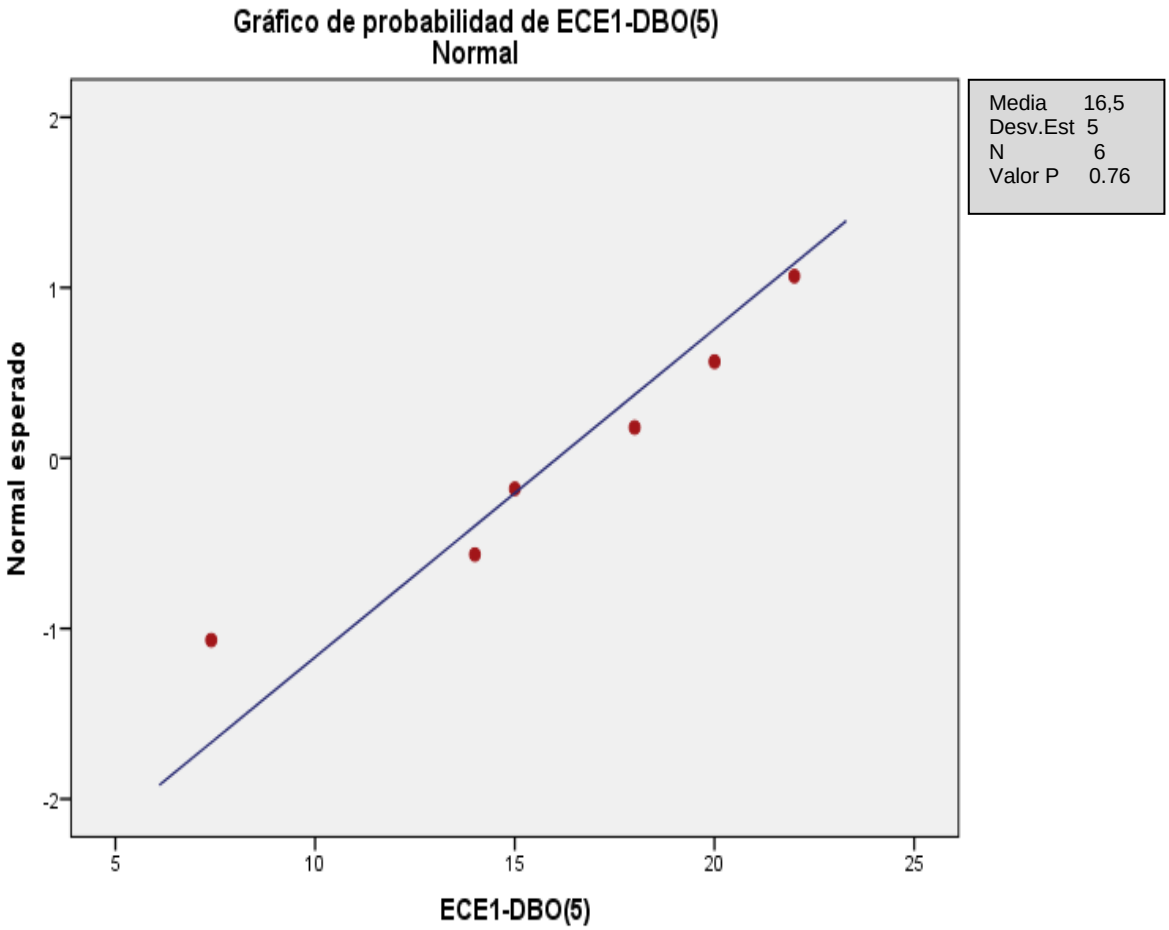


Figura 40. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario)-DBO(5)

La figura 40, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de la demanda bioquímica de oxigeno de las aguas de salida o efluente de la cámara de evapotranspiración (tratamiento terciario). En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

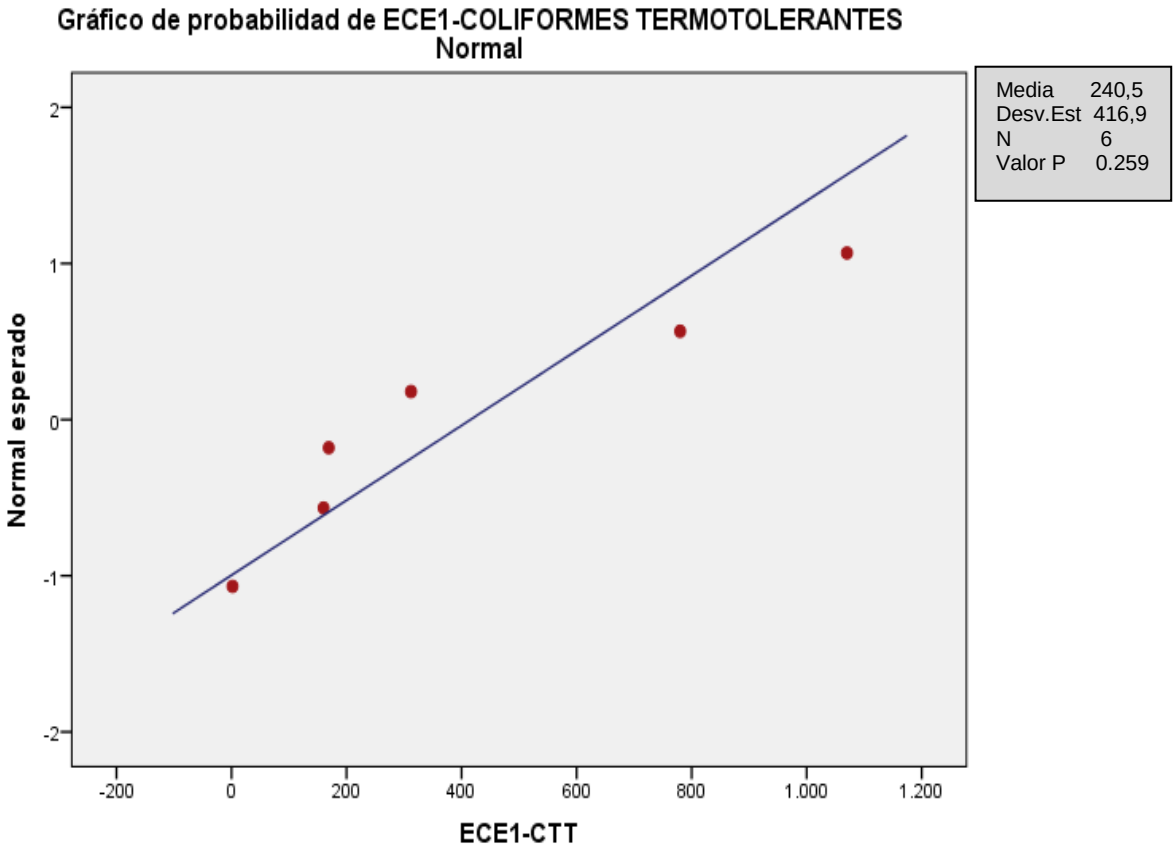


Figura 41. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario)-CTT

La figura 41, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de los coliformes termotolerantes de las aguas de salida o efluente de la cámara de evapotranspiración (tratamiento terciario). En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

ANEXO 3. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE AGUA DEL EFLUENTE DE LA CÁMARA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN – TESTIGO

