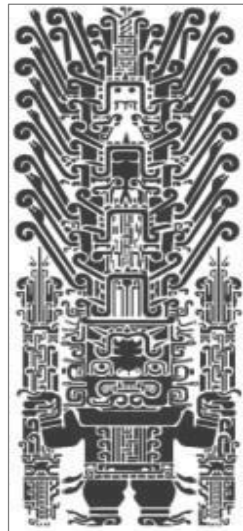


**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**EVALUACION DE LA EFICIENCIA ENTRE DOS SISTEMAS DE  
BIOFILTROS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES  
DOMESTICAS DE LA LOCALIDAD DE CARAPONGO, LURIGANCHO-  
CHOSICA.**

Presentado por la Bachiller  
**Andrea Elizabeth Quispe Pulido**

Para obtener el Título Profesional de  
**Ingeniero Ambiental**

Lima - Perú

**2018**



## **DEDICATORIA**

A mis padres Walter Quispe y Elisa Pulido

A mi hermana Diana Quispe

A Brayam Casimiro, a Aitana mi adorada hija

## **AGRADECIMIENTO**

En estas líneas deseo manifestar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo durante estos cinco años de mi carrera universitaria.

Ante todo, agradecer a Dios por iniciar y concluir mis estudios universitarios en forma satisfactoria.

A mis padres por apoyarme en mis sueños, Elisa y Walter, por guiarme en la vida y por ser los seres que motivan mis pasos en las pruebas más difíciles de mi vida. Gracias a su ejemplo me sostengo siempre de pie. A mi hermana Diana por su cariño, apoyo y comprensión.

A mi hija Aitana por ser mi motor y mi mayor motivación para seguir superándome cada día en todos los aspectos.

Especialmente, a mi amigo y compañero de la vida, Brayam Casimiro, por apoyarme en el desarrollo del proyecto.

Asimismo, un agradecimiento especial a mi tutor el Dr. Walter Gómez Lora, por brindarme la oportunidad de desarrollar el presente proyecto bajo sus tutorías.

Seguidamente expresar mis agradecimientos a todos mis compañeros del Centro de Investigación y Gestión del Agua (CEIGA-UNFV) en el desarrollo de la tesis, por acogerme y brindarme su amistad como a uno más, dentro y fuera de la Universidad.

A mis docentes informantes: Dr Edwin Galarza, Dr. Noé Zamora, Ing Benigno Gómez, y Dr. Miguel Alva y a todos los docentes de la FIGAE, por su paciencia, tiempo y aportes para nuestra formación de Ingenieros Ambientales.

Finalmente quiero agradecer a todas las personas que colaboraron durante mi periodo de Investigación por todo lo que he aprendido de ellos, tanto profesionalmente, como adquirir valores los cuales hacen que crezca como persona.

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general evaluar la eficiencia entre dos sistemas pilotos de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales mediante el análisis de los parámetros físico - químico y microbiológico con la finalidad de brindar un aporte en el tratamiento y reaprovechamiento del agua residual para fines de riego de cultivos en Carapongo y mitigar la contaminación en los canales de regadío y como consiguiente en el río Rímac, en beneficio de los habitantes y el ambiente. Para lo cual se empleó el método empírico de muestreo no probabilístico y de diseño experimental, para su evaluación se implementaron dos biofiltros, el primer sistema de biofiltro (SB1) conformado por un canal de desbaste, tanque séptico, humedal subsuperficial de flujo vertical (HSSFV) y humedal superficial (HS), y el segundo sistema de biofiltro (SB2) conformado por un canal de desbaste, tanque séptico, lombrifiltro y humedal superficial, empleando como vegetación a las especies *Cyperus papyrus* y *Alocasia macrorrhiza* en el HSSFV, *Eichhornia crassipes* en el HS y *Eisenia foetida* en el lombrifiltro. Esta investigación se realizó en el terreno de la Sra. María Capcha, ubicado en Carapongo (8671623N, 0293512E). Los resultados obtenidos de los parámetros Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ), nitrito ( $NO_2^-$ ), fosfatos ( $PO_4^{3-}$ ) y Coliformes Termotolerantes (CT) fueron registrados por un periodo de 5 semanas (Mayo - Julio del 2016), se analizaron 25 muestras en total de los puntos de muestreo M1, M2, M3, M4 y M5 llegando a las siguientes conclusiones, el SB1 fue más eficiente en la remoción de SST,  $DBO_5$  y CT con valores de 95.71%, 91.55% y 99.87%, respectivamente. En tanto, el SB2 presentó valores de 90.33%, 91.23% y 97.28%, respectivamente. Por otro lado, el SB2 presentó una mayor remoción de  $PO_4^{3-}$  con un valor de 94.5% frente al 92.23% en el SB1. Respecto al cumplimiento de los estándares de calidad ambiental, todos los parámetros con excepción de  $PO_4^{3-}$  y CT del efluente del SB1 y SB2 cumplen con la normatividad.

**Palabras claves:** sistema de biofiltro, agua residual, humedal, lombrifiltro

## **ABSTRACT**

The general objective of this research is to evaluate the efficiency between two biofilter pilot systems for the treatment of wastewater by analyzing the physical - chemical and microbiological parameters in order to provide a contribution in the treatment and reuse of wastewater for irrigation purposes of crops in Carapongo and mitigate pollution in the irrigation channels and as a result in the Rímac river, for the benefit of the inhabitants and the environment. For which the empirical method of non-probabilistic sampling and experimental design was used, for its evaluation two biofilters were implemented, the first biofilter system (SB1) formed by a roughing channel, septic tank, vertical flow subsurface wetland (HSSFV ) and superficial wetland (HS), and the second biofilter system (SB2) formed by a roughing channel, septic tank, vermicompost and surface wetland, using as vegetation the species *Cyperus papyrus* and *Alocasia macrorrhiza* in the HSSFV, *Eichhornia crassipes* in the HS and *Eisenia foetida* in the vermicompost. This investigation was conducted on the grounds of Ms. María Capcha, located in Carapongo (8671623N, 0293512E). The results obtained from the parameters Total Suspended Solids (TSS), Biochemical Oxygen Demand (BOD5), nitrate (NO-3), nitrite (NO-2), phosphates (PO4-3) and Thermotolerant Coliforms (TC) were recorded by a period of 5 weeks (May - July 2016), 25 samples were analyzed in total from sampling points M1, M2, M3, M4 and M5 reaching the following conclusions, SB1 was more efficient in the removal of TSS, BOD5 and TC with values of 95.71%, 91.55% and 99.87%, respectively. Meanwhile, SB2 presented values of 90.33%, 91.23% and 97.28%, respectively. On the other hand, SB2 showed a greater removal of PO4-3 with a value of 94.5% compared to 92.23% in SB1. Regarding compliance with environmental quality standards, all parameters except PO4-3 and TC of the effluent of SB1 and SB2 comply with the regulations.

**Keywords:** Biofilter system, wastewater, Wetland, lombrifiltro

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	3
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	4
<b>RESUMEN</b> .....	5
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>CAPITULO I: ASPECTOS METODOLOGICOS</b> .....	7
1.1. ANTECEDENTES .....	7
1.1.1. Internacionales .....	7
1.1.2. Nacionales .....	9
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.2.1. Descripción del problema.....	10
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
1.3.1. Problema principal .....	11
1.3.2. Problemas específicos .....	12
1.4. OBJETIVOS.....	12
1.4.1. Objetivo general.....	12
1.4.2. Objetivos específicos .....	12
1.5. HIPÓTESIS .....	12
1.6. VARIABLES.....	13
1.7. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	14
1.7.1. Justificación.....	14
1.7.2. Importancia.....	14
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	15
2.1. BASES TEÓRICAS .....	15
2.1.1. Características de las aguas residuales .....	15
2.1.2. Humedales artificiales .....	18
2.1.3. Proceso de remoción de contaminantes .....	23
2.1.4. Vegetación en los humedales artificiales .....	33
2.1.5. Lombrifiltro .....	41
2.2. Marco legal.....	43
<b>CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS</b> .....	48
3.1. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS .....	48
3.2. METODOS.....	50
3.2.1. Diseño y tipo de investigación.....	50

3.3. PROCEDIMIENTO.....	50
3.3.1. Diseño e implementación de los dos sistemas pilotos de biofiltros.....	51
3.3.2. Análisis de la calidad del agua residual y determinación de la eficiencia de remoción. ....	70
3.3.3. Propuesta de diseño del sistema de biofiltros a gran escala .....	72
<b>CAPITULO IV: AREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>73</b>
4.1. Ubicación Política.....	73
4.2. Localización Geográfica .....	73
4.3. Aspecto socioeconómico.....	75
4.4. Servicios básicos en la vivienda .....	76
4.5. Planta de tratamiento de agua residual.....	77
<b>CAPITULO V: RESULTADOS .....</b>	<b>79</b>
5.1. Diseño e implementación de los dos sistemas de biofiltro .....	79
5.2. Análisis de la calidad de agua residual y determinación de la eficiencia .....	104
<b>CAPITULO VI: PROPUESTA DE SISTEMA DE BIOFILTRO.....</b>	<b>118</b>
6.1. Propuesta de diseño del sistema de biofiltro SB1.....	118
<b>CAPITULO VII: DISCUSION DE RESULTADOS .....</b>	<b>122</b>
<b>CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>126</b>
8.1. CONCLUSIONES.....	126
8.2. RECOMENDACIONES .....	127
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>128</b>
GLOSARIO .....	135
ANEXOS.....	138



## INDICE DE CUADROS

Nº	Descripción	Pág.
1.	Variable Dependiente.....	13
2.	Variable Independiente.....	13
3.	Composición típica del agua residual doméstica sin tratar .....	15
4.	Mecanismos de remoción de los contaminantes en los humedales .....	24
5.	Principales microorganismos patógenos presentes en el agua residual .....	31
6.	Funciones generales de las plantas en un humedal .....	38
7.	Condiciones de hábitat de la <i>Eisenia Foétida</i> .....	43
8.	Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales (Agua para riego no restringido).....	44
9.	Valores guía de la EPA para el reúso de aguas residuales. ....	45
10.	Guía sugerida para aguas tratadas en el reúso agrícola y sus requerimientos de tratamiento.....	45
11.	Límites máximos permisibles de contaminantes .....	46
12.	Recomendaciones sobre la calidad microbiológica para agua residual tratada para uso en agricultura.....	47
13.	Materiales e Instrumentos para el canal de desbaste y Tanque séptico .....	48
14.	Materiales para el Sistema de biofiltros .....	48
15.	Otros materiales y equipos .....	49
16.	Valores recomendados de coeficientes punta para pequeñas comunidades .....	52
17.	Valores recomendados de los parámetros para el dimensionamiento de las rejillas ...	56
18.	Valores recomendados de los parámetros necesarios para el dimensionamiento de desarenadores.....	57
19.	Características típicas de los medios para humedales HSS .....	66
20.	Conductividad térmica de los componentes de un humedal Subsuperficial .....	69
21.	Parámetros de evaluación en la caracterización del agua residual.....	71
22.	Caudal en plantas de tratamiento de agua residual (l/s) .....	78
23.	Resumen de cálculos de caudal.....	79
24.	Resumen de dimensiones del pretratamiento .....	83
25.	Resumen de dimensiones del tanque séptico.....	87
26.	Resumen de dimensiones del Humedal superficial (HS) .....	91
27.	Resumen de dimensiones del lombrifiltro .....	94
28.	Resumen de dimensiones del Humedal subsuperficial (HSS).....	95
29.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)-SB1 .....	105
30.	Sólidos Suspendidos Totales (SST)-SB1 .....	106
31.	Fosfatos-SB1 .....	109

32. Coliformes Termotolerantes-SB1 .....	110
33. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)-SB2.....	112
34. Solidos Suspendidos Totales (SST)-SB2 .....	113
35. Fosfatos-SB2.....	116
36. Coliformes Termotolerantes-SB2 .....	117
37. Dimensiones del SB1- Propuesta.....	118
38. Dimensiones del humedal subsuperficial vertical.....	121
39. Dimensiones del humedal superficial .....	121
40. Costo de la implementación del SB1-Propuesta.....	121
41. Resultados y porcentajes de remoción en humedal subsuperficial vertical .....	122
42. Comparación de resultados y porcentajes de remoción .....	123
43. Resultados y porcentajes de remoción de DBO5 y SST .....	124

### INDICE DE GRAFICOS

Nº	Descripción	Pág.
1.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)-SB1.....	104
2.	Solidos Suspendidos Totales (SST)-SB1 .....	105
3.	Nitratos-SB1 .....	107
4.	Nitritos-SB1 .....	107
5.	Fosfatos-SB1.....	108
6.	Coliformes Termotolerantes-SB1 .....	109
7.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (SST)-SB2 .....	111
8.	Solidos Suspendidos Totales (SST)-SB2 .....	112
9.	Nitratos-SB2 .....	114
10.	Nitritos-SB2.....	114
11.	Fosfatos-SB2.....	115
12.	Coliformes Termotolerantes-SB2 .....	116

### INDICE DE FIGURAS

Nº	Descripción	Pág.
1.	Clasificación de humedales construidos para el tratamiento de agua residual doméstica.....	19
2.	Esquema general de los filtros plantados de flujo libre .....	20
3.	Esquema general de los filtros plantados de flujo vertical .....	22
4.	Esquema general de los filtros plantados de flujo horizontal .....	23

5. Ciclo del nitrógeno en un humedal .....	30
6. <i>Cyperus Papyrus</i> .....	39
7. <i>Eichhornia crassipes</i> .....	40
8. <i>Alocasia macrorrhiza</i> .....	41
9. Ciclo reproductivo de la <i>Eisenia Foétida</i> .....	42
10. Esquema de sistemas de biofiltro .....	51
11. Línea de Pretratamiento estándar para depuradoras de pequeñas comunidades .....	53
12. Esquema de un canal de desbaste .....	55
13. Esquema de un tanque séptico .....	62
14. Puntos de monitoreo en los sistemas de biofiltros .....	70
15. Imagen satelital del área de estudio .....	73
16. Mapa de Zonas de Carapongo .....	75
17. Tipo de abastecimiento de agua, 2007 (Distribución porcentual) .....	76
18. Tipo de servicios higiénicos, 2007 (Distribución porcentual) .....	77
19. Sistema de tratamiento Lodos activados, PTAR San Antonio de Carapongo.....	78

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

Nº	Descripción	Pág.
1.	Condiciones iniciales del terreno .....	97
2.	Terreno nivelado y deshierbado .....	97
3.	Demarcación del terreno (Izq.) y excavación de pozos (Der.) .....	98
4.	Construcción de canal de desbaste (Izq.) y tanque séptico (Der.) .....	99
5.	Tarrajeado del canal de desbaste y tanque séptico.....	99
6.	Instalación de rejas gruesas y finas e instalación de tuberías .....	100
7.	Colocación de las especies <i>Cyperus Papyrus</i> y <i>Alocasia macrorrhiza</i> y sustratos en el humedal subsuperficial.....	100
8.	Colocación de la especie <i>Eichhornia crassipens</i> y sustratos en el humedal superficial .....	101
9.	Colocación de la especie <i>Eisenia foetida</i> y sustratos en el lombrifiltro .....	101
10.	Sistema de Biofiltro SB1 (Izq.) y Sistema de Biofiltro SB2 (Der.) .....	102
11.	Limpieza del canal de desbaste .....	103
12.	Monitoreo de la calidad de agua en los sistemas. ....	103
13.	Extracción de lodos del tanque séptico (Izq.) y control de especies (Der.).....	102

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial debido a su incidencia directa sobre la salud humana, así como por su efecto sobre el ambiente al contaminar los depósitos naturales que serán empleados como fuentes de abastecimiento para plantas de potabilización y demás actividades humanas. (Trang & Konnerup, 2010).

En el Perú, a fines de 2012, el 82,6% de la población urbana vertió sus aguas residuales a una red de alcantarillado, dado que tuvo acceso al servicio, de los cuales sólo el 32% (259 Millones de metros cúbicos) ingresaron a un sistema de tratamiento de aguas residuales (muchos de los cuales con deficiencias operativas y de mantenimiento), y el resto (549 Millones de metros cúbicos) se descargó directamente a un cuerpo de agua (mar, ríos o lagos), contaminando de esta manera los cuerpos de agua superficial que se usan para la agricultura, pesca, recreación e incluso para el abastecimiento de agua potable. (Vergara, Las EPS y su desarrollo, 2013)

La localidad de Carapongo cuenta con 210 hectáreas de área agrícola el cual es irrigado con las aguas en mal estado del río Rímac (Soto & Siura, 2008), mientras que las aguas residuales de dicha localidad son vertidos clandestinamente a los canales de riego. Ello debido a que no cuenta en su totalidad con un sistema de tratamiento tanto de las aguas residuales como de las aguas de riego. Asimismo, estudios realizados en el 2006 muestran que más del 97 % de agua aplicada a las hortalizas posee concentraciones de coliformes fecales de hasta  $5 \times 10^6/100$  ml, encima de los estándares de calidad de agua (ECA-Agua 1000 NMP/100ml) estipulados en la legislación nacional ambiental. Como consecuencia se detectó una gran variedad de parásitos de origen humano los cuales ponen en riesgo a la salud de estos mismos (Centro internacional de la papa, 2007).

Por tal motivo, en la presente investigación se evaluará la eficiencia entre dos sistemas de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domesticas a fin de contribuir en el mejoramiento de la calidad del agua residual para fines de riego en la localidad de Carapongo- Lurigancho Chosica.

## CAPITULO I: ASPECTOS METODOLOGICOS

### 1.1. ANTECEDENTES

#### 1.1.1. Internacionales

**Cardoso L., et al.** (2013) en su artículo de investigación titulado "**Evaluación de un vermifiltro piloto para el tratamiento de aguas residuales**" propone una alternativa tecnológica para el tratamiento de las aguas residuales in situ, como la vermifiltración teniendo como objetivo diseñar e instalar un vermifiltro piloto (VP) para el tratamiento del agua y evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes por vermifiltración. El VP se empacó con un material orgánico filtrante, la vermicomposta y un material inorgánico filtrante, el tezontle. Sobre la vermicomposta se colocó una capa de residuos orgánicos sólidos (ROS), conformados por una mezcla de lodo residual y residuos de comida (hortalizas y fruta), en esta capa se inocularon lombrices de tierra del género *Eisenia sp.* El VP se alimentó con agua de servicios sanitarios mediante flujo continuo. El estudio se dividió en tres etapas, con tres tasas de filtración (TF) y tres cargas orgánicas superficiales (COS). Se evaluaron el influente y efluente mediante los métodos convencionales de calidad del agua, teniendo como resultado altas remociones 92 % DQO, 99 % DBO, 97 % SST correspondientes a la Etapa 1, también obtuvo la mayor remoción de N-amoniaco (98 %) y la mayor remoción en la concentración de coliformes fecales ( $18.5 \times 10^3$  NMP·100 mL<sup>-1</sup> a  $< 3$  NMP·100 mL<sup>-1</sup>). Llegando a la conclusión de que es necesario continuar con el estudio para lograr optimizar los procesos de desnitrificación, aunque el efluente se puede reusar para riego agrícola o de áreas verdes.

En el artículo de investigación titulado "**Eficiencia de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales del empacado de hortalizas**" se tuvo como objetivo tratar el agua resultante del pelado de vegetales de una empacadora situada en Atlixco, México, mediante un sistema de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal, a nivel de mesocosmos, compuesto por un sedimentador, una celda con grava de río y plantada con *Phragmites australis*, seguida por dos celdas paralelas, con grava y piedra volcánica, plantadas con *Typha latifolia*. Operando por semilotes, el tiempo de residencia hidráulica en cada celda fue de 5 días.

En consecuencia, se obtuvo un alto porcentaje de reducción de la Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno (DQO/DBO) que fue de 77/48 con altas cargas orgánicas del agua residual (DBO > 2000 mg L<sup>-1</sup>) y de 92/94 con bajas cargas (DBO < 1200 mg L<sup>-1</sup>). Otros parámetros analizados (pH, conductividad eléctrica, potencial redox, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) mostraron valores aceptables a la salida del sistema. Finalmente, se concluye que el tratamiento en el humedal de flujo subsuperficial mejora las características organolépticas del agua residual y lleva el pH a valores cercanos a la neutralidad (Navarro, A. y et al. 2013).

En el artículo titulado **“Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales”** el cual tiene como objetivo comparar el tratamiento de las aguas residuales domésticas utilizando sistemas naturales como los humedales artificiales obteniendo resultados de remoción de materia orgánica (DBO<sub>5</sub>) de entre 70 y 86% al utilizar el buchón de agua, y de 58% cuando se utiliza lenteja de agua. El sistema de humedales artificiales se comporta hidráulicamente como un modelo de flujo pistón, sin distinción del tipo de planta acuática que se use. Durante la experimentación se observó que cuando se utilizó la lenteja de agua en el humedal artificial, ésta le aportó al agua elementos característicos de la planta que aumentan el pH (> 11) en el agua efluente; mientras que con el buchón de agua, los valores de pH del agua están en el rango de 6 a 8.0, favoreciendo la estabilización de la materia orgánica dentro del sistema biológico. Obteniéndose resultados durante el tiempo de operación del sistema que permiten concluir que el reactor con mejor rendimiento fue el diseñado con buchón de agua, debido a que el porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> que éste presentó a partir de su periodo de estabilización obtuvo rangos entre el 70 y 86%, en comparación con el reactor con lenteja de agua, que alcanzó remociones promedio de 58% para el mismo periodo. En tanto el reactor con lenteja le aporta elementos que aumentan el pH al agua, dado que presentó valores máximos de 11, debido a condiciones biológicas propias de la planta; a diferencia del reactor con buchón, que presentó valores de pH de 6 a 8, favoreciendo así la estabilización del sistema y remociones óptimas de la materia orgánica. En conclusión, la implementación de humedales artificiales es una alternativa viable para el tratamiento de agua residual doméstica, debido a que no requiere altos costos de operación y mantenimiento, facilitando la implementación en núcleos sociales

con bajos recursos económicos, los cuales no tienen acceso a tratamientos más avanzados (Pablo, J. & et al, 2010).

**Zambrano X. et al** (2009) en su artículo científico titulado **“Diseño del sistema de tratamiento para la depuración de las aguas residuales domésticas de la población San Eloy en la provincia de Manabí por medio de un sistema de tratamiento natural compuesto por un humedal artificial de flujo libre”**, tuvo como objetivo colaborar con la reducción de la contaminación de los cuerpos de agua depurando las aguas residuales que pasen por este sistema, mediante la implementación de un diseño de humedal de flujo libre basado en la remoción de contaminantes como la DBO, Sólidos Suspendidos, Fósforo y Nitrógeno principalmente, previo a la implantación del humedal ha previsto un tanque séptico y filtro anaerobio para que el proceso sea más efectivo. Llegando a la conclusión después de los cálculos realizados que el sistema obtiene un DBO de efluente teórico de 50 mg/l que corresponde al 75 % de remoción y está bajo el valor permitido por la legislación ambiental 100 mg/l valor que se espera obtener en la construcción del sistema.

### 1.1.2. Nacionales

En el artículo de investigación titulado **"Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante Humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis*, en Carapongo-Lurigancho"** tuvo como objetivo determinar la eficiencia de las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis* en el tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales a escala piloto de flujo libre superficial (FLS) en el agua para riego de Carapongo-Lurigancho. Para su evaluación se midieron parámetros como: DBO (270 mg/l); Coliformes totales y Coliformes Termotolerantes ( $16 \times 10^7$  NMP/100ml), pH (7.8); Temperatura (21°C), Turbidez (130 UNT); los cálculos necesarios como las dimensiones, tiempo de retención hidráulica y velocidad de flujo del sistema son una adaptación de Crites y Tchobanoglous, llamado Small Decentralized Wastewater Treatment Systems. De acuerdo con la Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales de los ECA para agua D.S. 002-2001.MINAM, los parámetros deben ser: DBO (15ml/L), Coliformes totales (5 000 NMP/100ml) y Coliformes Termotolerantes (1000 NMP/100ml), pH (6.5-8.5). En este sentido, se

obtuvo una efectividad del sistema de humedales en un 80% de remoción, mientras que, para la determinación de eficiencia de las especies, *Cyperus papyrus* tiene mayor remoción en la calidad de DBO y turbidez un 77% mayor a *Phragmites australis*, mientras ésta un 30 % mayor en la remoción Coliformes totales y Coliformes Termotolerantes (Torres & et al, 2015).

En el 2014 Duran I. & Redañez M. realizaron la "**Evaluación de un Humedal Artificial de flujo subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas grises**" teniendo como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes del tratamiento de aguas grises mediante humedal artificial de flujo subsuperficial vertical en la casa de retiro Alvernia – Cieneguilla, obtuvo valores de remoción de 96.39% de DBO5, 95.2% de DQO, 97.48% en SST y 2.62 unidades logarítmicas/100 ml de coliformes fecales o termotolerantes los cuales se encuentran dentro de los rangos establecidos por la OMS y los estándares nacionales.

**Garcia & Zarela** (2012) en su tesis "**Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas**", teniendo como objetivo reducir la contaminación en nuestro ecosistema como: la eutrofización de las fuentes, concentración de contaminantes en los cuerpos de agua, etc. Mediante la implementación de estanques secuenciales de flujo continuo con tres plantas acuáticas flotantes, *Azolla filiculoides*, *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*, llego a la conclusión que la mejor depuración de aguas residuales domésticas se dio con *Eichhornia crassipes* removiendo los nutrientes a un 90% como se esperaba pues estudios recientes hechos en el Perú y en América Latina.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Descripción del problema**

El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial debido a su incidencia directa sobre la salud humana, así como por su efecto sobre el medio ambiente al contaminar los depósitos naturales que serán empleados como fuentes de abastecimiento para plantas de potabilización y demás actividades humanas. (Trang & Konnerup, 2010).



En el Perú, a fines de 2012, el 82,6% de la población urbana total tuvo acceso al servicio de alcantarillado de los cuales sólo el 32% (259 MMC) ingresaron a un sistema de tratamiento de aguas residuales muchos de los cuales con deficiencias operativas y de mantenimiento, y el resto (549 MMC) se descargó directamente a un cuerpo de agua (mar, ríos o lagos), contaminando de esta manera los cuerpos de agua superficial que se usan para la agricultura, pesca, recreación e incluso para el abastecimiento de agua potable. (Vergara, Las EPS y su desarrollo, 2013)

La localidad de Carapongo hasta fines del 2013 cuenta con 2100000  $m^2$  de área agrícola el cual es irrigado con las aguas en mal estado del rio Rímac (Soto & Siura, 2008). Así como aguas residuales vertidos clandestinamente a los canales de riego. Ello debido a que no cuenta en su totalidad con un sistema de tratamiento tanto de las aguas residuales como de las aguas de riego. Asimismo, estudios realizados en el 2006 muestran que más del 97 % de agua aplicada a las hortalizas posee concentraciones de coliformes fecales de hasta  $5 \times 10^6/100$  ml, muy por encima de los límites máximos permisibles (LMP 1000 NMP/100ml) estipulados en las leyes peruanas (ley de recursos hídricos). Como consecuencia se detectó una gran variedad de parásitos de origen humano los cuales ponen en riesgo a la salud de estos mismos (Centro internacional de la papa, 2007).

Por tal motivo, en la presente investigación se evaluará la eficiencia entre los dos sistemas pilotos de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales mediante el análisis de sus parámetros físico- químico y microbiológico a fin de contribuir en la mejora de la calidad del agua residual de la localidad de Carapongo- Lurigancho Chosica.

### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. Problema principal**

¿Cuál de los dos sistemas pilotos de biofiltros es más eficiente para el tratamiento de las aguas residuales de la localidad de Carapongo- Lurigancho Chosica?

### **1.3.2. Problemas específicos**

¿Cómo se diseñará e implementará los dos sistemas pilotos de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales de la localidad de Carapongo- Lurigancho Chosica?

¿De qué manera se analizará la calidad del agua residual y determinará su eficiencia entre los dos sistemas pilotos de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales de la localidad de Carapongo- Lurigancho Chosica?

¿Cuáles serían las dimensiones y condiciones del sistema de biofiltros más eficiente a una mayor escala para la localidad de Carapongo?

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar la eficiencia entre dos sistemas pilotos de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales mediante el análisis de parámetros físico - químico y microbiológico a fin de mejorar su calidad en la localidad de Carapongo - Lurigancho Chosica.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

Diseñar e implementar los dos sistemas pilotos de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales de la localidad de Carapongo- Lurigancho Chosica.

Analizar la calidad del agua residual antes y después de su tratamiento en función de sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a fin de determinar la eficiencia en la remoción de la carga de contaminantes entre los dos sistemas pilotos de biofiltros.

Proponer el diseño del sistema de biofiltros más eficiente a una mayor escala considerando las condiciones de la localidad de Carapongo.

## **1.5. HIPÓTESIS**

El sistema de biofiltro SB1 será más eficiente que el sistema de biofiltro SB2 para el tratamiento de las aguas residuales de la localidad de Carapongo- Lurigancho Chosica.

## 1.6. VARIABLES

En los cuadros N°1 y N°2 se detallan las variables dependiente e independiente, respectivamente, con sus respectivos indicadores e índices.