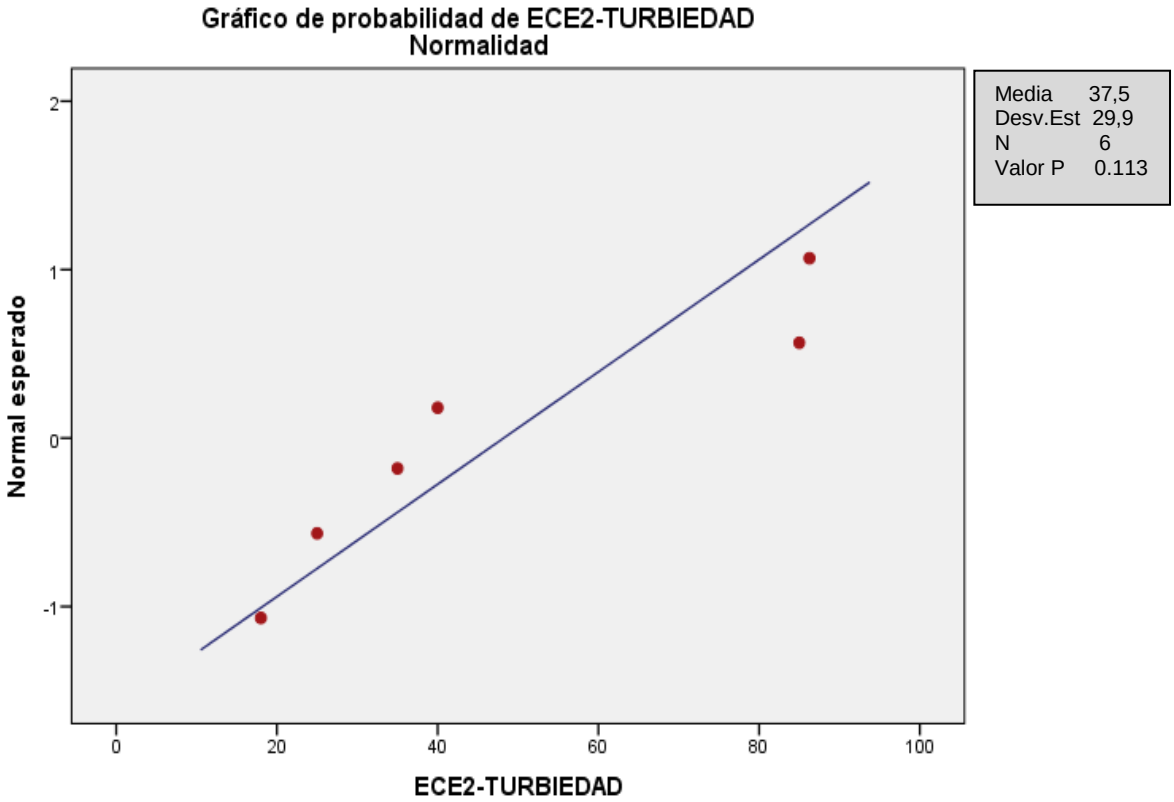


Figura 42. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración testigo - Turbiedad

La figura 42, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de la turbiedad de las aguas de salida o efluente de la cámara de evapotranspiración testigo. En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

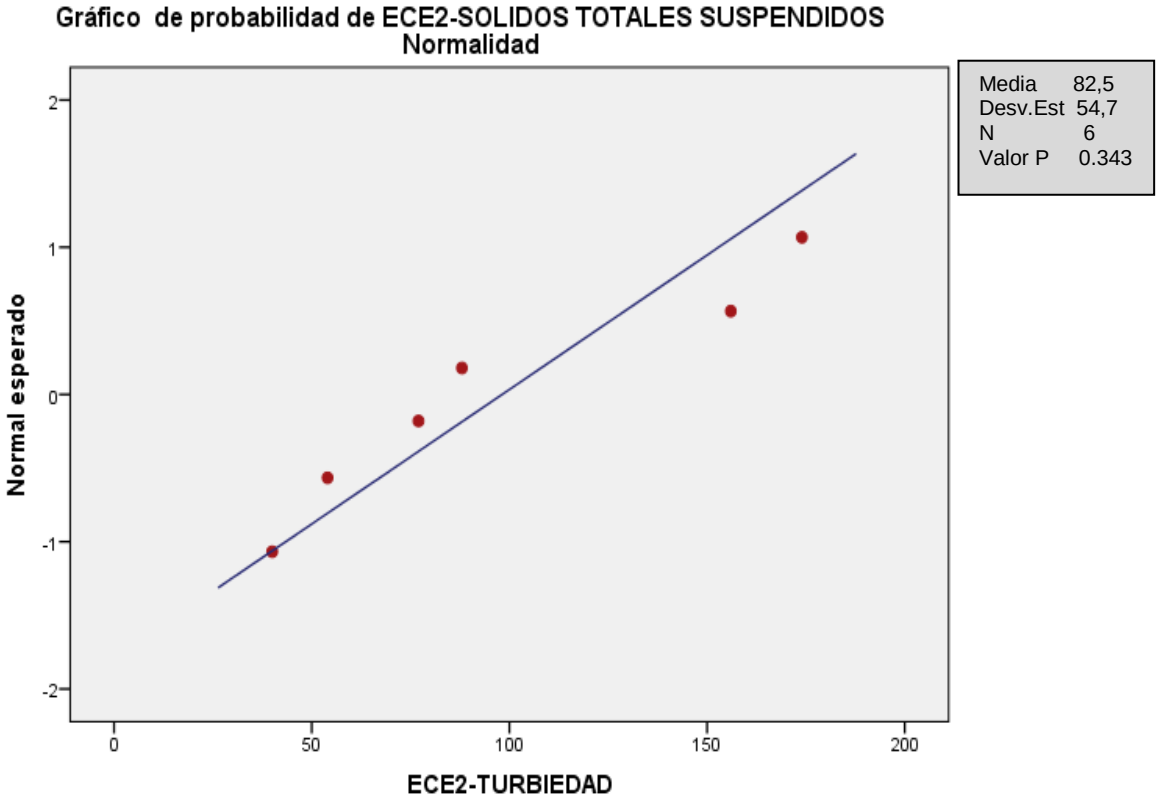


Figura 43. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración testigo - SST

La figura 43, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de los sólidos suspendidos totales de las aguas de salida o efluente de la cámara de evapotranspiración testigo. En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

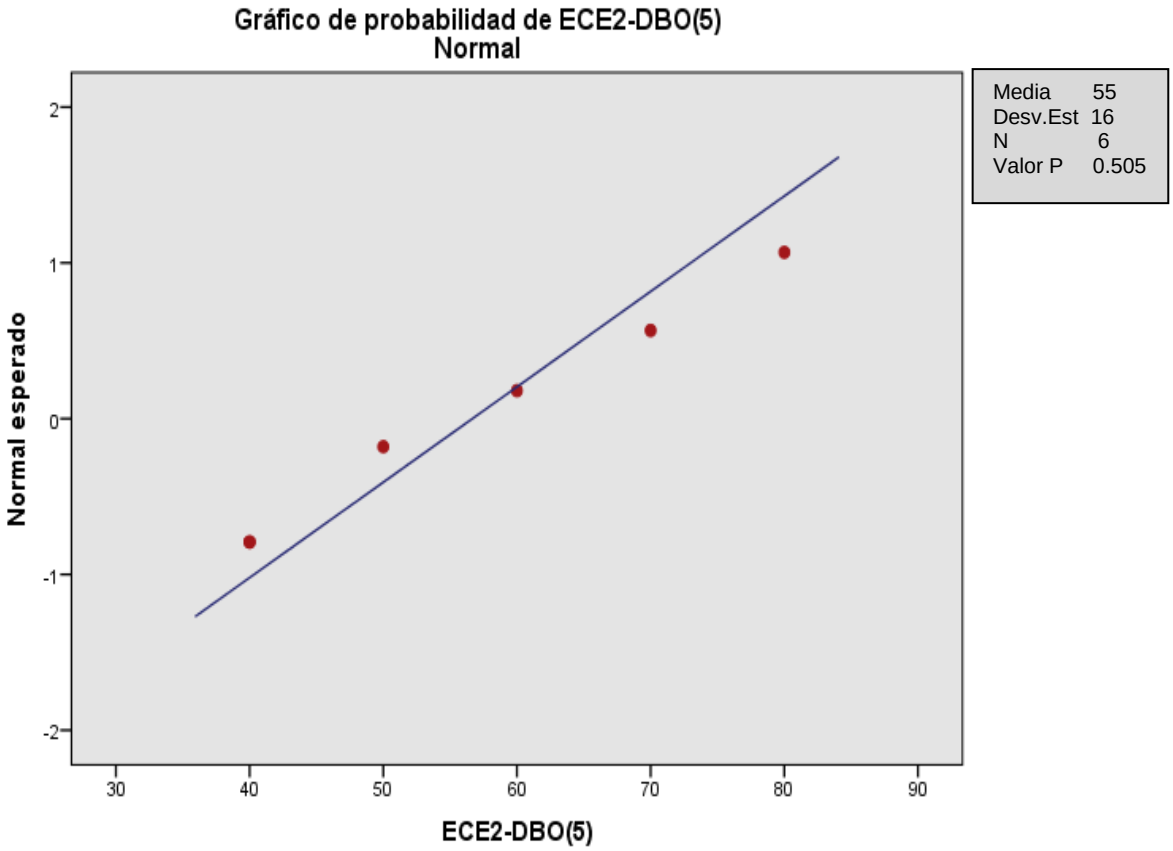


Figura 44. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración testigo – DBO(5)

La figura 44, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de la demanda bioquímica de oxigeno de las aguas de salida o efluente de la cámara de evapotranspiración testigo. En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

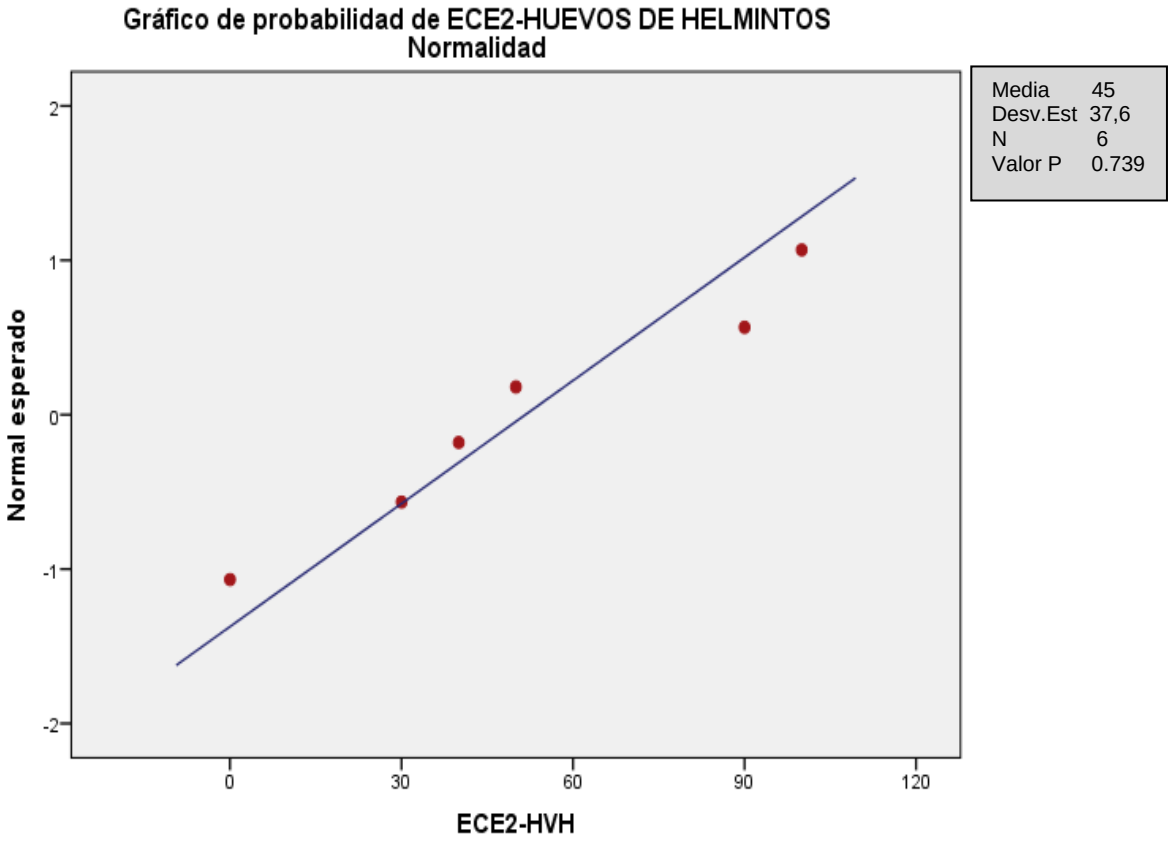


Figura 45. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración testigo – HVH

La figura 45, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de los huevos de helmintos de las aguas de salida o efluente de la cámara de evapotranspiración testigo. En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

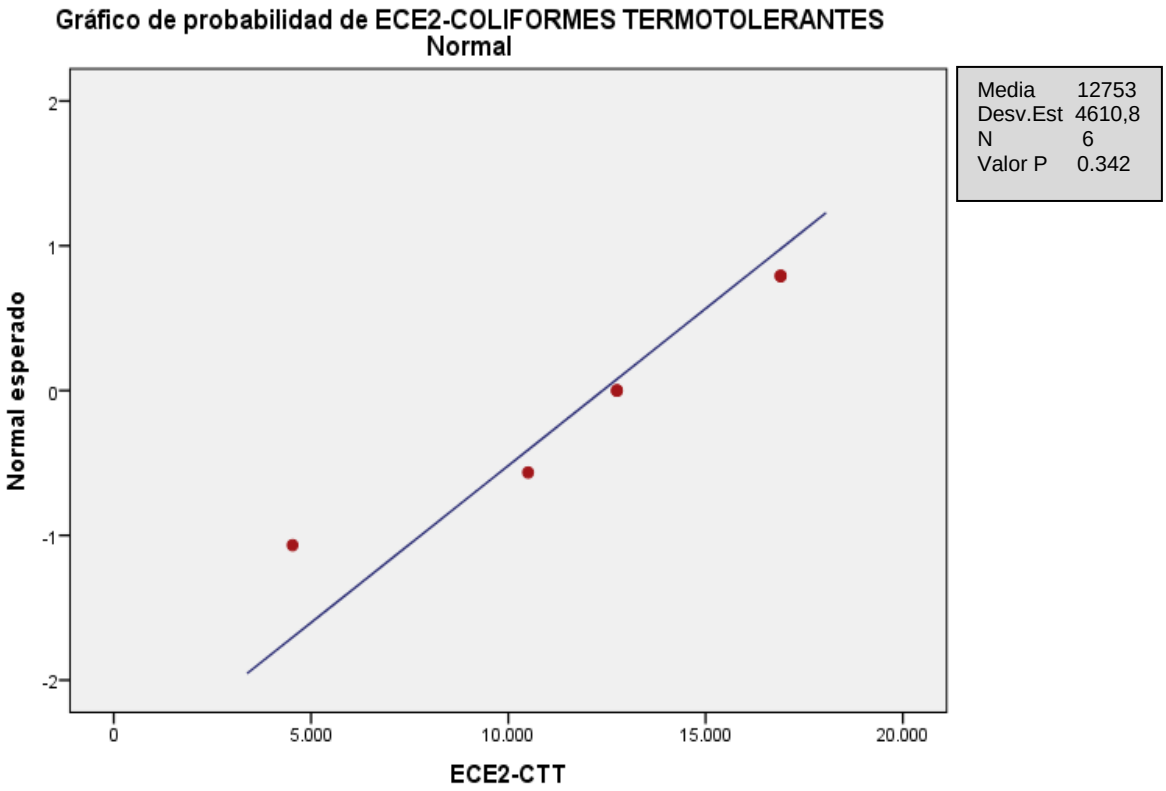


Figura 46. Normalidad del agua del efluente de la cámara de evapotranspiración testigo – CTT

La figura 46, nos señala lo ajustados que se encuentran los datos a la distribución normal (línea azul), donde los puntos rojos representan los valores de los coliformes termotolerantes de las aguas de salida o efluente de la cámara de evapotranspiración testigo. En este caso podemos observar el valor p es mayor que 0,05, entonces aceptamos H0 concluyendo que los datos se distribuyen normal.

ANEXO 4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS DEL TRATAMIENTO

La contrastación se realizó mediante el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis t – student diferencia de medias ya que es un modelo experimental de dos muestras independientes. También por la cantidad de muestras menores a 30. Y por las poblaciones diferentes (*tratamiento terciario* vs testigo).

Para la contratación de hipótesis está dada por:

Ho: Las medias de la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario) y testigo son iguales.

HA: Por lo menos una de las medias de la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario) y testigo es diferente.

Las dos hipótesis se basarán por cada parámetro, expresada de la siguiente manera:

1. **H0:** μ1=μ2=…=μk Las medias poblacionales son iguales
2. **HA:** Al menos una de las medias poblacionales son distintas

- **Contrastación de la turbiedad (UNT):**

Tabla 9. Prueba T de dos muestras independientes: ECE1-TURBIEDAD, ECE2-TURBIEDAD

Estadísticas de grupo					
	Tratamiento ECE1 vs ECE2	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Turbiedad de ECE1 vs ECE2	Turbiedad ECE1	6	9,1967	2,51079	1,02503
	Turbiedad ECE2	6	48,2117	29,98441	12,24108

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Turbiedad de ECE1 vs ECE2	Se asumen varianzas iguales	20,728	,001	-3,176	10	,010
	No se asumen varianzas iguales			-3,176	5,070	,024

En este caso podemos observar el valor de Significancia es menor que 0,05. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H0), concluyendo así que existen diferencias significativas entre los dos grupos, además que la reducción de turbiedad de la cámara de evapotranspiración domiciliaria (Tratamiento terciario) es mayor que el testigo.

- **Contrastación de los sólidos suspendidos totales (SST)**

Tabla 10. Prueba T de dos muestras independientes: ECE1-SST, ECE2-SST

Estadísticas de grupo

	Tratamiento ECE1 vs ECE2	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Solidos Totales Suspendidos de ECE1 vs ECE2	Solidos Totales Suspendidos de ECE1	6	15,6667	4,67618	1,90904
	Solidos Totales Suspendidos de ECE2	6	98,1667	54,73725	22,34639

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Solidos Totales Suspendidos de ECE1 vs ECE2	Se asumen varianzas iguales	16,379	,002	-3,678	10	,004
	No se asumen varianzas iguales			-3,678	5,073	,014

En este caso podemos observar el valor de Significancia es menor que 0,05. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H0), concluyendo así que existen diferencias significativas entre los dos grupos, además que la reducción de los sólidos suspendidos totales (SST) de la cámara de evapotranspiración domiciliaria (Tratamiento terciario) es mayor y difiere del testigo.