**Cuadro N° 1. Variable Dependiente**

Categoría	Conceptualización	Dimensión	Variables	Medición	Indicador	Índice	Base de datos
Tratamiento de las aguas residuales domesticas	La acción de depurar las aguas residuales domesticas	Parámetros fisicoquímicos	Potencial de hidrogeno	Unidad pH	pH/semanal	6 – 8.5 (ECA-Agua)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estándares de calidad de agua (ECA-Agua) Aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (2017) y Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM.</li> <li>- Guías EPA (2012) -Agencia Protección Ambiental</li> </ul>
			T °C	°C	°C/ semanal	-	
			SST	mg/l	mg/l	30 mg/l (EPA)	
			DBO5	mg/l	mg/l	15 mg/l (ECA-Agua)	
			Nitratos	mg/l	mg/l	-	
			Nitritos	mg/l	mg/l	10 mg/l (ECA-Agua)	
			Fosfatos	mg/l	mg/l	-	
		Parámetros microbiológicos	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	NMP/100 ml	1000 NMP/100 ml (ECA-Agua)	

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro N° 2. Variable Independiente**

Categoría	Conceptualización	Dimensión	Variables	Medición	Indicador	Índice	Base de datos
Sistemas pilotos de Biofiltros	Es un proceso secuencial de Biofiltros	Características del sistema de Biofiltros	Superficie	m <sup>2</sup>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Navarro, A., García, Y., Vázquez, A., &amp; Marrugo, J. (2013).</li> <li>- García Trujillo, Z. (2012).</li> <li>- Rodríguez Miranda, J., Esteban Gómez, L., Garavito, L., &amp; López, F. (2010)</li> <li>- Sherwood C. Reed en su libro Natural Systems for Waste Management and tratment.</li> </ul>
			Volumen	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /semana	-	
			Caudal	l/d	l/d/semana	-	
			Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)	días (d)	-	-	
		Especies depuradoras	<i>Eichhornia crassipes</i>	unidades	Unidades/semana	-	
			<i>Eisenia foetida sp</i>	unidades	Unidades/semana	-	
			<i>Alocacia macrorrhiza</i> <i>Cyperus papyrus</i>	unidades	Unidades/semana	-	

Fuente: Elaboración propia

## **1.7. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

### **1.7.1. Justificación**

El presente trabajo surge ante la necesidad de cobertura total en tratamientos de las aguas residuales domésticas y los elevados costos en su implementación y operación de sistemas de tratamiento convencional, todo ello ha conducido a la búsqueda de tecnologías alternativas amigables con el medio ambiente que alcancen la eficiencia necesaria para reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales y con ello mitigar el impacto a la salud humana y mejorar las condiciones ambientales-paisajísticas de las que carece en la actualidad la localidad de Carapongo.

Mediante la implementación del sistema de biofiltros, para el reusó y aprovechamiento del agua residual doméstica en actividades agrícolas - pecuarias, se contribuirá a la reducción de enfermedades gastrointestinales causadas por bacterias y virus en las personas que entran en contacto con el agua residual, es decir contribuiría a mitigar el impacto del agua residual a la salud humana, y también proteger a la fauna y flora presentes en el cuerpo receptor natural. Por otro lado, se reducirían los gastos de uso de agua en las actividades mencionadas.

### **1.7.2. Importancia**

La presente investigación es importante como una herramienta de gestión dirigida a las autoridades de Carapongo, Lurigancho- Chosica. En este sentido, es importante que se replique la información técnica generada a gran escala como una tecnología alternativa para el reusó y aprovechamiento de las aguas residuales en actividades agrícolas- pecuarias del centro poblado de Carapongo, Lurigancho Chosica, así como también en zonas urbanas y rurales de distintas condiciones económicas. Debido a ello, reducir los gastos de uso de agua en estas actividades y contribuir a mejorar la calidad de vida de los beneficiarios.

Asimismo, el tratamiento de las aguas residuales domésticas de Carapongo mediante los sistemas de biofiltros servirá para la reducción de la contaminación en los canales de regadío y como consiguiente en el río Rímac, en beneficio de los habitantes y el ambiente.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. BASES TEÓRICAS

#### 2.1.1. Características de las aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

Las aguas residuales procedentes de refinerías petroleras, fertilizantes químicos, procesadoras de alimentos y producción agrícola, tienen una alta concentración de amoniaco y puede estar entre 200 y 2600 mg/l (Xinshan, Qin, & Denghua, 2010). Otro tipo de aguas residuales como las domésticas, extracción de petróleo, industria textil, producción de papel, entre otras, tienen altos contenidos de carbono y nitrógeno (Xinshan, Qin, & Denghua, 2010).

**Cuadro N° 3. Composición típica del agua residual doméstica sin tratar**

Contaminante	Unidad	Concentración		
		Baja*	Media**	Alta***
Solidos totales (ST)	mg/l	390	720	1230
Solidos disueltos totales (SDT)	mg/l	270	500	860
Solidos suspendidos totales (SST)	mg/l	120	210	400
Solidos sedimentables (SS)	mg/l	5	10	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/l	110	190	350
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/l	80	140	260
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	250	430	800
Nitrógeno (como nitrógeno total)	mg/l	20	40	70
Orgánico	mg/l	8	15	25
Amoniaco	mg/l	12	25	45
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fosforo total	mg/l	4	7	12
Cloruros	mg/l	30	50	90
Sulfatos	mg/l	20	30	50
Grasas y aceites	mg/l	50	90	100
Coliformes totales	NMP/100 ml	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>10</sup>
Coliformes fecales	NMP/100 ml	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>8</sup>

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy (2004)

\*Concentración baja basada aproximadamente en un caudal de agua residual de 750 L/cápita día

\*\*Concentración media basada aproximadamente en un caudal de agua residual de 460 L/cápita día

\*\*\*Concentración alta basada aproximadamente en un caudal de agua residual de 240 L/cápita día

En el cuadro N°3, se relaciona los componentes típicos de un agua residual doméstica sin tratar, donde se relacionan las concentraciones de diferentes parámetros. Sin embargo, las concentraciones difieren de un lugar a otro, así como el consumo de agua, la cual varía entre países, ciudades y municipios (Vymazal, 2009).

### **Componentes del Agua Residual Doméstica**

Independiente del punto de vertimiento, el agua residual se caracteriza por contener cinco componentes principales: microorganismos patógenos transmitidos por el agua, pesticidas, metales pesados, nutrientes (N-P-K), sedimentos y materia orgánica. Las aguas residuales sin tratamiento previo producen un incremento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en diferentes cuerpos de agua receptoras y éstos a su vez, generan inconvenientes de tipo ambiental como la eutrofización, disminución de oxígeno disuelto en el agua y toxicidad para algunos organismos vivos, entre otros (Gutiérrez, 2010).

De los nutrientes que hacen parte de los vertimientos líquidos, el nitrógeno es el que adquiere mayor importancia, seguido del fósforo y el potasio, debido a que son elementos necesarios para el crecimiento de los microorganismos. Si existe una deficiencia de los mismos, pueden presentarse problemas por deficiencia de nutrientes durante el tratamiento secundario. Sin embargo, pueden contribuir en la deficiencia de oxígeno y eutrofización, causados por excesivo crecimiento de algas.

El nitrógeno se presenta en diferentes formas y dependiendo de ésta puede ser tóxica y/o nutriente esencial para el crecimiento de las plantas. Las altas concentraciones de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) son tóxicas para los bebés menores de cuatro meses, trayendo como consecuencia el “síndrome del bebé azul” (metahemoglobinemia), la cual interfiere con la capacidad de transportar oxígeno en la sangre (Crites R., 1998).

El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) es la forma de nitrógeno tóxica para la mayoría de las especies de peces y puede representar una considerable demanda de oxígeno sobre los cuerpos de agua. Adicionalmente, cuando existen altas concentraciones de nitrógeno, el cual es utilizado por las plantas preferiblemente como nitrógeno amoniacal, puede provocar eutrofización temprana de cuencas (Kadlec & Knight, 1996).

## **Tipos de Aguas Residuales Domésticas**

Existen principalmente dos tipos de aguas residuales domésticas: las aguas negras, que son el resultado de la combinación de aguas residuales procedentes de los sanitarios y las aguas grises que están compuestas por todos los residuos provenientes de duchas, cocinas y zonas de lavado de ropa; pero ambos vertimientos contienen contaminantes y organismos que provocan enfermedades. Una familia común puede descargar hasta 35 litros de aguas negras y 105 litros de aguas grises por día por persona, aproximadamente. Las aguas grises componen el 65% del volumen de las aguas residuales domésticas, mientras que las aguas negras aportan cerca de un 35% del volumen total de este tipo de vertimientos líquidos (UNESCO – IHE, 2011).

Las formas de nitrógeno que más prevalece en las aguas residuales domésticas son el nitrógeno orgánico y el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). La fracción orgánica existe en forma soluble o particulada. No es muy común encontrar las especies oxidadas del nitrógeno soluble en las aguas residuales domésticas. La separación en la fuente podría ser una forma más eficiente de tratamiento del nitrógeno y el fósforo procedente de las aguas residuales y, además, se tendría la posibilidad de recuperar nutrientes. La orina procedente de las aguas residuales municipales contiene aproximadamente el 50% de fósforo y más del 80% del nitrógeno orgánico, pero representa menos del 1% de los vertimientos residuales (Water Environmental Federation (WEF) American Society of Civil Engineers, 2011).

## **Situación de las aguas residuales domesticas**

La población del Perú, al 31 de diciembre de 2012, de acuerdo con proyecciones realizadas según el censo del año 2007 y proyecciones poblacionales del Instituto Nacional de Estadística (INEI), es de 29,5 millones de habitantes, de los cuales 22,5 millones pertenecen al ámbito urbano. De estos 22,5 millones, aproximadamente 19 millones se encuentran bajo el ámbito de administración de las 50 EPS reguladas del país. La población servida con agua potable es de 17,5 millones de habitantes; mientras que la población servida de alcantarillado es de 16 millones. La cobertura de agua potable de las 50 Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) es en promedio, al 31 de diciembre de 2013, de 92% y la de alcantarillado, de 84%.

Asimismo, el volumen recolectado de aguas residuales por las 50 EPS es de 795 millones de m<sup>3</sup>, de los cuales no se tratan aproximadamente 416 millones de m<sup>3</sup> equivalente al 52% del total, mientras el 48% de aguas residuales reciben tratamiento que equivale aproximadamente a 379 millones de m<sup>3</sup>. Esta cifra ha mejorado respecto a la tendencia de los últimos años con la entrada en operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Taboada (correspondiente a la empresa SEDAPAL), en el año 2013. Con la entrada en operación de esta planta, el porcentaje de tratamiento de aguas residuales en SEDAPAL se incrementó de 21 a 51% y, a nivel nacional, de 32 a 48% (Vergara, Las EPS y su Desarrollo 2013, 2014).

Por otro lado, la población no cubierta vierte directamente sus aguas residuales sin tratamiento al mar, ríos, lagos, quebradas o, las emplean para el riego de cultivos, debido a que las EPS no brindan un servicio adecuado de tratamiento de aguas residuales y al déficit de cobertura por EPS a nivel nacional (OEFA, 2014).

En la actualidad, de las 253 localidades del ámbito de las EPS, 89 no cuentan con tratamiento de aguas residuales, por lo que el agua residual cruda de estas localidades se vierte directamente a los ríos, mares, pampas o drenes. En las 164 localidades restantes, todas o parte de las aguas residuales vertidas al alcantarillado son conducidas hacia una planta de tratamiento de aguas residuales. Estas 89 localidades vertieron en el 2013 un total de 298.000 metros cúbicos por día al medio ambiente sin ningún tratamiento. Esto representa el 12% de toda el agua residual vertida al alcantarillado de las EPS (SUNASS; Cooperacion Alemana; Giz, 2015).

### **2.1.2. Humedales artificiales**

Los Humedales artificiales o humedales construidos se caracterizan por tener plantadas vegetaciones sumergidas, emergente o flotante que simulan un ambiente natural para tratar y transformar los contaminantes en las aguas residuales (Odum, y otros, 2000). Además, éstos se clasifican, de acuerdo con el tipo de flujo, en superficiales y subsuperficiales, horizontal o vertical (Verhoeven & Meuleman, 1999).

Por otra parte, en los humedales construidos crecen vegetales, animales y microorganismos adaptados al ambiente natural, asociados a procesos fisicoquímicos o

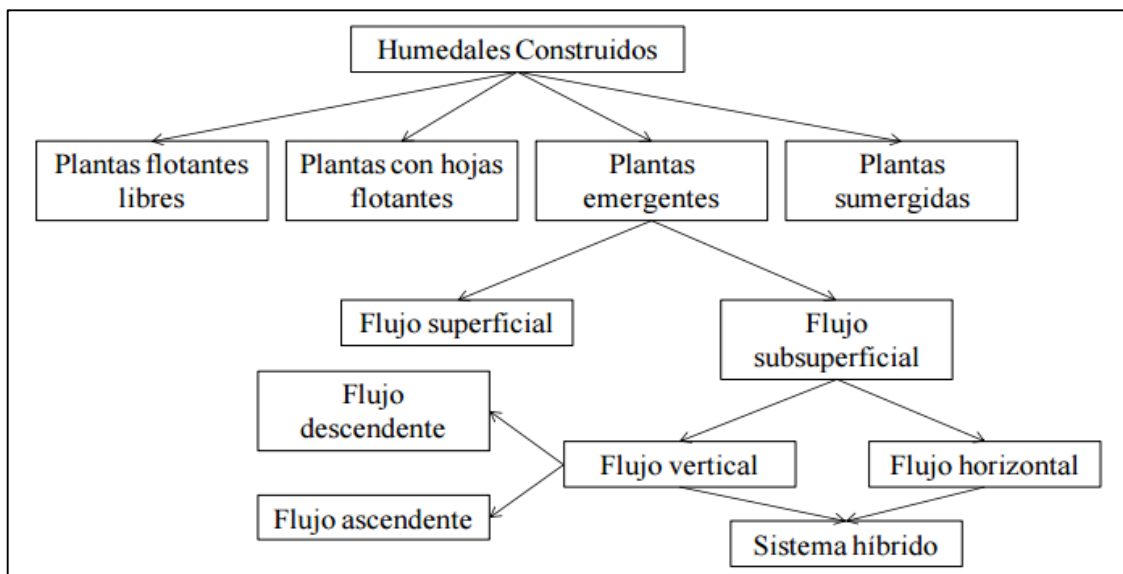


biológicos, necesarios para reducir las cargas contaminantes de las aguas residuales (Mitsch & Gosselink, 2000).

Para los sistemas de humedales, la depuración biológica se realizará por procesos aerobios cerca de la superficie del agua y eventualmente anaerobios cerca de los sedimentos en profundidad. El desarrollo de algas fijas o en suspensión en el agua aporta, gracias a la fotosíntesis, el oxígeno necesario a las bacterias depuradoras aerobias y fija una parte de los nutrientes.

Existen varios tipos de humedales artificiales, cuyo modo de actuación, aun basándose en los mismos principios biológicos, es diferente según el tipo de flujo. Entre los humedales artificiales se encuentran: (i) los humedales construidos con plantas flotantes (Constructed Wetlands with Free Floating Plants - CWs - FFP), (ii) humedales construidos con agua superficial asociados a vegetación emergente (Free Water Surface Constructed Wetlands - FWS - CWs), (iii) humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal (Horizontal Subsurface Flow Constructed Wtelands - HSSF or HF CWs) y (iv) humedales construidos de flujo subsuperficial vertical (Vertical Subsurface Flow Constructed Wetlands - VFSS or VF CWs) (Vymazal, 2007). En la figura N°1, se muestra la clasificación de humedales construidos para el tratamiento de agua residual doméstica.

**Figura N° 1. Clasificación de humedales construidos para el tratamiento de agua residual doméstica**

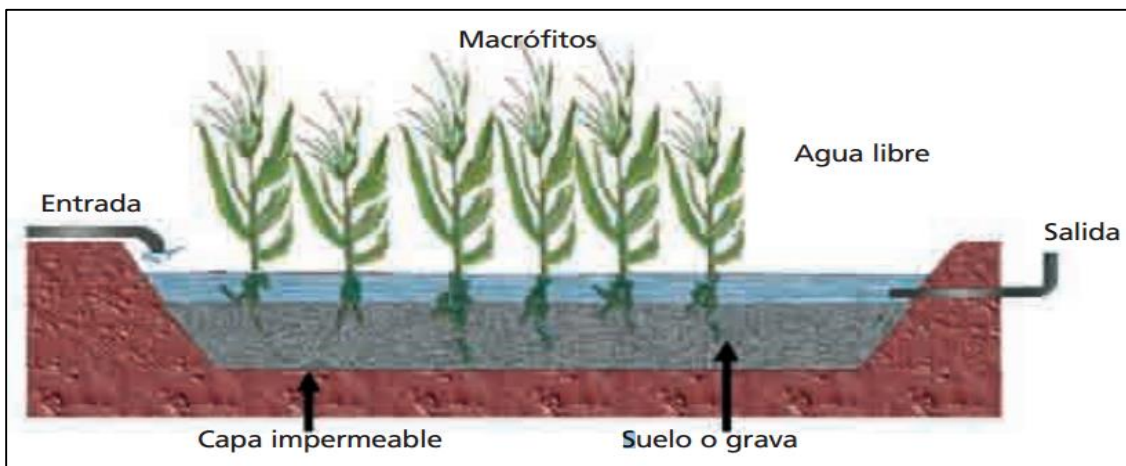


Fuente: Adaptado de Vymazal, J. 2001

### **Humedales de Flujo superficial o libre (FS).**

En los sistemas de flujo superficial o libre, los macrófitos se encuentran parcialmente sumergidos en el agua. La profundidad de la lámina de agua varía de 0,10 a 0,45 m. La vegetación más utilizada es *Phragmites sp.*, *Typha sp.*, *Scirpus sp.* o *Carex sp.* Estos sistemas son menos eficaces que los de flujo subsuperficial, porque no tienen medio de soporte (grava, arena) que participe en los mecanismos de depuración y, además, su funcionamiento se ve más afectado por las condiciones climáticas. En cierto modo, se pueden considerar como una variación del lagunaje o lagunas con macrófitos enraizados (Barceló, y otros, 2008). Ver Figura N°2

**Figura N° 2. Esquema general de los filtros plantados de flujo libre**



Fuente: Barceló y otros, 2008

### **Humedales de Flujo subsuperficial (FSS).**

A diferencia de los anteriores, en los sistemas de flujo subsuperficial el agua circula de manera subterránea a través de un medio poroso y de soporte (grava o arena). La vegetación se planta en el medio a razón de unas 4 unidades por m<sup>2</sup>. Normalmente el material empleado es grava ( $\varnothing$  2-15 mm) aunque a veces se usa suelo autóctono con o sin enmiendas. También se utiliza arena cuando el sistema trabaja como tratamiento terciario. Adherida al medio de soporte y a las raíces y rizomas de las plantas se forma una biopelícula, que tiene un papel fundamental en los procesos de descontaminación (Stottmeister, y otros, 2003). Estos sistemas se clasifican según sea el sentido de circulación del agua, y así encontramos dos tipos de diseños: el vertical y el horizontal (Barceló, y otros, 2008).

### **Humedales de flujo subsuperficial vertical (FSSV)**

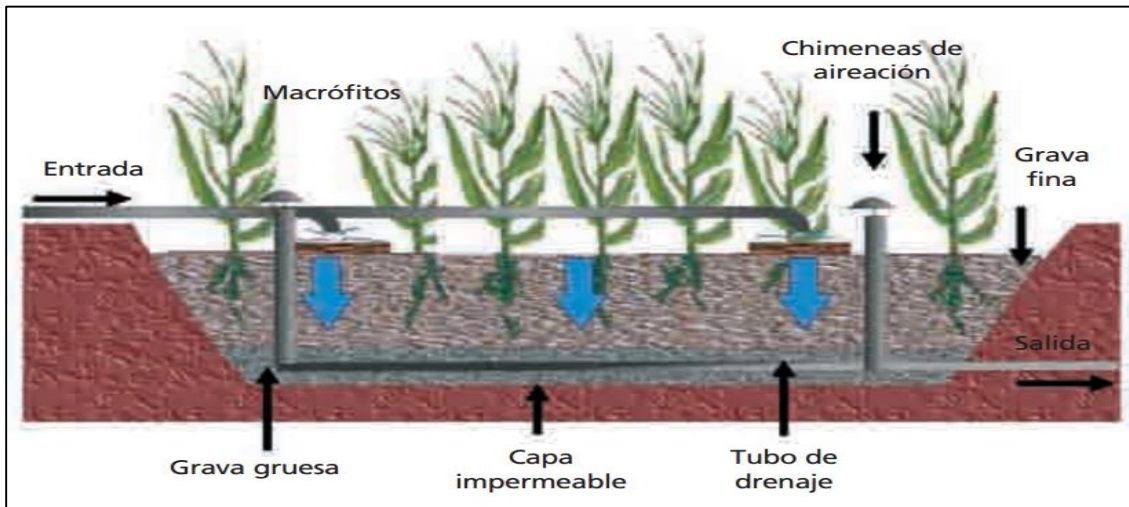
En los sistemas de flujo subsuperficial vertical la alimentación de agua residual se realiza de manera intermitente a través de unas tuberías aéreas o de surtidores que se sitúan encima del lecho de grava o arena. La profundidad del lecho suele ser de unos 80 cm. El agua fluirá a través del medio poroso experimentado un tratamiento físico (filtración), químico (oxidación) y biológico (biomasa fijada sobre soporte fino) y se recogerá en una red de drenaje situada en el fondo del lecho. La frecuencia de aplicación del agua residual se ha de calcular de manera que no quede agua en superficie procedente del riego anterior.

Esta forma de gestionar el filtro favorece la entrada de oxígeno al interior del lecho filtrante, mediante el flujo pistón que se produce, ya que la lámina de agua procedente del riego empuja el aire que había entrado previamente al sistema y al mismo tiempo deja un espacio vacío detrás que se llenará también con aire. La aportación de oxígeno por las raíces de las plantas es, en este caso, despreciable.

El principio depurador se basa pues en el desarrollo de una biomasa aerobia fijada sobre un medio poroso, es decir las bacterias responsables de la eliminación de la materia y de la nitrificación se encuentran en el biofilm o biopelícula que crece en la arena o grava del lecho. El sistema será pues aerobio con un aporte de oxígeno que procede de la convección y difusión. Para la correcta gestión de estos sistemas es importante disponer de filtros construidos en paralelo, para proporcionar un tiempo de reposo suficiente a cada filtro y evitar así posibles colmataciones (Barceló, y otros, 2008).

En los humedales de flujo subsuperficial vertical, la circulación del agua es de tipo vertical y su aplicación se realiza en pulsos, de manera que no están permanentemente inundados. La profundidad del medio granular varía entre 0,5 y 0,8 m. Operan con cargas superiores a los HSS (entre 10 y 25g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup> d), pero son más susceptibles a la colmatación (Garcia, Morató, & Bayona, 2004). Estos sistemas presentan tasas de transferencias de oxígeno entre 10 y 24 mg O<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> ·d, las que son superiores a las de los sistemas HSS (2,1 – 5,7 mg O<sub>2</sub> / m<sup>2</sup>·d), produciendo efluentes más oxigenados (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006). Ver Figura N°3

**Figura N° 3. Esquema general de los filtros plantados de flujo vertical**



Fuente: Barceló y otros, 2008

### **Humedales de flujo subsuperficial horizontal (FSSH)**

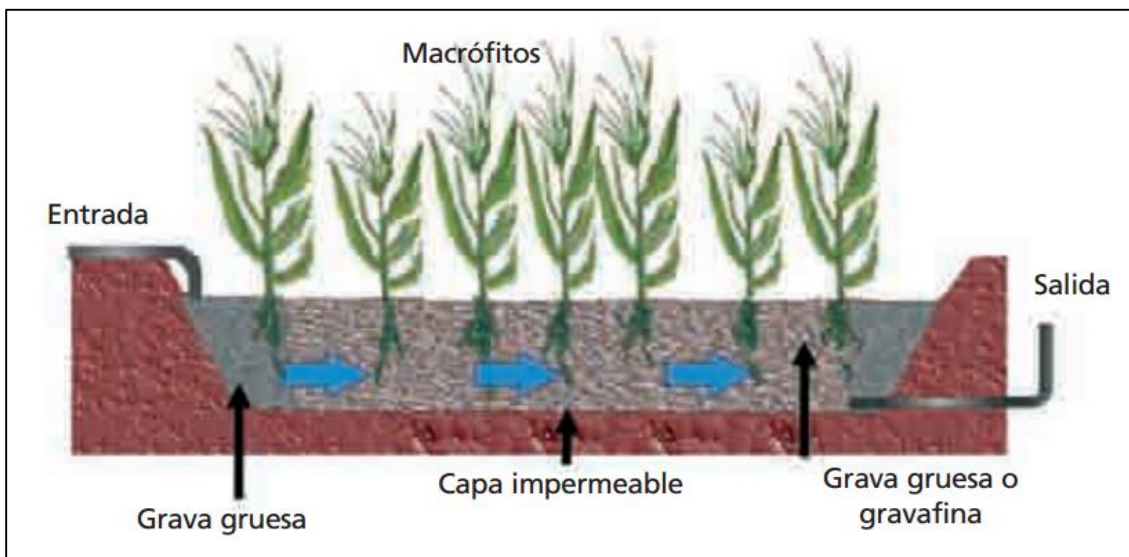
En los sistemas de flujo subsuperficial horizontal la alimentación del agua residual se realiza a través de un distribuidor (normalmente un gavión o un tubo agujereado) y avanza lentamente por la parcela de manera horizontal y con flujo básicamente de pistón, hasta que llega a la zona de salida. La profundidad del lecho varía habitualmente de 0.6 m., en la entrada de la parcela hasta 1 m., en la parte final, con una pendiente del 1% en la parte inferior de la parcela (Cooper, Job, Green, & Shutes, “Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment, 1996). En estos sistemas, el agua fluye a través de un medio poroso (filtrante) por debajo de la superficie del suelo, sin dejar que el agua residual se encuentre en contacto con la atmósfera, esto permite la formación de zonas aerobias, anóxicas y anaerobias, siendo principalmente la zona aerobia aquella donde se encuentran las raíces y rizomas de las plantas y donde se genera la liberación de oxígeno para el sustrato (Vymazal, 2009).

En este punto existen unos tubos que regulan el nivel de la lámina de agua dentro del lecho siguiendo la ley de los vasos comunicantes. El agua a su paso por el lecho se pone en contacto con la biopelícula formada en las raíces de las plantas y en el material de soporte. Esta biopelícula, a diferencia de los filtros verticales, presentará características diferentes según la zona sea aeróbica, anaeróbica o anóxica. Este tipo de zona húmeda presenta características de limitación de oxígeno, porque la vegetación no puede aportar con las raíces la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la carga orgánica del agua

residual, por lo que este sistema no es capaz de nitrificar de forma importante, aunque si desnitrificar (Barceló, y otros, 2008).

En los humedales de flujo subsuperficial horizontal, el agua circula horizontalmente a través del medio granular y las raíces de las plantas. La profundidad puede variar entre 0.3 y 1.0 m., (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006). Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados, con una lámina de agua que se encuentra entre 0.05 y 0.1 m., por debajo de la superficie. Soportan cargas orgánicas que varían entre 3 y 15 g DBO<sub>5</sub> /m<sup>2</sup> d., siendo comúnmente recomendadas cargas de alrededor de 6 g DBO<sub>5</sub> /m<sup>2</sup> d (García & Corzo, Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial, 2008). Ver Figura N°4

**Figura N° 4. Esquema general de los filtros plantados de flujo horizontal**



Fuente: Barceló y otros, 2008

### 2.1.3. Proceso de remoción de contaminantes

En la remoción de constituyentes en un Humedal, las especies macrófitas cumplen un rol importante en el tratamiento de las aguas residuales. Además de muchos beneficios operacionales, proveen superficies y un ambiente razonable para la filtración y el crecimiento microbiano. La transferencia de oxígeno por algunas plantas acuáticas a la rizosfera es también un requisito para que los procesos de remoción de contaminantes predominantemente microbianos funcionen efectivamente. Los mecanismos de remoción más importantes se presentan en el cuadro N°4:

**Cuadro N° 4. Mecanismos de remoción de los contaminantes en los humedales**

<b>Constituyente del agua residual</b>	<b>Mecanismo de remoción</b>
Sólidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sedimentación</li> <li>– Filtración</li> </ul>
Materia orgánica soluble (DBO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Degradación microbiana (aerobia, anaerobia y facultativa)</li> <li>– Sedimentación/ Filtración</li> </ul>
Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Amonificación seguida por nitrificación microbiana y desnitrificación</li> <li>– Consumo de las plantas</li> <li>– Adsorción en el lecho filtrante</li> <li>– Volatilización de amonio</li> </ul>
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fijación en el lecho filtrante (reacciones de adsorción-precipitación con el aluminio, hierro, calcio y minerales de la arcilla en el suelo)</li> <li>– Consumo de plantas</li> </ul>
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sedimentación / Filtración</li> <li>– Muerte natural / Depredación</li> <li>– Radiaciones ultravioletas</li> <li>– Excreción de antibióticos desde las raíces de macrófitas</li> </ul>

Fuente: Adaptado de Brix H (1993) y Crites and Tchobanoglous (1998).

### **Remoción de solidos suspendidos**

En los humedales se producen unos procesos físicos conocidos como filtración y sedimentación del medio granular consiguiendo así la eliminación de la materia en suspensión y aparecen como: (i) Constricciones del flujo producidas por el medio granular produciéndose así un tamizado en sus espacios intersticiales. (ii) Baja velocidad de circulación del agua. (iii) Fuerzas de adhesión de las partículas que promueven la formación de partículas de mayor tamaño.

El rendimiento de eliminación de la materia en suspensión tanto en sistemas horizontales como en verticales de los humedales suele ser muy elevado. Normalmente es de más del 90% produciendo efluentes con concentraciones menores de 20 mg/l de forma sistemática (García & Corzo, Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial, 2008)

Los humedales son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material particulado. El agua superficial se mueve muy lentamente a través de los humedales, debido al flujo laminar característico y a la resistencia proporcionada por las raíces y las plantas flotantes (Llagas & Guadalupe, 2006).