- **Contrastación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO (5)):**

Tabla 11. Prueba T de dos muestras independientes: ECE1-(DBO (5)), ECE2-(DBO (5))

Estadísticas de grupo

	DBO(5) ECE1 vs ECE2	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
DBO(5) de ECE1 vs ECE2	DBO(5) de ECE1	6	16,0667	5,19487	2,12080
	DBO(5) de ECE2	6	56,6667	16,32993	6,66667

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
DBO(5) de ECE1 vs ECE2	Se asumen varianzas iguales	8,585	,015	-5,803	10	,000
	No se asumen varianzas iguales			-5,803	6,002	,001

En este caso podemos observar el valor de significancia es menor que 0,05. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H0), concluyendo así que existen diferencias significativas entre los dos grupos, además que la reducción de DBO (5) de la cámara de evapotranspiración domiciliaria (Tratamiento terciario) es mayor y difiere del testigo

- **Contrastación de Huevos de Helmintos (HVH)**

Tabla 12. Prueba T de dos muestras independientes: ECE1-HVH ECE2-HVH

Estadísticas de grupo					
	Huevos de Helmintos de ECE1 vs ECE2	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Huevos de Helmintos de ECE1 vs ECE2	HVH de ECE1	6	,3333	,51640	,21082
	HVH de ECE2	6	51,6667	37,63863	15,36591

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Huevos de Helmintos de ECE1 vs ECE2	Se asumen varianzas iguales	11,692	,007	-3,340	10	,007
	No se asumen varianzas iguales			-3,340	5,002	,021

En este caso podemos observar el valor de significancia es menor que 0,05. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H0), concluyendo así que existen diferencias significativas entre los dos grupos, además que la reducción de Huevos de Helmintos de la cámara de evapotranspiración domiciliaria (Tratamiento terciario) es mayor y difiere del testigo.

- **Contrastación de Coliformes Termotolerantes (CTT)**

Tabla 13. Prueba T de dos muestras independientes: ECE1-CTT ECE2-CTT

Estadísticas de grupo

	Tratamientos de ECE1 vs ECE2	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Coliformes Termotolerantes de ECE1 vs ECE2	Coliformes Termotolerantes de ECE1	6	415,4667	416,92516	170,20898
	Coliformes Termotolerantes de ECE2	6	12390,3333	4610,85869	1882,37518

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Coliformes Termotolerantes de ECE1 vs ECE2	Se asumen varianzas iguales	5,891	,036	-6,336	10	,000
	No se asumen varianzas iguales			-6,336	5,082	,001

En este caso podemos observar el valor de significancia es menor que 0,05. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H0), concluyendo así que existen diferencias significativas entre los dos grupos, además que la reducción de los coliformes termotolerantes (CTT) de la cámara de evapotranspiración domiciliaria (Tratamiento terciario) es mayor y difiere que el testigo.

ANEXO 5. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO

La contrastación se realizó mediante el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis t – student apareadas ya que es un modelo experimental para muestras independientes y debe utilizarse para comparar las medias de dos grupos de casos, es decir, cuando la comparación se realice entre las medias de dos poblaciones independientes (los individuos de una de las poblaciones son distintos a los individuos de la otra). También por la cantidad de muestras menores a 30.

Esta prueba es una generalización del contraste de igualdad de medias para 2 muestras independientes.

Para la contratación de hipótesis está dada por:

Ho: La media de la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario) y afluente son Iguales.

HA: Por lo menos una de las medias de la cámara de evapotranspiración (Tratamiento terciario) y afluente es diferente.

Las dos hipótesis se basarán por cada parámetro, expresada de la siguiente manera:

1. H0: μ1=μ2=…=μk Las medias poblacionales son iguales
2. HA: Al menos dos medias poblacionales son distintas

- **Contrastación de la turbiedad (UNT)**

Tabla 14. Prueba T de dos muestras independientes: ACE-TURBIEDAD, ECE 1-TURBIEDAD

Estadísticas de grupo

	Tratamiento ACE vs ECE1	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Turbiedad de ACE vs ECE1	Turbiedad ECE1	6	9,1967	2,51079	1,02503
	Turbiedad ACE	6	1250,0000	187,08287	76,37626

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Turbiedad de ACE vs ECE1	Se asumen varianzas iguales	16,454	,002	-16,244	10	,000
	No se asumen varianzas iguales			-16,244	5,002	,000

En este caso podemos observar el valor de Significancia es menor que 0,05. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H0), concluyendo así que existen diferencias significativas entre los dos grupos, además que la cámara de evapotranspiración domiciliaria (Tratamiento terciario) reduce la turbiedad del afluente o agua residual de entrada.

- **Contrastación de los sólidos suspendidos totales (SST)**

Tabla 15. Prueba T de dos muestras independientes: ACE-SST, ECE 1-SST

Estadísticas de grupo					
	Tratamiento ACE vs ECE1	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Solidos Suspendidos Totales de ACE vs ECE1	Solidos Suspendidos Totales deECE1	6	15,6667	4,67618	1,90904
	Solidos Suspendidos Totales de ACE	6	1577,5000	459,36641	187,53555

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Solidos Suspendidos Totales de ACE vs ECE1	Se asumen varianzas iguales	15,636	,003	-8,328	10	,000
	No se asumen varianzas iguales			-8,328	5,001	,000

En este caso podemos observar el valor de Significancia es menor que 0,05. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H0), concluyendo así que existen

diferencias significativas entre los dos grupos, además que la cámara de evapotranspiración domiciliaria (Tratamiento terciario) reduce los sólidos suspendidos totales (SST) del afluente o agua residual de entrada.

- **Contrastación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO (5)):**

Tabla 16. Prueba T de dos muestras independientes: ACE-(DBO (5)), ECE 1-(DBO (5))

Estadísticas de grupo

	Tratamiento ACE vs ECE1	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
DBO(5) de ACE vs ECE1	DBO(5) deECE1	6	16,0667	5,19487	2,12080
	DBO(5) de ACE	6	323,6667	117,28029	47,87948

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
DBO(5) de ACE vs ECE1	Se asumen varianzas iguales	6,919	,025	-6,418	10	,000
	No se asumen varianzas iguales			-6,418	5,020	,001

En este caso podemos observar el valor de Significancia es menor que 0,05. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H0), concluyendo así que existen diferencias significativas entre los dos grupos, además que la cámara de evapotranspiración domiciliaria (Tratamiento terciario) reduce la demanda Bioquímica de Oxigeno ($DBO_{(5)}$) del afluente o agua residual de entrada.

- **Contrastación de Huevos de Helmintos (HVH)**

Tabla 17. Prueba T de dos muestras: ACE-(HVH), ECE 1-(HVH)

Estadísticas de grupo

	Tratamiento ACE vs ECE1	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Huevos de helmintos de ACE vs ECE1	Huevos de Helmintos deECE1	6	,3333	,51640	,21082
	Huevos de Helmintos de ACE	6	176,6667	98,06460	40,03471

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Huevos de helmintos de ACE vs ECE1	Se asumen varianzas iguales	12,889	,005	-4,404	10	,001
	No se asumen varianzas iguales			-4,404	5,000	,007

En este caso podemos observar el valor de Significancia es menor que 0,05. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H0), concluyendo así que existen diferencias significativas entre los dos grupos, además que la cámara de evapotranspiración domiciliaria (Tratamiento terciario) reduce los Huevos de Helmintos (HVH) del afluente o agua residual de entrada.

- **Contrastación de Coliformes Termotolerantes (CTT):**

Tabla 18. Prueba T de dos muestras: ECE1-(CTT), ECE2-(CTT)

Estadísticas de grupo					
	Tratamiento ACE vs ECE1	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Coliformes termotolerantes de ACE vs ECE1	Coliformes termotolerantes de ECE1	6	415,4667	416,92516	170,2089
	Coliformes termotolerantes de ACE	6	327620,6667	185340,25456	75664,8420

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Coliformes termotolerantes de ACE vs ECE1	Se asumen varianzas iguales	137,835	,000	-4,324	10	,002
	No se asumen varianzas iguales			-4,324	5,000	,008

La significancia es menor que 0,05. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H0), concluyendo que la cámara de evapotranspiración domiciliaria (Tratamiento terciario) reduce Coliformes Termotolerantes (CTT) del afluente.