## **Materia orgánica**

La degradación de la materia orgánica en los humedales construidos es compleja, debido a que se presentan numerosos procesos físicos, químicos y biológicos que suceden de manera simultánea. La profundidad del agua y la carga orgánica afectan las variadas rutas de degradación de dichos compuestos y éstos a su vez, inciden en la eficiencia de remoción (García & Corzo, Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial, 2008). Dicha degradación tiene lugar principalmente mediante biodegradación aeróbica o anaeróbica, mientras una pequeña porción también es removida por procesos físicos como la sedimentación y filtración, cuando la materia orgánica es fijada a los sólidos suspendidos.

La biodegradación es realizada por los microorganismos, los cuales están adheridos a la planta, en particular a las raíces y a la superficie de los sedimentos. Existen básicamente dos clases diferentes de biodegradación microbial, la aeróbica o la anaeróbica, los cuales tienen lugar en los humedales artificiales, dependiendo de oxígeno disuelto (Kadlec, y otros, 2000).

En humedales construidos de flujo horizontal, la materia orgánica es retenida por filtración cerca de la entrada, mientras en los humedales de flujo vertical es retenido cerca de la superficie, según García y Corzo (2008), en los humedales verticales se alcanzan mejores rendimientos de eliminación, ya que en estos prevalecen las vías aeróbicas a comparación de los humedales horizontales donde prevalecen las condiciones de anoxia y anaeróbicas.

El rendimiento de eliminación de la materia orgánica en sistemas de humedales horizontales y verticales es óptimo si están bien diseñados, construidos y explotados. Tanto para la DQO como para la DBO<sub>5</sub> se alcanzan rendimientos que oscilan entre 75 y 95% produciendo efluentes con concentración de DQO menores de 60 mg/l y de DBO<sub>5</sub> menor de 20 mg/l., (García & Corzo, Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial, 2008).

## **Remoción de Nutrientes: Nitrógeno**

El nitrógeno (N) es un elemento importante en los ciclos biogeoquímicos en humedales, ya que se produce en diferentes estados de oxidación y está presente en partículas y formas orgánicas e inorgánicas disueltas (N orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato) (Albuquerque, Oliveira, Semitel, & Amaral, 2009). El nitrógeno se puede encontrar en la naturaleza de diferentes formas: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) o nitrógeno oxidado ( $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ ). En las aguas fecales predomina el amonio y el nitrógeno orgánico, este último asociado y eliminado con la materia en suspensión.

En los humedales, el ciclo de nitrógeno está conectado al ciclo del carbono (materia orgánica), fundamentalmente a través de la desnitrificación (García & Corzo, *Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*, 2008). Existen diferentes mecanismos de remoción de nitrógeno, los cuales incluyen volatilización, amonificación, nitrificación/desnitrificación, metabolización por parte de la vegetación y adsorción en la matriz del suelo, entre otros (Poach, y otros, 2007); (Bigambo & Mayo, 2005). Ver Figura N°5

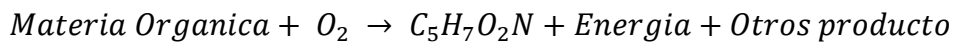
El principal mecanismo de eliminación lo constituye la nitrificación/desnitrificación. En aguas residuales, el nitrógeno orgánico aparece en forma disuelta o particulada. Las bacterias desnitrificantes operan con valores de pH entre 6.5 y 7.5, mientras que las nitrificantes se activan con un pH mayor a 7.2 (Kadlec & Knight, *Treatment Wetlands*, 1996).

En los humedales de flujo vertical, puede incrementarse la oxigenación del lecho dependiendo de la carga intermitente, tipo de partícula y cantidad de agua filtrada, los cuales tendrían un efecto positivo en la nitrificación (Vymazal, *Removal Nutrients in Various Types of Constructed Wetlands*, 2007). Asimismo, Lance (1986) encontró que la nitrificación – desnitrificación son los principales procesos que suceden en sistemas de infiltración subsuperficial y son los responsables de la remoción de nitrógeno. A continuación, se describen los principales procesos que intervienen en la transformación de este nutriente:

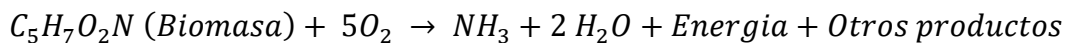


## **A. Amonificación**

La amonificación (mineralización) es el proceso por el cual, la parte orgánica del nitrógeno se reduce y es transformado en nitrógeno inorgánico ( $NH_4$ ). Los principales parámetros que inciden en el proceso son la temperatura, pH, relación Carbono/Nitrógeno (C/N) del residuo, nutriente disponible en el sistema y las características del suelo como estructura y textura. Las velocidades de mineralización del nitrógeno son más altas en ambientes aerobios y se presenta en función de la concentración del nitrógeno orgánico contenido en el sustrato (Water Environmental Federation (WEF) American Society of Civil Engineers, 2011). La biomasa se representa como se muestra en la Ecuación:



La biomasa presente en el sistema de tratamiento de agua residual es oxidada por medio de la respiración endógena:



La respiración endógena libera de nuevo, algunos nutrientes que participaron en el proceso (Water Environmental Federation (WEF) American Society of Civil Engineers, 2011). Dicho tratamiento se presenta cuando el grupo amino se encuentra libre de compuestos orgánicos nitrogenados o por acción de la actividad enzimática de las células bacterianas. La amonificación es importante en el tratamiento de aguas residuales, debido a que permite que el nitrógeno orgánico se encuentre biodisponible para la nitrificación (Grady, Daigger, Love, & Filipe, 2011).

## **B. Nitrificación**

La nitrificación es el proceso a través del cual las bacterias nitrificantes transforman el amonio en nitrato. Se necesitan dos pasos distintos para que esto suceda. Primero, la oxidación del amonio a nitrito que es realizado por bacterias aerobias estrictas (*Nitrosomonas* sp.), las cuales dependen completamente de la oxidación del amonio para la generación de energía y crecimiento. Segundo, la oxidación de nitrito a nitrato lo cual es realizado por bacterias facultativas (*Nitrobacter* sp.).

Las bacterias nitrificantes se consideran bacterias autótrofas, producen energía procedente de la oxidación del amonio y/o nitrito, utilizando el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como fuente de energía para la síntesis de células nuevas.

Son organismos sensibles a las variaciones medioambientales. Su crecimiento puede ser inhibido por varios factores medioambientales. Entre los factores inhibidores se encuentran: las altas concentraciones de amonio, las bajas temperaturas, un pH fuera del rango entre 6,5 y 8,6 y una baja cantidad de oxígeno disuelto (< 1 mg/l). El proceso de nitrificación puede hacer cambiar el pH del sistema de manera espectacular. Por cada miligramo de amonio oxidado, la alcalinidad del agua residual es consumida, como CaCO<sub>3</sub>, a un ritmo de 7,14 mg de alcalinidad. Si la concentración de alcalinidad en el agua residual no es suficiente, el pH caerá al oxidarse el amonio. Normalmente no es necesario añadir alcalinidad en los sistemas de depuración domésticos y no se espera que se convierta en un problema para un sistema de depuración en una ecoaldea.

El ritmo de nitrificación también está afectado significativamente por el porcentaje de nitrificadores presentes en el agua residual. Cuando la concentración de materia orgánica biodegradable, medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), es alta, las bacterias heterótrofas o bacterias que usan el carbono orgánico dominan la población bacteriana. Normalmente, la población de bacterias nitrificantes será suficientemente grande para empezar el proceso de nitrificación cuando la DBO<sub>5</sub> cae por debajo de los 80 mg/l. Según Reed et al. (1995) afirma que para que se presente una nitrificación significativa, la DBO<sub>5</sub> debe ser menor a 20 mg/L, en el agua. Es por esto que la nitrificación se realiza en las últimas fases de la depuración.

En aquellos sistemas donde se presenta la nitrificación, la cinética de reacción se encuentra limitada por la fase donde el amoniaco se oxida y los nitritos se transforman rápidamente en nitratos, obteniéndose una concentración menor a 0.2 mg/L. este valor es común en sistemas de tratamiento a gran escala cuando la nitrificación es estable (Water Environmental Federation (WEF) American Society of Civil Engineers, 2011).

Para aquellos sistemas que requieren un tratamiento mejorado del amonio, es interesante considerar un reciclaje interno dentro de un cúmulo de grava de cara a la nitrificación. Lo más sencillo sería un reactor de filtro de goteo aeróbico hacia el final del proceso de depuración. En el propio humedal también se da una cierta nitrificación.

### **C. Desnitrificación**

La desnitrificación es la transformación biológica del nitrato en gas nitrógeno, óxido nítrico y óxido nitroso. Éstos son compuestos gaseosos y no son fácilmente accesibles para el crecimiento microbiano; por ello, se liberan normalmente en la atmósfera. El gas nitrógeno supone alrededor del 70% de los gases atmosféricos y su liberación en la atmósfera es un hecho benigno (Selba Vida Sostenible, 2015).

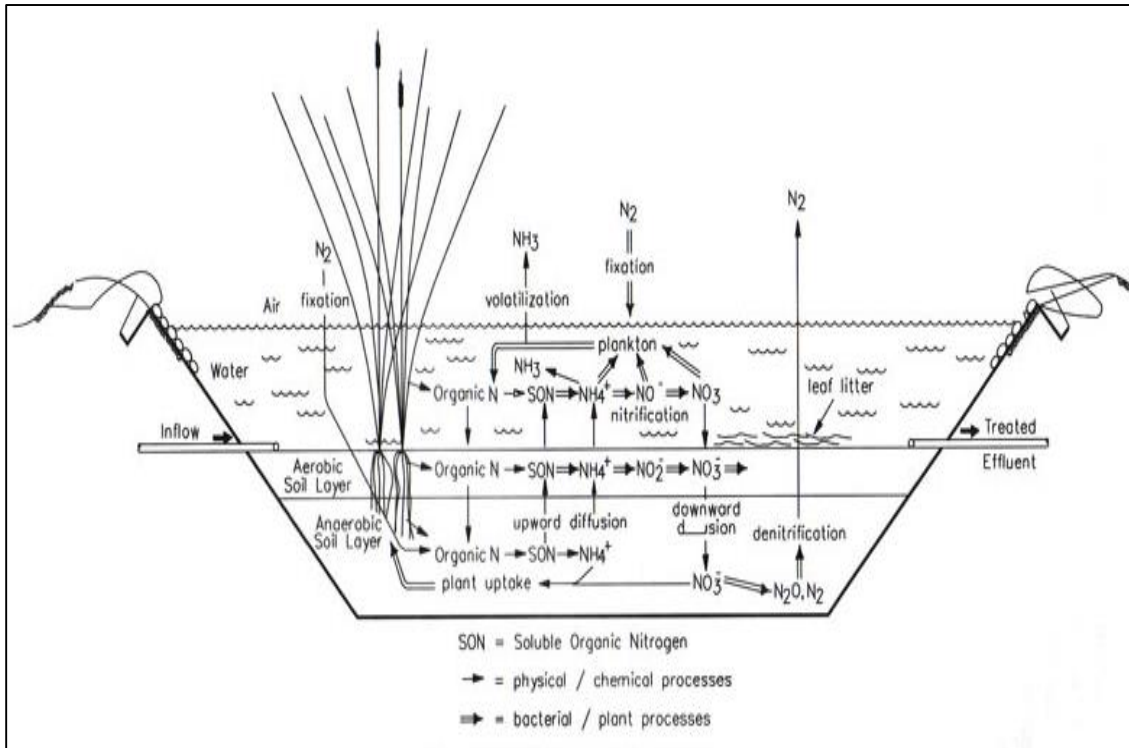
La desnitrificación biológica es una reacción de respiración anaeróbica, en la que se elimina el nitrato ( $\text{NO}_3$ ) convirtiéndolo en los compuestos anteriores. Las bacterias desnitrificadoras son bacterias autótrofas aeróbicas o heterótrofas que pueden transformarse para tener un crecimiento anaeróbico cuando se usa el nitrato como aceptor de electrones. La desnitrificación puede darse por dos vías: La vía de la reducción diferenciada del nitrato requiere condiciones anóxicas y tiene como resultado la liberación de gas nitrógeno de la columna de agua, y bajo condiciones aeróbicas, la desnitrificación sigue la vía asimilativa: acumulación de nitrógeno en la biomasa (Selba Vida Sostenible, 2015).

Es preferible la vía de la reducción diferenciada para poder eliminar el nitrógeno completamente del sistema en forma gaseosa, en lugar de ser simplemente reciclado a través del sistema en la biomasa. Para que esto suceda así, la cantidad de oxígeno molecular o disuelto debe ser mínima, de modo que las bacterias utilicen el nitrato en lugar del oxígeno. El ritmo de la reacción de desnitrificación es relativamente rápido en ausencia de oxígeno libre ( $< 0.5 \text{ mg/l}$  es lo ideal). El ritmo de desnitrificación cae a cero en cuanto el nivel de oxígeno disuelto alcanza los  $2.0 \text{ mg/l}$  (Selba Vida Sostenible, 2015).

Las bacterias desnitrificadoras pertenecen a varios géneros tales como: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Spirillum*, *Hyphomicrobium*, *Agrobacterium*, *Acinetobacter*, *Propionobacterium*, *Rhizobium*, *Cornebacterium*, *Cytophata*, *Thiobacillus*, *Alcaligenes*. No obstante, las más extendidas en el agua y en las aguas residuales son *Pseudomonas fluorescens*, *P. Aeruginosa*, *P. denitrificans* y *Alcaligenes sp.* Estos organismos están por doquier y se encuentran fácilmente en los suelos y en los ambientes de los humedales naturales (Selba Vida Sostenible, 2015).

La desnitrificación clásica sigue siendo nombrado como el principal mecanismo para la eliminación de nitrógeno (Reilly, Horne, & Miller, 2000) en los sistemas de humedales, presentando una complicada interrelación entre microorganismos desnitrificadores, la disponibilidad de nitratos y carbono orgánico (Lavrova & Koumanova, 2010).

**Figura N° 5. Ciclo del nitrógeno en un humedal**



Fuente: Libro *Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape*, M. Ogden y C. Campbell

## Fosforo

Los mecanismos de eliminación de fosforo pueden ser de tipo biótico y abiótico. Los bióticos incluyen la asimilación por parte de las plantas y los microorganismos, mientras los abióticos abarcan fundamentalmente la adsorción por el medio granular. En muchos estudios se ha observado que después de la puesta en marcha de humedales se obtiene una buena eficiencia de eliminación del fosforo para después reducirse rápidamente en poco tiempo. Esto es debido a que el medio granular limpio tiene capacidad de adsorción, pero esta va perdiendo rápidamente (García & Corzo, *Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*, 2008).