ANEXO 6. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: DECRETO SUPREMO N° 003·201o-MINAM

Figura 47. Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR

ANEXO 7. UBICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO

Tabla 19. Ubicación del punto de monitoreo donde se ejecutó la investigación

UBICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO			
Nombre de EPS/Municipio:			
Nombre de PTAR:			
Ubicación de PTAR:			
Localidad	Distrito	Provincia	Departamento
IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO			
AFLUENTE			
Denominación del punto de muestreo (afluente).			
COORDENADAS U.T.M. (WGS84)			
Norte	Este	Zona UTM	Altitud
CAUDAL DE OPERACIÓN (promedio diario)		**Método de medición**	
EFLUENTE			
Denominación del punto de muestreo (efluente)			
COORDENADAS U.T.M. (WGS84)			
Norte	Este	Zona UTM	Altitud
CAUDAL DE OPERACIÓN (promedio diario)		**Método de medición**	
Datos del GPS (marca, modelo, número de serie, precisión del equipo)			

Fuente: Ficha adaptada del protocolo de monitoreo D.S 003-2013 Ministerio de Vivienda

…….,…...de……..…...…del 20…...
Quio Rubina Katery
Responsable de la PTAR

ANEXO 8. REGISTRÓ DE DATOS DE CAMPO

Tabla 20. Registro de datos de campo donde se ejecutó la investigación

REGISTRO DE DATOS DE CAMPO				
AFLUENTE				
Denominación del punto de monitoreo:				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal afluente (*)
Eventuales observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
EFLUENTE				
Denominación del punto de monitoreo:				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal afluente(*)
Eventuales observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				

Fuente: Ficha adaptada del protocolo de monitoreo D.S 003-2013 Ministerio de Vivienda

(*) Caudal de afluente y efluente en el momento del monitoreo

……,…...de……..…..…del 20…...

Quio Rubina Katery

Responsable de Monitoreo

ANEXO 9. ETIQUETAS PARA MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL

Tabla 21. Etiquetas para muestras de agua residual

ETIQUETA PARA MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL	
Nombre de la PTAR:	
Denominación del punto de monitoreo (afluente o efluente):	
Denominación del punto de monitoreo:	
No. de muestra(orden de toma de muestra)	
Fecha y hora	
Ensayo físico químico	☐ TURBIDEZ ☐ SST ☐ DBO (5) ☐ DQO
Otros parámetros	
Preservación	
Operador del muestreo	

Fuente: Ficha adaptada del protocolo de monitoreo D.S 003-2013 Ministerio de Vivienda

ANEXO 10. REPORTE DE RESULTADOS DEL MONITOREO

Tabla 22. Reporte de resultados del primer monitoreo de fecha 13/04/2018

REPORTE DE RESULTADOS DEL MONITOREO DE EFLUENTES DE PTAR								
Fecha de monitoreo: 13-04-18								
Nombre de la PTAR: CAMARA DE EVAPOTRANSPIRACION UNIFAMILIAR							**T° Ambiente**	
							Máximo: 28.7 °C	Mínimo: 28.3°C
Procedencia de la Muestra: AA.HH. 10 DE MARZO MZ B Lt.20 – Distrito de Manantay								
N°	**Tipo de muestra**	**Parámetro / Resultado de Análisis**						
		pH	**Temperatura °C**	**Turbiedad (NTU)**	**Solidos Suspendidos Totales (mg/L)**	**$DBO_{(5)}$ (mg/L)**	**Coliformes Termotolerantes NMP/100ml**	**Huevos de Helmintos Huevos/L**
1	Afluente (Entrada)	8	26.6	>1000	2050	300	1 312 935	250
2	Testigo	8.1	26.5	18	40	60	16902	100
3	Efluente (Salida)	7.2	26.9	12	21	22	1070	Ausencia
	LMP	6.5-8.5	<35	50	150	100	10 000	< 1

Tabla 23. Reporte de resultados del segundo monitoreo de fecha 19/04/2018

REPORTE DE RESULTADOS DEL MONITOREO DE EFLUENTES DE PTAR								
Fecha de monitoreo: 19-04-18								
Nombre de la PTAR: CAMARA DE EVAPOTRANSPIRACION UNIFAMILIAR							**T° Ambiente**	
							Máximo: 28.7 °C	Mínimo: 28.3°C
Procedencia de la Muestra: AA.HH. 10 DE MARZO MZ B Lt.20 – Distrito de Manantay								
N°	**Tipo de muestra**	**Parámetro / Resultado de Análisis**						
		pH	**Temperatura °C**	**Turbiedad (NTU)**	**Solidos Suspendidos Totales (mg/L)**	**$DBO_{(5)}$ (mg/L)**	**Coliformes Termotolerantes NMP/100ml**	**Huevos de Helmintos Huevos/L**
1	Afluente (Entrada)	9	27.6	>1000	1035	225	107022	225
2	Testigo	7.9	27.1	25	54	40	4532	90
3	Efluente (Salida)	7	27	9	14	15	312	Ausencia
	LMP	6.5-8.5	<35	50	150	100	10 000	< 1

Tabla 24. Reporte de resultados del tercer monitoreo de fecha 26/04/2018

REPORTE DE RESULTADOS DEL MONITOREO DE EFLUENTES DE PTAR								
Fecha de monitoreo: 26-04-18								
Nombre de la PTAR: CAMARA DE EVAPOTRANSPIRACION UNIFAMILIAR							**T° Ambiente**	
							Máximo: 28.7 °C	Mínimo: 28.3°C
Procedencia de la Muestra: AA.HH. 10 DE MARZO MZ B Lt.20 – Distrito de Manantay								
N°	**Tipo de muestra**	**Parámetro / Resultado de Análisis**						
		pH	**Temperatura °C**	**Turbiedad (NTU)**	**Solidos Suspendidos Totales (mg/L)**	**$DBO_{(5)}$ (mg/L)**	**Coliformes Termotolerantes NMP/100ml**	**Huevos de Helmintos Huevos/L**
1	Afluente (Entrada)	8.7	29.5	>1000	1600	250	215899	150
2	Testigo	7.5	28	35	77	70	12753	30
3	Efluente (Salida)	6.9	28.5	8	15	20	780	Ausencia
	LMP	6.5-8.5	<35	50	150	100	10 000	< 1

Tabla 25. Reporte de resultados del cuarto monitoreo de fecha 05/05/2018

REPORTE DE RESULTADOS DEL MONITOREO DE EFLUENTES DE PTAR								
Fecha de monitoreo: 05-05-18								
Nombre de la PTAR: CAMARA DE EVAPOTRANSPIRACION UNIFAMILIAR							**T° Ambiente**	
							Máximo: 28.7 °C	Mínimo: 28.3°C
Procedencia de la Muestra: AA.HH. 10 DE MARZO MZ B Lt.20 – Distrito de Manantay								
N°	**Tipo de muestra**	**Parámetro / Resultado de Análisis**						
		pH	**Temperatura °C**	**Turbiedad (NTU)**	**Solidos Suspendidos Totales (mg/L)**	**$DBO_{(5)}$ (mg/L)**	**Coliformes Termotolerantes NMP/100ml**	**Huevos de Helmintos Huevos/L**
1	Afluente (Entrada)	8.5	27.8	>1000	1400	280	492 238	210
2	Testigo	7.9	26.5	40	88	50	16 902	50
3	Efluente (Salida)	6.5	28.8	5	8	18	160	Ausencia
	LMP	6.5-8.5	<35	50	150	100	10 000	< 1

Tabla 26. Reporte de resultados del quinto monitoreo de fecha 13/05/2018

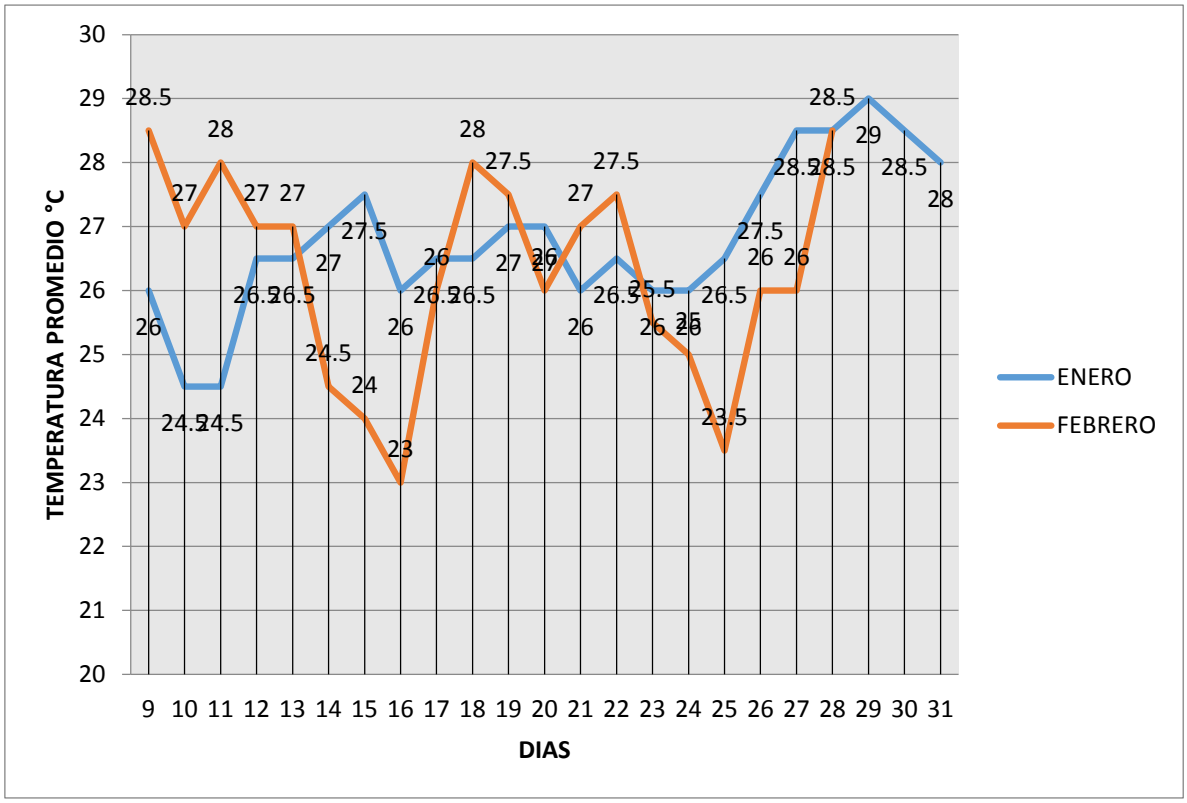
REPORTE DE RESULTADOS DEL MONITOREO DE EFLUENTES DE PTAR								
Fecha de monitoreo: 13-05-18								
Nombre de la PTAR: CAMARA DE EVAPOTRANSPIRACION UNIFAMILIAR							**T° Ambiente**	
							Máximo: 28.7 °C	Mínimo: 28.3°C
Procedencia de la Muestra: AA.HH. 10 DE MARZO MZ B Lt.20 – Distrito de Manantay								
N°	**Tipo de muestra**	**Parámetro / Resultado de Análisis**						
		pH	**Temperatura °C**	**Turbiedad (NTU)**	**Solidos Suspendidos Totales (mg/L)**	**$DBO_{(5)}$ (mg/L)**	**Coliformes Termotolerantes NMP/100ml**	**Huevos de Helmintos Huevos/L**
1	Afluente (Entrada)	8.1	27.5	>1000	1200	290	489 272	250
2	Testigo	7.7	24.5	85	156	40	127 53	40
3	Efluente (Salida)	6.5	26.8	10	16	14	169	Ausencia
	LMP	6.5-8.5	<35	50	150	100	10 000	< 1

Tabla 27. Reporte de resultados sexto monitoreo de fecha 29/05/2018

REPORTE DE RESULTADOS DEL MONITOREO DE EFLUENTES DE PTAR								
Fecha de monitoreo: 29-05-18								
Nombre de la PTAR: CAMARA DE EVAPOTRANSPIRACION UNIFAMILIAR							**T° Ambiente**	
							Máximo: 28.7 °C	Mínimo: 28.3°C
Procedencia de la Muestra: AA.HH. 10 DE MARZO MZ B Lt.20 – Distrito de Manantay								
N°	**Tipo de muestra**	**Parámetro / Resultado de Análisis**						
		pH	**Temperatura °C**	**Turbiedad (NTU)**	**Solidos Suspendidos Totales (mg/L)**	**$DBO_{(5)}$ (mg/L)**	**Coliformes Termotolerantes NMP/100ml**	**Huevos de Helmintos Huevos/L**
1	Afluente (Entrada)	8,24	26.8	>1000	2180	547	$9{,}2 \times 10^{8}$	Ausencia
2	Testigo	6.7	26.6	86,27	174	80	10 500	Ausencia
2	Efluente (Salida)	6.23	26.3	11,18	20	7.4	0 (<1,8)	Ausencia
3	**LMP**	6.5-8.5	<35	40	150	100	10 000	< 1

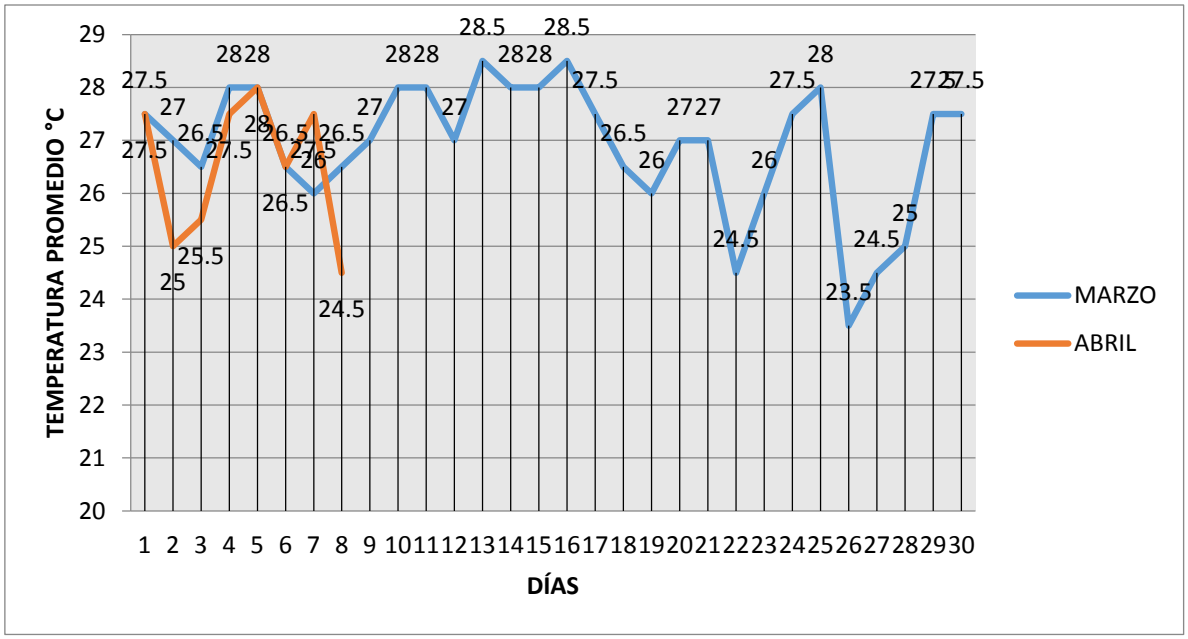
ANEXO 11. REPORTES DE PRECIPITACIÓN, HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA

Entre los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril del 2018 (época de estudio) las condiciones climáticas de temperatura, humedad relativa y precipitación se representan en las figuras 48,49, 50, 51 y 52 respectivamente.



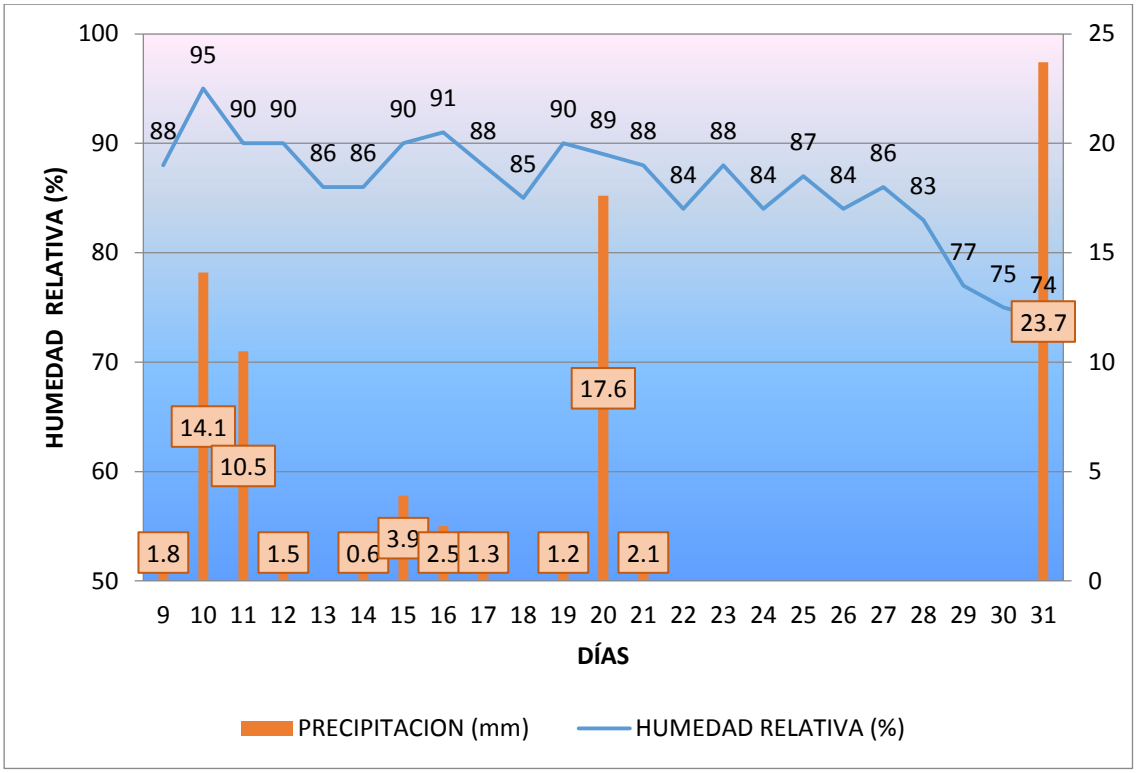
Fuente: Base de Datos de la Estacion Meteorologia - Universidad Nacional de Ucayali – Pucallpa – Peru, 2018.