## Organismos patógenos

Los organismos patógenos de origen humano son uno de los componentes más comunes en las aguas residuales domésticas y su control es uno de los propósitos principales en el tratamiento de este tipo de residuos líquidos. El agua residual doméstica puede contener una gran variedad de microorganismos que pueden representar un gran peligro para la salud humana, los cuales se conocen como organismos patógenos y pueden clasificarse en tres grandes grupos: bacterias, virus y parásitos (protozoos y helmintos). Los organismos que se encuentran con mayor frecuencia en el agua residual son las bacterias entéricas, que colonizan el tracto gastrointestinal del ser humano y son eliminadas a través de las heces fecales.

Algunas investigaciones realizadas, desde el punto de vista epidemiológico, han vinculado el aumento de enfermedades respiratorias y gastrointestinales, con el contacto directo entre personas y aguas contaminadas, que pueden tener altas concentraciones de organismos bacteriales indicadores (Vera, Marlel, Gutiérrez, & Márquez, 2006). En el cuadro N°5, resume los principales microorganismos patógenos presentes en el agua residual doméstica.

**Cuadro N° 5. Principales microorganismos patógenos presentes en el agua residual**

Microorganismos patógenos	Enfermedad causada
Bacterias	
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella sp.</i>	Salmonelosis
<i>Shigellae sp.</i>	Disentería bacilar
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis, diarrea
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
Virus	
<i>Enterovirus (Echovirus, Coxsackie A y B, Poliovirus)</i>	Gastroenteritis, meningitis, poliomielitis, etc.
<i>Virus de la Hepatitis A (VHA)</i>	Hepatitis A
<i>Virus de la Hepatitis E (VHE)</i>	Hepatitis E
<i>Rotavirus</i>	Gastroenteritis
<i>Calicivirus</i>	Gastroenteritis
<i>Agente del Norwalk</i>	Gastroenteritis
Protozoos	
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiasis
<i>Guardia lamblia</i>	Giardiasis

<b>Microorganismos patógenos</b>	<b>Enfermedad causada</b>
<i>Balantidium coli</i>	Amebiasis (disentería amebiana)
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	Gastroenteritis, diarreas
Helmintos	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
<i>Trichuris trichiura</i>	Trichuriasis
<i>Taenia solium</i>	Taeniasis
<i>Strongyloides stercoralis</i>	Esrongiloidiasis (anguilulosis humana)
<i>Ancylostoma duodenale</i>	Ancylostomiasis humana
<i>Hymenoleois sp.</i>	Gastroenteritis
<i>Fasciola hepática</i>	Toxocariasis

Fuente: Adaptado de Reinoso y Bécares (2008).

Debido a que la detección y recuento de todos microorganismos es lento, costoso y laborioso, se recurre a la utilización de microorganismos indicadores, aunque en algunos casos puedan encontrarse de manera natural en el humedal dependiendo de factores ambientales. En este sentido la organización mundial de la salud (OMS) reconoce tres tipos de indicadores: (i) Indicadores de proceso (generales), demuestran la eficacia de un proceso, como las bacterias heterótrofas totales o los coliformes totales para la desinfección por cloro. (ii) Indicadores fecales, grupo de organismos que indican la presencia de contaminación fecal, como E.Coli y (iii) Organismos índice, grupo o especie indicativa de la presencia de un patógeno, y organismos modelo, que indican el comportamiento, como ejemplos: E.Coli como índice de Salmonella, y los colifagos F-RNA como modelos de virus entéricos humanos.

Los coliformes son parte de la flora intestinal de los mamíferos y otros animales. La cantidad de coliformes, en promedio, que excreta un ser humano diariamente varía entre 10<sup>6</sup> y 4x10<sup>6</sup> UFC/ml (Grant, Pendroy, Bellin, Mayer, & Palmer, 1996). Todos los coliformes pueden existir como organismos saprofitos, a excepción de aquellos que pertenezcan al género Escherichia, su origen es exclusivamente intestinal. La gran cantidad de E. coli presente en el tracto digestivo humano y el hecho de que no se encuentra en otros entornos, causa que este tipo de microorganismo sea considerado como uno de los mejores indicadores disponibles para la contaminación por agentes patógenos (Molleda, Blanco, Ansola, & de Luis, 2008). La presencia de la E. coli indica que son aguas que han tenido contaminación fecal reciente y la posible existencia de organismos patógenos.

En este sentido, los coliformes totales y fecales desempeñan un papel importante en la eliminación de contaminantes en humedales construidos (Krasnits, y otros, 2009). Por lo tanto, las comunidades y la eliminación de patógenos en humedales construidos están estrechamente vinculadas con el ciclo del carbono, nitrógeno, fósforo y azufre.

La eliminación de microorganismos es un proceso de gran complejidad ya que depende de factores como la filtración, la adsorción y la depredación (Kadlec, y otros, 2000). Su eliminación es claramente dependiente del tiempo de permanencia, en el que los humedales que disponen de tiempo de retención hidráulica (HRT) mayores ofrecen rendimientos superiores y del medio granular, ya que a menor tamaño de la grava mayor es la superficie disponible para la formación de la biopelícula, obteniéndose así mayor rendimiento en la eliminación (Tanner, Clayton, & Upsdell, 1995).

Se encontraron en diferentes estudios una mayor eliminación de E. Coli en humedales plantados que en lechos sin plantar (Decamp, Warren, & Sánchez, 1999) por su adsorción en las raíces y al sustrato de la biopelícula y a un aumento de protozoos ciliados. Debido al incremento del oxígeno disuelto y la conductividad hidráulica se encuentra una mayor población de protozoos ciliados que aumenta la depredación sobre bacterias fecales. Entre los mecanismos biológicos producidos por las plantas se puede incluir la generación de antibióticos o antibiosis, proceso por el cual ciertas especies de bacterias y hongos excretan sustancias inhibitoras creando condiciones ambientales que impiden a sus competidores vivir en la misma área. También se ha comprobado que los coliformes fecales sobreviven durante más tiempo cuando las condiciones de su entorno son anaerobias (Ottová, Balcarová, & Vymazal, 1997).

Retenciones largas en el sistema eliminará a patógenos que no tengan la capacidad de soportar largos periodos fuera del huésped. El paso del agua por fases aeróbicas y anaeróbicas, cambios de temperatura y PH, debilitarán y/o eliminarán a los microorganismos que no estén acostumbrados a estos cambios de medio (Torres A. , 1999).

#### **2.1.4. Vegetación en los humedales artificiales**

La vegetación cumple en este tipo de tratamiento un papel fundamental, tanto en la eliminación de contaminantes como en la creación de las condiciones y ambiente idóneo

para su desarrollo y regulación. Las plantas tolerantes al flujo del agua (hidrófilas), han desarrollado una serie de adaptaciones que le permiten tolerar un rango de stress que provocarían la muerte a la mayoría de las plantas de tierra emergida.

### **Función de la vegetación**

En los sistemas de flujo superficial (FS) las plantas actúan como base para el crecimiento de la biopelícula encargada de la biodegradación, así como la filtración mecánica de las partículas. En los sistemas de flujo subsuperficial (FSS) la biopelícula crece en las partes subterráneas de las plantas y en el medio granular. Además del valor intrínseco para el mantenimiento de la biodiversidad en los humedales, y de su indudable valor estético, la vegetación tiene otras funciones en estos sistemas:

### **Efectos físicos**

La vegetación distribuye y ralentiza la velocidad del agua (Crites R., 1998) lo que favorece la sedimentación de los sólidos suspendidos y aumenta el tiempo de contacto con el agua y la vegetación. La vegetación origina un importante gradiente de luz, viento y temperatura desde el suelo hasta el límite superior de dicha vegetación, disminuyendo la velocidad del viento, la luz, y amortiguando los cambios de temperatura permitiendo temperaturas más cálidas en invierno y más frías en verano (Brix, Use of constructed wetlands in water pollution control: historical development, present status and future perspectives, 1994). En climas fríos la vegetación protege de la congelación, sobre todo en humedales subsuperficiales los cuales se han demostrado que pueden funcionar adecuadamente a temperaturas de  $-40^{\circ}\text{C}$  (Kadlec, y otros, 2000).

### **Superficie para la biopelícula**

En sistemas FS los tallos y hojas sumergidos aumentan la superficie de la biopelícula encargada de la eliminación de los contaminantes, por lo que la cantidad de vegetación en el sistema debería estar relacionada con el rendimiento del mismo. En sistemas FSS son las raíces las que sirven de soporte para la biopelícula junto al material granular. Se espera que la biopelícula mejore los procesos ya que el funcionamiento del sistema depende de la abundancia de bacterias y protozoos del mismo (García, Morató, & Bayona, 2004).



### **Aireación de la rizosfera**

Una adaptación importante, presente en muchas plantas de los humedales es el desarrollo de un tejido tubular poroso (aerénquima) en hojas y tallos que permite el transporte de oxígeno a la rizosfera. Este oxígeno transportado incrementa el potencial redox del sustrato, siendo más favorable para el crecimiento de la raíz y permite la reoxidación y precipitación de iones tóxicos como el manganeso.

### **Eliminación de nutrientes**

En general, la asimilación de nutrientes por la vegetación parece explicar, en el mejor de los casos, una eliminación del 10 % del fósforo y el 25% del nitrógeno (Vymazal, Brix, Cooper, Green, & Haberl, 1998). No obstante, el efecto puede ser importante en aguas poco cargadas. La mayor parte de los nutrientes acumulados vuelve al agua cuando muere la planta, salvo algunos que quedan retenidos en la materia recalcitrante, por eso, es muy importante cosechar periódicamente.

### **Liberación de sustancias por la raíz**

Las plantas liberan diversos compuestos orgánicos a través de sus raíces y hojas. Algunos con propiedades alelopáticas que evitan el crecimiento de otras especies y otra gran variedad de compuestos con diferentes propiedades (Della, Fiorentino, Isidoro, & Zarrelli, 2001). Estos compuestos orgánicos liberados por las plantas suponen entre el 5% y el 25% del carbono fijado fotosintéticamente, y podrían actuar como fuente de carbono para bacterias desnitrificantes y otros microorganismos de la rizosfera, influyendo sobre la estructura de las comunidades microbianas que en ella se desarrollan (Kadlec, y otros, 2000). También se ha descrito en algunos estudios la liberación de sustancias antibióticas por parte de las raíces.

Otro aspecto de interés es el efecto que puede tener el empleo de una o más especies en el tratamiento. Según algunos manuales, para sistemas FS debería favorecerse la mayor diversidad de especies posibles (Merz, 2000) ya que ello permite una mayor estabilidad a largo plazo frente a perturbaciones (por ejemplo, plagas), aumenta la superficie colonizada por las bacterias y mejora el valor ecológico del humedal (Garcia, Morató, & Bayona, 2004). Sin embargo, una mayor biomasa heterogénea también tendrá un efecto negativo por la mayor producción de necromasa y su degradación. En sistemas de FSS, aunque algunos experimentos demuestran mejores rendimientos a corto plazo en policultivos, se acepta que a largo plazo el policultivo acentuaría la disminución de

conductividad hidráulica del sistema disminuyendo la vida activa del mismo, por ello dentro del mantenimiento de estos sistemas se incluye la eliminación de la potencial vegetación oportunista.

### **Absorción de nutrientes a través de la vegetación**

La vegetación de mayor tamaño que se encuentra en un humedal son las macrófitas, las cuales son uno de los principales componentes utilizados para el tratamiento de las aguas residuales y tienen la principal característica de estabilizar los sustratos ubicados en el lecho del humedal, además de disminuir la velocidad hidráulica, proveen áreas superficiales para el crecimiento bacterial, toma de nutrientes e incrementar la concentración de oxígeno en el agua (Liu, Huang, Tang, Liu, & Scholz, 2012); (Li, Li, Biswas, Nian, & Jiang, 2008).

La capacidad de una vegetación bien desarrollada en un humedal, se debe principalmente al sistema radicular y la rizosfera. Las raíces contienen un gran número de bacterias que tienen como función oxidar y reducir el nitrógeno, provocando diferentes procesos como la nitrificación. La rizosfera se encuentra conectada con la planta a través de la fotosíntesis oxigénica activa y permite la transferencia de cierta cantidad de oxígeno cerca de las raíces. El sistema radicular de cada planta se considera como un pequeño sistema de tratamiento biológico aeróbico/anaeróbico. Además, la tasa de nitrificación es más alta en un humedal plantado que en uno sin plantar (Liu, Huang, Tang, Liu, & Scholz, 2012); (Zhang, Gersberg, & Kate, 2009).

En un humedal, el crecimiento de las plantas puede afectarse por variables como la calidad del agua, el medio de soporte, la temperatura y otros factores climáticos. El consumo de nutrientes por parte de la vegetación cambia con el proceso de crecimiento y el estado fisiológico de la misma, pues el tipo de crecimiento varía de acuerdo al periodo de crecimiento. Puede decirse que el consumo de nutrientes por parte de las plantas es un importante mecanismo de remoción de nutrientes provenientes de las aguas residuales (Liu, Huang, Tang, Liu, & Scholz, 2012); (Gottschall, Boutin, Crolla, Kinsley, & Champagne, 2007).

Las macrófitas desempeñan un papel fundamental en los humedales, favorecen el tratamiento del agua residual realizando diversas funciones que ayudan en su purificación:

- Actúan como medio de transporte de oxígeno hacia el medio granular y gases hacia la atmosfera (Mena, Rodríguez, Núñez, & Villaseñor, 2008).
- Mejora el flujo del agua residual, creando enlaces entre la superficie y la rizosfera (Chazarenc, Merlin, & Gonthier, 2003).
- Estabilizan el caudal (Brix, 1997), conservan la conductividad hidráulica del medio filtrante a largo plazo (Barceló, y otros, 2008), distribuyen y disminuyen la velocidad del agua, lo que favorece la sedimentación de los sólidos suspendidos y minimiza el riesgo de re-suspensión (Brix, 1997).
- Consumen el carbono, nutrientes, elementos de traza y los incorporan a los tejidos (García & Corzo, *Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*, 2008); (Mena, Rodríguez, Núñez, & Villaseñor, 2008).
- La influencia que ejerce la zona radicular sobre la vegetación es enorme (Brix, 1997) debido a que alrededor de esta área, existen gradientes de variadas formas químicas presentes en el agua (Kadlec & Knight, 1996).
- Compactan el lecho, brindándole estabilidad (Mena, Rodríguez, Núñez, & Villaseñor, 2008), especialmente en los humedales de flujo subsuperficial vertical (Brix, 1997).
- Se convierten en el medio de soporte de la biopelícula (Barceló, y otros, 2008), ya que la zona radicular actúa como superficie para la fijación de microorganismos, incrementando la superficie de la biopelícula (Kadlec & Knight, 1996).
- Disminuyen el gradiente de temperatura dentro del lecho, protegiéndolo del frío en invierno (García & Corzo, 2008); (Barceló, y otros, 2008); (Brix, 1997), evitando flujos no deseados por diferencia de temperaturas (Mena, Rodríguez, Núñez, & Villaseñor, 2008).
- Estabilizan la superficie del lecho, incrementado la porosidad, absorbiendo y almacenando nutrientes y además mejoran la estética del humedal (Abou-Elela & Hellal, 2012).