Figura 48. Temperatura Promedio del mes de Enero y Febrero



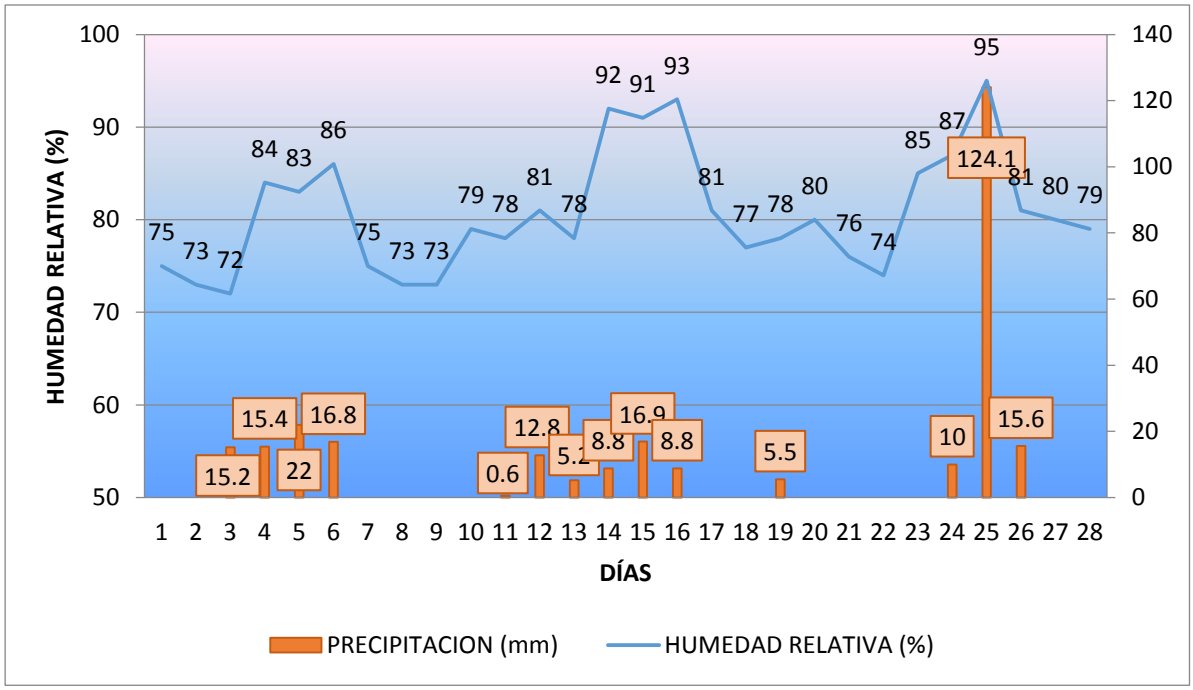
Fuente: Base de Datos de la Estacion Meteorologia - Universidad Nacional de Ucayali – Pucallpa – Peru, 2018.

Figura 49. Temperatura Promedio del mes de Marzo y Abril



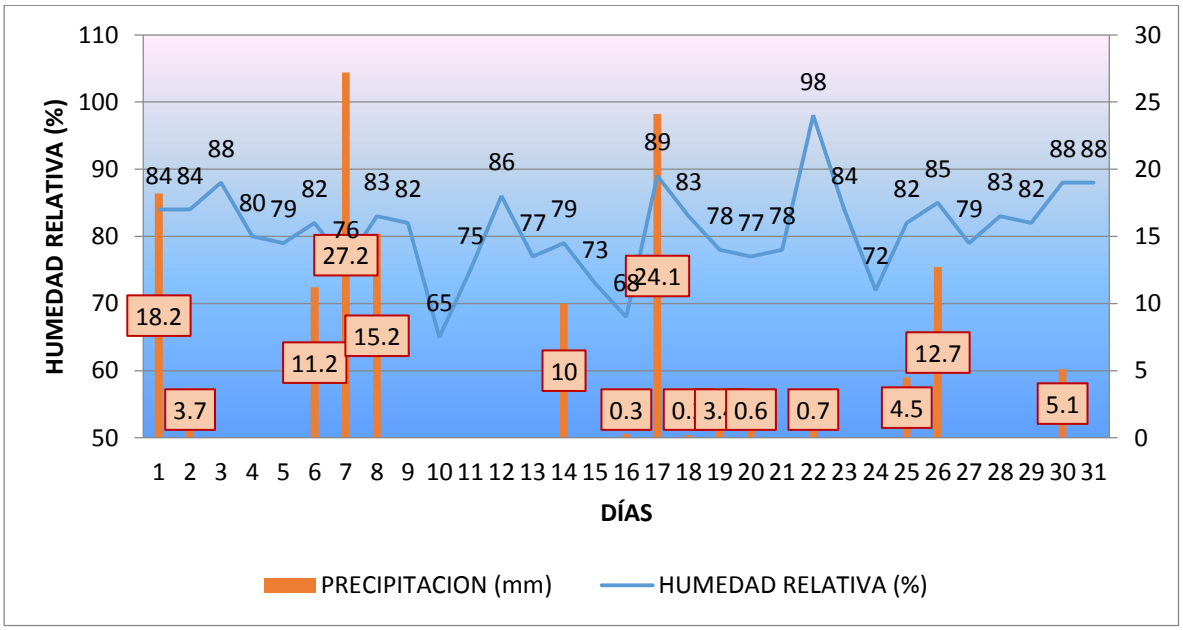
Fuente: Base de Datos de la Estación Meteorología - Universidad Nacional de Ucayali – Pucallpa – Peru, 2017.

Figura 50. Humedad Relativa y Precipitación Promedio del mes de Enero



Fuente: Base de Datos de la Estación Meteorología - Universidad Nacional de Ucayali – Pucallpa – Peru, 2017.

Figura 51. Humedad Relativa y Precipitación Promedio del mes de Febrero



Fuente: Base de Datos de la Estación Meteorologia - Universidad Nacional de Ucayali – Pucallpa – Peru, 2017.

Figura 52. Humedad Relativa y Precipitación Promedio del mes de Marzo

ANEXO 12. RESULTADOS CERTIFICADOS DE LOS ANÁLISIS DE AGUA FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS – REFERENCIAL LABORATORIO ACREDITADO DE NATURA ANALÍTICA S.A.C

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° 20180534

SOLICITANTE	KATERYN QUIO RUBINA
RUC	48328052
MUESTRA	**Agua Residual Domestico - ENTRADA**
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	**AA.-HH 10 de marzo Mz B Lt 20 – Distrito Manantay**
FECHA DE MUESTREO	**29/05/2018 Hora: 10:30 am**
FORMA Y PRESENTACIÓN	Frasco de vidrio con tapa hermética - Botella de plástico
CANTIDAD RECIBIDA	5 L aprox.
ANALISTA RESPONSABLE	Quim. Kely Taco Velásquez Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	29/05/2018
COLECTOR	Natura Analítica Sac
ANÁLISIS SOLICITADOS	**pH, temperatura, Turbidez, Solidos Totales suspendidos, Demanda Bioquímico de oxígeno, Coliformes Termotolerantes, Huevos de Helmintos.**
FECHA INICIO DE ENSAYO	29/05/2018
FECHA TERMINO DE ENSAYO	04/06/2018
FECHA EMISION DE RESULTADOS	05/06/2018

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
pH	Unidad de pH	SM 4500-H+ B	8,24
TEMPERATURA	°C	SM 2550 B	26,8
TURBIEDAD	UNT	Nefelómetro	> 1000
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	SM 2540 D	2 180
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO_5)	mg/L	SM 5210 B	54733,3

MÉTODO: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Ed. 22 2012

ANÁLISIS MICROBIOLOGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100mL	SM 9221 E	$9,2 \times 10^4$
HUEVOS DE HELMINTOS	Huevos/L	SM 10750 B	AUSENCIA

NMP: NUMERO MAS PROBABLE

Figura 53. Certificados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del afluente por el Laboratorio acreditado de Natura Analítica S.A.C

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° 20180535

SOLICITANTE	KATERYN QUIO RUBINA
RUC	48328052
MUESTRA	**Agua Residual Domestico – SALIDA**
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	**AA-HH 10 de marzo Mz B Lt 20 – Distrito Manantay**
FECHA DE MUESTREO	**29/05/2018 Hora: 10:30 am**
FORMA Y PRESENTACIÓN	Frasco de vidrio con tapa hermética - Botella de plástico
CANTIDAD RECIBIDA	5 L aprox.
ANALISTA RESPONSABLE	Quim. Kely Taco Velásquez Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	29/05/2018
COLECTOR	Natura Analítica Sac
ANÁLISIS SOLICITADOS	**pH, temperatura, Turbidez, Solidos Totales suspendidos, Demanda Bioquímico de oxígeno, Coliformes Termotolerantes, Huevos de Helmintos.**
FECHA INICIO DE ENSAYO	29/05/2018
FECHA TERMINO DE ENSAYO	04/06/2018
FECHA EMISION DE RESULTADOS	05/06/2018

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
pH	unidad de pH	SM 4500-H⁺ B	6,23
TEMPERATURA	°C	SM 2550 B	26,3
TURBIEDAD	UNT	Nefelómetro	86,27
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	SM 2540 D	174
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO_5)	mg/L	SM 5210 B	7,4

MÉTODO: **SMEWW-APHA-AWWA-WEF Ed. 22 2012**

ANÁLISIS MICROBIOLOGICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100mL	SM 9221 E	0 (<1,8)
HUEVOS DE HELMINTOS	Huevos/ L	SM 10750 B	AUSENCIA

NMP: NUMERO MAS PROBABLE

Figura 54. Certificados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del efluente por el Laboratorio acreditado de Natura Analítica S.A.C



Natura Analítica

Natura Analítica SAC
RUC: 20600103661

SECCIÓN II:
ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° 20180635

SOLICITANTE	KATERYN QUIO RUBINA
RUC	48328052
* MUESTRA	**Agua Residual Domestico**
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	**AA-HH 10 de marzo Mz B Lt 20 – Distrito Manantay**
FECHA DE MUESTREO	**09/06/2018**
FORMA Y PRESENTACIÓN	Botella de plástico
CANTIDAD RECIBIDA	1 L aprox.
ANALISTA RESPONSABLE	Quim. Kely Taco Velásquez Blgo. Alcides Castillo Q.
FECHA DE INGRESO	09/06/2018
COLECTOR	Natura Analitica Sac
ANÁLISIS SOLICITADOS	**Turbidez.**
FECHA INICIO DE ENSAYO	09/06/2018
FECHA TERMINO DE ENSAYO	11/06/2018
FECHA EMISIÓN DE RESULTADOS	11/06/2018

*** El laboratorio solo se hace responsable de la muestra a partir de su recepción.**

RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
TURBIEDAD	UNT	Nefelómetro	11,18

MÉTODO: **SMEWW-APHA-AWWA-WEF Ed. 22 2012**

GERENCIA TÉCNICA Natura Analitica S.A.C. Natura Analitica S.A.C. Quim. Kely Paola Taco Velasquez COP. 809 GERENTE TECNICO

1 de 1

av. Sáenz Peña 503 PUCALLPA teléfono: 576060 E-MAIL: naturaanalitica@gmail.com

Figura 55. Certificados de los análisis turbiedad del efluente por el Laboratorio acreditado de Natura Analítica S.A.C

ANEXO 13. PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 57. Investigador con las cámaras de evapotranspiración



Figura 56. Sedimentador secundario, incluido el filtro de carbón activado y la cloración.



Figura 58. Cámara de evapotranspiración tratamiento terciario y testigo



Figura 62. Impermeabilización de las cámaras de evapotranspiración



Figura 61. Lecho de grava como filtro granulométrico

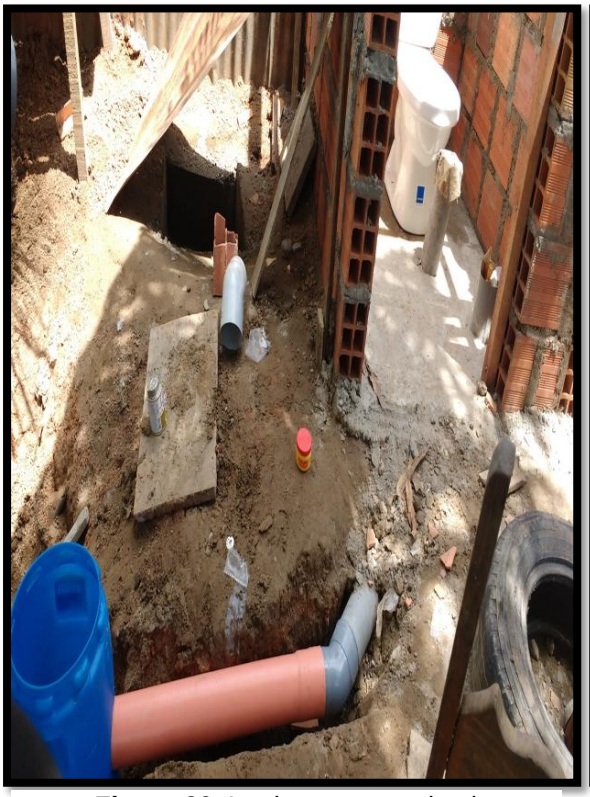


Figura 60. Inodoro conectado al Sedimentador primario

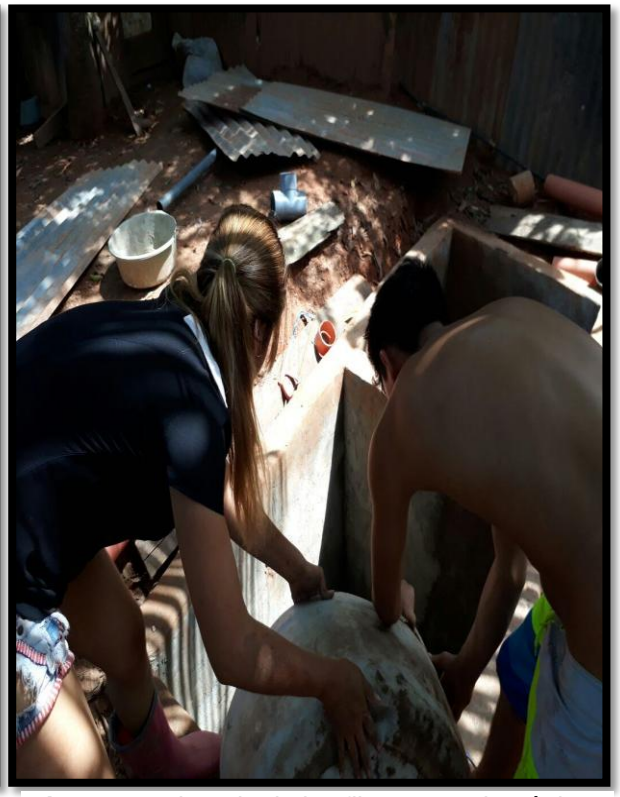


Figura 59. Llenado de los filtros granulométricos a la cámara de evapotranspiración



Figura 66. Monitoreo de las cámaras de evapotranspiración



Figura 65. Análisis de las propiedades fisicoquímicas (pH, T°, Turbiedad)



Figura 64. Análisis en campo de las propiedades fisicoquímicas (pH, T°), por el laboratorio de Natura.



Figura 63. Toma de muestras de la salida del agua tratada.

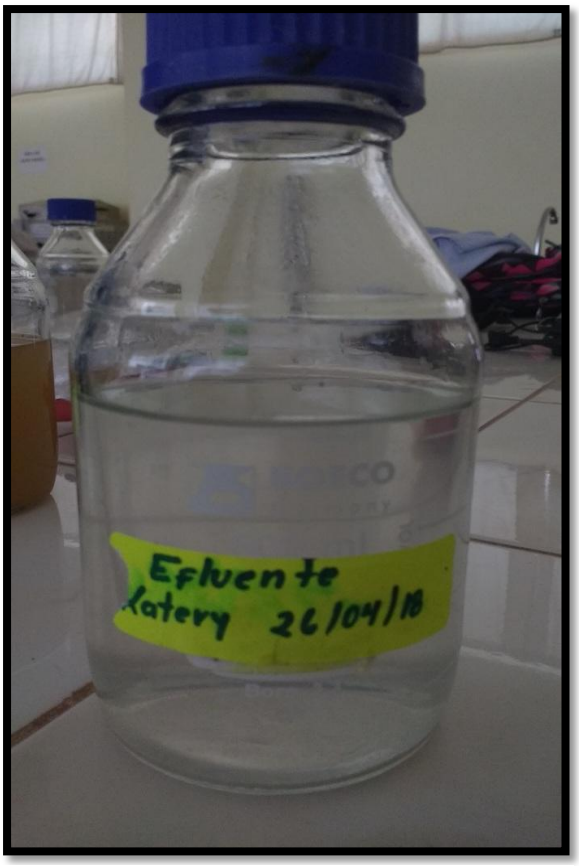


Figura 68. Agua tratada de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario



Figura 69. Agua tratada de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario y afluente (izquierda y derecha respectivamente)



Figura 67. Agua tratada de la cámara de evapotranspiración con tratamiento terciario y afluente (izquierda y derecha respectivamente) y testigo (centro)