Numerosos estudios realizados tanto con plantas como sin ellas (Kadlec & Knight, 1996), demuestran que la eficiencia de remoción es mayor cuando las plantas están presentes (Mena, Rodríguez, Núñez, & Villaseñor, 2008). Sin embargo, algunas investigaciones realizadas (García, Paredes, & Cubillos, *Effect of plants and the combination of wetland treatment type Systems on pathogen removal in tropical climate*

conditions, 2013); (Cubillos, 2011); (Valverde, 2010), indican que la presencia de plantas en los humedales no representan diferencia significativa en la reducción de contaminantes, con respecto a aquellos sistemas que no tienen plantas.

La capacidad de absorción y toma de nutrientes, por parte de las macrófitas emergentes, varía entre 1000 y 2000 kg N/Ha/año. El Jacinto de agua (*Eichhomia crassipes*) es la planta que posee la mayor capacidad de absorción de nitrógeno con valores cercanos a 6000 kg N/Ha/año. Los valores más bajos, se presentan en las macrófitas sumergidas 700 kg N/Ha/año. La remoción de nutrientes por medio de la cosecha de vegetación macrófita, puede convertirse en un mecanismo eficiente y significativo, cuando los humedales sean utilizados en tratamiento terciario o de pulimiento de efluentes (Brix, 1994); (Vymazal, 1995). En el cuadro N°6, se muestran las principales funciones de las plantas en el humedal.

**Cuadro N° 6: Funciones generales de las plantas en un humedal**

Propiedad	Proceso	Efecto
Tejido aéreo	Influencia de microclima	Aislamiento de temperatura
	Almacenamiento de nutrientes	Eliminación de nutrientes
	Estética	Apariencia agradable
Raíces y rizoma	Estabilización de la superficie	Disminuye la erosión
	Aporte de oxígeno	Facilita la degradación y promueve los procesos de nitrificación
	Nutrientes	Asimila los nutrientes
Raíces y tejidos aéreos muertos	Descomposición del suelo	Fuente de carbono para las bacterias denitrificantes

Fuente: Brix (1994)

### **Papiro (*Cyperus papyrus*)**

Pertenece a la familia Cyperaceae, llega a tener una altura de 0.5 a 1.5 m., con una profundidad radical de 0.2 – 0.4 m., posee una densidad de plantación de 5 m<sup>2</sup>., se caracteriza por su absorción de metales pesados, el papiro se multiplica principalmente a través de sus rizomas, de las que brotan nuevos troncos a intervalos regulares. Ver Figura N°6

Produce también semillas que pueden ser transportadas por el viento. Tolera temperaturas de 20 a 33°C, y tiene un pH entre 6 – 8.5, (Perez, Alfaro y Agüero 2012), señalan que en un estudio realizado en Cosa Rica mostro una eficiencia de remoción de

carga orgánica en porcentajes promedio del 91% para el caso de DBO y 72% para el caso del DQO, así mismo en cuanto a nutrientes, se obtuvo una remoción promedio del 75% para el fosforo soluble y un 73% en solidos totales.

**Figura N° 6. *Cyperus Papyrus***



**Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)**

Es una planta nativa de Sudamérica, extendida actualmente por todas las regiones cálidas del mundo. La temperatura óptima para su crecimiento es de 25-30° C, cesando este a 10° C y produciéndose la muerte de la planta en condiciones de helada.

Esta planta tiene rendimientos de 150 t (materia seca) /ha/año, en zonas cálidas y de 40 - 50 en áreas más templadas como el Sur de Francia. Esta elevada productividad puede atribuirse a la capacidad de elongación de tallos y peciolos que, en poblaciones de alta densidad, pueden alcanzar hasta 1.5 m, Ver Figura N°7

Los microorganismos asociados a la zona radicular contribuyen de forma significativa a la reducción de la DBO del agua ya que aprovechan el oxígeno transportado desde las hojas a las raíces de las plantas. Así, la eficiencia en eliminación de materia orgánica está directamente relacionada con la densidad de cobertura y la profundidad del agua.

**Figura N° 7. *Eichhornia crassipes***



**Oreja de elefante (*Alocasia macrorrhiza*)**

Es una especie herbácea de hojas perennes que puede llegar a los 5 m., de altura. Perteneciente a la orden espadiciflorales de la familia de las Aráceas. Crece rápidamente y se adapta bien en diversas zonas de vida pasando por los climas medios hasta cálidos y suelos pantanosos y de baja fertilidad. Ver Figura N°8

En su tallo se acumulan carbohidratos en forma de almidón y sus hojas cantidades importantes de proteína, estas dos características la convierten en una especie promisoría para alimentación de cerdos y aves. Acumula oxalatos de calcio en menor cantidad que otras especies de este género, razón por la cual se ha generalizado más uso.

Las raíces son fasciculadas y se desprenden de un tallo rizomatoso subterráneo alargado y cilíndrico que se extiende horizontalmente y que alcanza gran desarrollo. A partir de él se desarrollan yemas que dan origen a nuevas plantas pequeñas denominadas "hijuelos".

El tallo aéreo se va formando a medida que la yema terminal crece y las hojas más viejas se desprenden de la roseta que forma el pseudotallo, el cual posee un gran número de yemas y acumula almidones en su médula o parte central, la cual es amarilla o blanca. Puede alcanzar hasta un metro de altura al año de establecido. Este tallo incrementa en altura y diámetro durante 1 a 3 años y puede pesar entre 15 y 25 kg (Ghani, 1988).



Las hojas son sagitadas de color verde brillante de gran tamaño (1 m., de largo por 80 cm., de ancho). La nervadura central forma línea recta con el pecíolo. Las hojas nuevas salen enrolladas por el pecíolo de la última ya formada. El látex que brota una vez son cortadas las hojas, puede producir irritación en la piel por su contiene oxalatos de calcio.

Las flores (5 o 6 inflorescencias, que no son simultáneas, se muere una y la siguiente) brotan del meristemo apical entre los pecíolos de las hojas, se forma de una hoja envolvente. La espata se desarrolla en la parte inferior formando una cavidad alargada que se cierra formando una garganta de color púrpura y luego se abre y es de color blanco matizado de violeta (FAO, 2003).

**Figura N° 8. *Alocasia macrorrhiza***



### **2.1.5. Lombrifiltro**

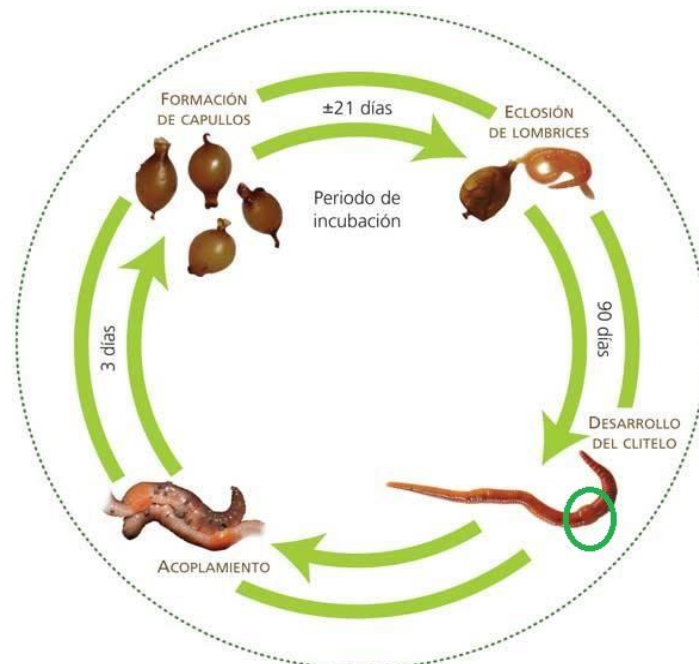
El lombrifiltro o biofiltro dinámico corresponde a un sistema alternativo para el tratamiento biológico de aguas residuales, con biomasa microbiana fija tipo filtro percolador, constituido por varias capas de distintos materiales, básicamente una capa de sostén de material inerte grueso, y una capa de material orgánico de tamaño menor, normalmente mezcla de aserrín y viruta de madera nativa. En esta capa se incorpora una masiva población de anélidos, principalmente la lombriz roja californiana *Eisenia foetida*, que utiliza el material celulósico y la materia orgánica adsorbida desde el efluente como sustrato. Aparte de generar el conocido humus, las lombrices construyen galerías que permiten la aireación del lecho y evitan su saturación hidráulica, generando un ecosistema altamente eficiente para la remoción de materia orgánica (DBO) y nutrientes (P y N).

El parámetro crítico de operación corresponde a la tasa superficial de alimentación del agua a tratar, que debe ser distribuida uniformemente sobre toda la superficie por aspersión, sin que el lecho se inunde. El sistema se caracteriza por ser simple y de bajo costo (inversión y operación) y ha sido utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas en plantas que sirven a poblaciones de entre 200 y 12.000 personas (Bornhardt, Bobadilla, & Monje, 2003).

### Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

La lombriz roja californiana está clasificada en el Reino Animal como anélido terrestre, de la Clase de los Oligoquetos, siendo su hábitat el ambiente húmedo, no aceptando la luz, este anélido es hermafrodita insuficiente, siendo bisexual que necesita aparearse para reproducirse, dotado de 5 corazones y 6 riñones. En la figura N°9 se muestra el ciclo reproductivo de la *Eisenia foetida* y en el cuadro N°7 las condiciones de hábitat de la *Eisenia Foétida*.

Figura N° 9. Ciclo reproductivo de la Eisenia Foétida



Es una lombriz extraordinariamente prolifera, muy vivaz, trabajadora, resistente al estrés, tal vez como ninguna otra, y que se ha logrado hacer trabajar en densidades de 50.000 a 60.000 lombrices por metro cuadrado, cifra que ninguna lombriz salvaje está en condiciones de resistir. Vive en cautiverio sin moverse de su lecho, madura sexualmente entre el segundo y tercer mes de vida, depositando cada 7 a 10 días una



cápsula con un contenido promedio de 10 huevos, pudiendo llegar a 20, los que después de 14 a 21 días de incubación eclosionan, originando lombrices en condiciones de moverse y nutrirse de inmediato (Agroflor Lombricultura, 2017).

**Cuadro N° 7. Condiciones de hábitat de la *Eisenia Foétida***

Parámetro	Nivel optimo	Nivel adecuado	Peligro de muerte
Temperatura	20°C	15°C – 24°C	<5°C >37°C
Humedad	75%	70% - 80%	<70% >80%
pH	6.5 – 7.5	6.0 – 8.0	<4.5 >8.5
Conductividad	2.5 mmhos/cm	3.0 mmhos/cm	>8.0 mmhos/cm
Proteínas	13%	7.5% - 13%	< 7.5% - 18% <

Fuente: Basaure (1993)

## 2.2. Marco legal

### **Constitución Política del Perú de 1993.**

Base del sistema jurídico del Perú, cuyo objetivo es controlar, regular y defender los derechos y libertades de los peruanos, así como organizar los poderes e instituciones políticas. El capítulo 11 del Título 111 denominado "Del Ambiente y los Recursos Naturales" establece en su art. 66° que los recursos naturales renovables y no renovables son patrimonio de la Nación y por ende, el Estado es soberano en su aprovechamiento. Asimismo, en los art. 67°, 68° y 69° establece que el Estado se encarga de promover el uso sostenible y la conservación de sus recursos naturales.

### **Ley N° 28611. Ley General del Ambiente.**

Su objetivo primordial es ordenar el marco normativo legal para la gestión ambiental y establecer los principios para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente y sus componentes.

### **Decreto Supremo N° 001-2010-AG. Reglamento de la Ley N° 29338- Ley de Recursos Hídricos.**

Este reglamento tiene por objeto regular el uso y gestión de los recursos hídricos que comprenden el agua continental (superficial y subterránea) y los bienes asociados a ella, así como la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, todo ello con

arreglo a las disposiciones contenidas en la Ley de Recursos Hídricos, Ley No 29338. Se aplica a todas las entidades del sector público nacional, regional y local que ejercen competencias, atribuciones y funciones respecto a la gestión y administración de recursos hídricos continentales superficiales y subterráneos, y a toda persona natural o jurídica de derecho privado que interviene en dicha gestión. También se aplica a las entidades con competencias sobre las aguas marítima y atmosférica, en lo que corresponda.

En el artículo 149° se establece que la ANA es la autoridad que deberá establecer los requisitos y aprobar el procedimiento para el otorgamiento de autorizaciones de reúso de aguas residuales tratadas. Por otro lado, en el art. 150° se establece que las solicitudes de autorización de reúso de aguas residuales tratadas serán evaluadas tomando en cuenta los estándares nacionales o, en su defecto, las guías correspondientes de la Organización Mundial de Salud.

**Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias (2017).**

Establece los estándares nacionales de calidad ambiental para cuerpos de agua superficial, destinado a cuatro usos:

- Poblacional y recreacional (categoría 1),
- Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales (categoría 2),
- Riego de vegetales y bebidas de animales (categoría 3)
- Conservación del ambiente acuático (categoría 4)

Siendo, los relacionados a esta investigación los estándares de la Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales, D1: riego de vegetales – Agua para riego no restringido. Ver Cuadro N°8

**Cuadro N° 8. Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales (Agua para riego no restringido)**

Parámetro	Unidad	valor
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1000
DBO <sub>5</sub>	mg/l	15
Nitritos	mg/l	10
Nitratos *	mg/l	10
Fosfatos *	mg/l	1
Ph	Unidad de ph	6.8- 8.5

Fuente: Decreto Supremo 004-2017-MINAM. (\*)Decreto Supremo 002-2008-MINAM

### Valores guía de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) para el reúso de aguas residuales.

Establecidos por la Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), regulan el reúso de aguas residuales tratadas en siete categorías, de acuerdo con la calidad de agua: urbano, agrícola, recreacional, ambientes naturales, industrial, recarga de acuíferos y reúso potable, a fin de proteger el ambiente de los potenciales impactos negativos. En referencia a los valores guía para el reúso de aguas residuales en ambientes naturales (en humedales, hábitats acuáticos y corrientes de agua) en el cuadro N°9 se establecen:

**Cuadro N° 9. Valores guía de la EPA para el reúso de aguas residuales.**

País	DBO <sub>5</sub> mg/l	SST mg/l	Coliformes totales UFC/100 ml	Coliformes termotolerantes UFC/100 ml	Nitrógeno total mg/l	Nitrógeno amoniacal mg/l	Fosforo total mg/l
Florida	6.25	6.25	-	200	2	3.75	1.25
Carolina del norte	10	5	-	14	4	4	1
Washington	20	20	23	-	-	-	1

Fuente: U.S. Environmental Protection Agency – EPA (2012). Valores guía para el reúso de aguas residuales.

### Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)

La FAO publicó en 1999 la guía sugerida para aguas tratadas utilizadas para uso agrícola y sus requerimientos de tratamiento. Ver Cuadro N° 10

**Cuadro N° 10. Guía sugerida para aguas tratadas en el reúso agrícola y sus requerimientos de tratamiento**

Tipos de reúso agrícola	Calidad del agua residual	Opción de tratamiento
Reúso agrícola en cultivos que se consumen crudos y no se procesan comercialmente	pH: entre 6.5 y 8.4 DBO <sub>5</sub> : 10 mg/L Turbidez: < 2 UNT. Coliformes fecales: < 14 NMP/100 mL Nemátodos intestinales: < 1 huevos/L	Secundario Filtración más desinfección
Reúso agrícola en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente	pH: entre 6.5 y 8.4 DBO <sub>5</sub> : < 30 mg/L Sólidos totales suspendidos: < 30 mg/L Coliformes fecales: < 200 NMP/100 mL	Secundario y desinfección
Reúso agrícola en cultivos que no se consumen	pH: entre 6.5 y 8.4 DBO <sub>5</sub> : 30 mg/L Sólidos totales suspendidos: < 30 mg/L Coliformes fecales: <200 NMP/100 mL	Secundario y desinfección

Fuente: FAO (1999) Wastewater treatment and use in agriculture

### **Norma Oficial Mexicana NOM-semarnat-1997**

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas para que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso. En cuanto a la materia flotante, debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida en la Norma Oficial Mexicana. En esta norma nos indican que los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en el siguiente cuadro N° 11:

**Cuadro N° 11. Límites máximos permisibles de contaminantes**

<b>Tipo de reuso</b>	<b>Promedio mensual</b>				
	Coliformes fecales (NMP/100 ml)	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites (mg/l)	DBO5 (mg/l)	SST (mg/l)
Servicio al público con contacto directo	240	$\geq 1$	15	20	20
Servicio al público con contacto indirecto u ocasional	1000	$\leq 5$	15	30	30

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-semarnat-1997 (1998)

### **Directrices sanitarias o valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS)**

Regulan el reúso de aguas residuales, excretas y aguas grises tratadas en la agricultura y acuicultura a nivel internacional, principalmente su calidad microbiológica. Los valores guía son referenciales y es una herramienta de manejo preventivo de aguas residuales, excretas y aguas grises en la agricultura y acuicultura para maximizar la seguridad para la salud pública. Con relación a los valores guía de aguas residuales para reúso en la agricultura, en el cuadro N° 12 se establecen lo siguiente:

**Cuadro N° 12: Recomendaciones sobre la calidad microbiológica para agua residual tratada para uso en agricultura**

Categoría	Condiciones de reúso	Grupo expuesto	Técnica de riego	Nematodos Intestinales <sup>a</sup> (Media aritmética N° de huevos/L) <sup>b</sup>	Coliformes fecales (media geométrica N°/ 100 mL) <sup>c</sup>	Tratamiento sugerido para alcanzar la guía
A	Riego sin restricción cultivos que se consumen crudos parques deportivos y parques públicos	Trabajadores Consumidores Público	Ninguna	$\leq 0.1^d$	$\leq 10^3$	Lagunas de estabilización y reservorios diseñados para alcanzar la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente (tratamiento secundario convencional suplementado con laguna de afinamiento o filtración y desinfección)
B	Riego restringido para cereales cultivos industriales forraje pasto y árboles <sup>e</sup>	B1: Trabajadores comunidades cercanas	Aspersión	$\leq 1$	$\leq 10^5$	Lagunas de estabilización incluyendo laguna de maduración o tratamiento equivalente (tratamiento secundario convencional suplementado con laguna de maduración o filtración)
		B2: Trabajadores comunidades cercanas	Inundación/ surcos	$\leq 1$	$\leq 10^3$	Como en la categoría A
		B3: Trabajadores niños menores de 15 años comunidades cercanas.	Cualquiera	$\leq 0.1$	$\leq 10^3$	Como en la categoría A
C	Riego localizado de cultivos de la categoría B si no se expone a trabajadores y público	Ninguna	Goteo	No aplica	No aplica	Pretratamiento y sedimentación primaria

Fuente: Organización Mundial de la Salud (2006). Guías para la calidad del agua potable.

a: Ascaris, Trichuris y Anchilostoma; la guía también intenta proteger contra el riesgo de protozoos

b: Durante el periodo de riego (si el agua residual es tratada en lagunas de estabilización o reservorios, los cuales han sido diseñados para alcanzar la concentración de helmintos requerida, no es necesario el control rutinario del efluente)

c: Durante la estación de riego (el recuento de coliformes fecales es preferible semanalmente o al menos mensualmente)

d: Los límites de la guía pueden incrementarse a  $< 1$  huevo/L si las condiciones son de altas temperaturas y clima seco y no se usa el riego en superficie o si el tratamiento del agua residual es suplementado con quimioterapia antihelmíntica en áreas de reutilización de agua residual

e: En el caso de árboles frutales, el riego debe terminar dos semanas antes de la cosecha y ninguna fruta debe ser recogida del suelo. No se debe usar riego por aspersión.

## CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS

### 3.1. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

En los siguientes cuadros N° 13, 14 y 15 se detallan los materiales, instrumentos y equipos utilizados en la construcción de los sistemas de biofiltros.

**Cuadro N° 13. Materiales e Instrumentos para el canal de desbaste y Tanque séptico**

Canal de desbaste y Tanque séptico		
Materiales/ Instrumentos	Cantidad	Unidad
Ladrillos	190	Unid.
Cemento	9	Unid.
Arena fina	5	Bolsas
Arena gruesa	1	m <sup>3</sup>
Piedra chancada	3	bolsas
Tubos de 2 "	2	Unid.
Tubos de 4 "	2	Unid.
Tubo "T" de 2"	2	Unid.
Pegamento	1	Unid.
Teflon	3	Unid.
Superblue	2	Unid.
Tapón 2"	1	Unid.
Codos de 4"	2	Unid.
Pico	1	Unid.
Lampa	1	Unid.

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro N° 14. Materiales para el Sistema de biofiltros**

Sistema de biofiltros		
Materiales	Cantidad	Unidad
<i>Cyperus papyrus</i>	2	Unid.
<i>Alocasia macrorrhiza</i>	2	Unid.
<i>Eisenia foetida</i>	0,5	kg
Confitillo	5	Bolsas
Arena gruesa	2	Bolsas
Arena fina	2	Bolsas
Turba	2	Bolsas
Tanque de vidrio de 70x35x40	2	Unid.
Tanque de vidrio de 50x50x40	2	Unid.

<b>Sistema de biofiltros</b>		
Caños plásticos	5	Unid.
Tubo de 1/2	2	Unid.
Reducción de 2-1	1	Unid.
Tubo "T" de 1"	1	Unid.
Tubo adaptador con rosca de 2"	1	Unid.
Tapón con rosca de 2"	1	Unid.
Llave de 1"	1	Unid.
Teflón	3	Unid.
Codo de 1/2	8	Unid.
Tubo "T" de 1/2	3	Unid.
Tapón de 1/2	4	Unid.
Unión de 1/2	1	Unid.
Pegamento	1	Unid.
Reducción de 3/4 -1/2	2	Unid.
Unión mixto de 1/2	1	Unid.
Soldimix	1	Unid.
Moldimix	3	Unid.

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro N° 15. Otros materiales y equipos**

<i>Otros materiales</i>		
<i>Materiales</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
Guantes quirúrgicos	2	Caja
Mascarillas	1	Caja
Plástico	10	Metros
Jabón liquido	500	ml
<i>Equipos</i>		
Calculadora científica	1	Unid.
Laptop (Hp, Intel COREi3) para la redacción de la investigacion	1	Unid.
Cámara digital (Lumix) para la documentación fotográfica	1	Unid.
<i>Cartografía</i>		
Plano de lotización del distrito de Lurigancho- Chosica en escala 1:5000	1	Unid.
<i>Software</i>		
Autocad versión 2015, para elaborar planos		
ArcGIS 10.3, para elaborar mapas		
Office 2013 (Word, Excel, Power point)		

Fuente: Elaboración propia

### 3.2. METODOS

El método es un proceso lógico y riguroso que es formulado con la finalidad de lograr la adquisición, organización o sistematización y expresión o exposición de conocimientos en los aspectos teórico y experimental (Hernández & Fernández, 2006). Es decir, es el medio por el cual tratamos de dar respuesta a las interrogantes acerca del orden de la naturaleza.

En la presente investigación se empleó el **método de la investigación científica empírico de muestreo no probabilístico**, ya que la investigación empírica está basada en la experimentación y la observación de evidencias verificadas en campo. Asimismo se empleó el muestreo no probabilístico dado que la elección del área de estudio se realizó a criterio del investigador requerido para cumplir con los objetivos de la investigación.

#### 3.2.1. Diseño y tipo de investigación

**El tipo de investigación es cuantitativo** de diseño experimental (cuasi experimental) dado que presenta características propias de este tipo de investigación como: presencia de grupo control, grupo con tratamiento y muestras tomadas por conveniencia (muestreo no probabilístico), donde se manipula la variable de sistema de biofiltros (independiente), para luego medirse la variable dependiente siendo en este caso el tratamiento de las aguas residuales.

**El nivel de investigación** es aplicativo porque se plantea resolver el problema de la contaminación del agua de los canales de regadío y del rio Rímac por vertimientos de agua residual doméstica utilizando los sistemas de biofiltro, para lo cual se evalúa la intervención con respecto al afluente.

### 3.3. PROCEDIMIENTO

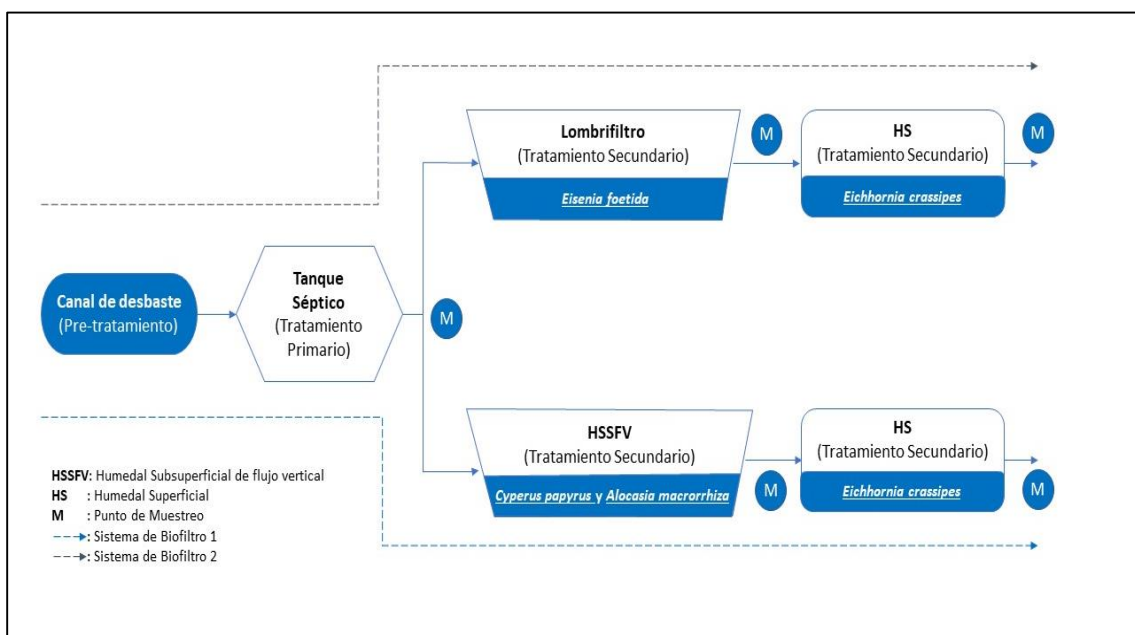
En el presente apartado, se describirá el procedimiento a seguir para el cumplimiento de cada uno de los objetivos secundarios planteados.



### 3.3.1. Diseño e implementación de los dos sistemas pilotos de biofiltros

La presente investigación hace una comparación entre dos sistemas de biofiltros (SB1 y SB2), el primero (SB1) se encuentra compuesto por un canal de desbaste (Pre tratamiento), tanque séptico (Tratamiento primario), seguido por un humedal de flujo subsuperficial vertical (HFSSV) y un humedal de flujo superficial (FS), ambos como tratamiento secundario. Mientras el segundo (SB2), conformado por un canal de desbaste (Pre tratamiento), tanque séptico (Tratamiento primario), seguido por un lombrifiltro y un humedal de flujo superficial, tal como se muestra en la Figura N° 10.

Figura N° 10. Esquema de sistemas de biofiltro



Fuente: Elaboración propia

### Determinación del caudal a partir del agua de abastecimiento

Para el diseño del sistema de biofiltro es necesario conocer el caudal de agua residual de la vivienda de la localidad de Carapongo, ya que presenta variaciones horarias, diarias y mensuales. El cálculo se realizara a partir de los caudales de abastecimiento de agua para el consumo, estos valores suelen estar registrados por los operadores de los sistemas de agua que se encargan de las lecturas de consumo domiciliario, caso contrario se realiza el conteo de contenedores con agua consumidos.

#### A. Caudal medio diario

En el caso de estas poblaciones por ser pequeñas se considera que 80% – 90% del agua de abastecimiento se convierte en agua residual.

$$Q_{med,d} (m^3 / d) = \frac{\beta \times P \times D}{1000} \dots Ecuación N^{\circ} 1$$

**Donde:**

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

P = número de habitantes.

D = dotación de agua en lt/hab.día

β = cantidad de agua de abastecimiento que se convierte en agua residual

## B. Caudal punto diario

El coeficiente punta es la relación entre la media de los caudales máximo y mínimo y el caudal medio. Los coeficientes punta varían según el intervalo del tiempo al que van referidos. Para determinar los caudales punta se debe multiplicar el caudal medio por el coeficiente punta. Ver Cuadro N° 16

**Cuadro N° 16. Coeficientes punta recomendados determinar los caudales punta diario en pequeñas comunidades**

Parámetro	Intervalo	Valor típico
Coeficiente punta diario	1.2 – 2.0	1.7
Coeficiente punta mensual	1.0 – 1.5	1.2

Fuente: García y Corzo (2008)

$$Q_{punta,d} (m^3 / d) = Q_{med,d} \times coef \text{ punta} \dots Ecuación N^{\circ} 2$$

## C. Caudal máximo diario

Es el doble de caudal punta diario:

$$Q_{max,d} (m^3 / d) = Q_{punta,d} \times 2 \dots Ecuación N^{\circ} 3$$

## D. Caudal máximo instantáneo

Se utiliza para calcular el aliviadero es diez veces el caudal medio, se representa como m<sup>3</sup>/s.

$$Q_{max,i} (m^3 / s) = Q_{med,d} \times 10 \dots Ecuación N^{\circ} 4$$

## E. Caudal mínimo diario

Es el 30% del caudal medio diario.

$$Q_{min,d} (m^3 / d) = Q_{med,d} \times 0.30 \dots Ecuación N^{\circ} 5$$

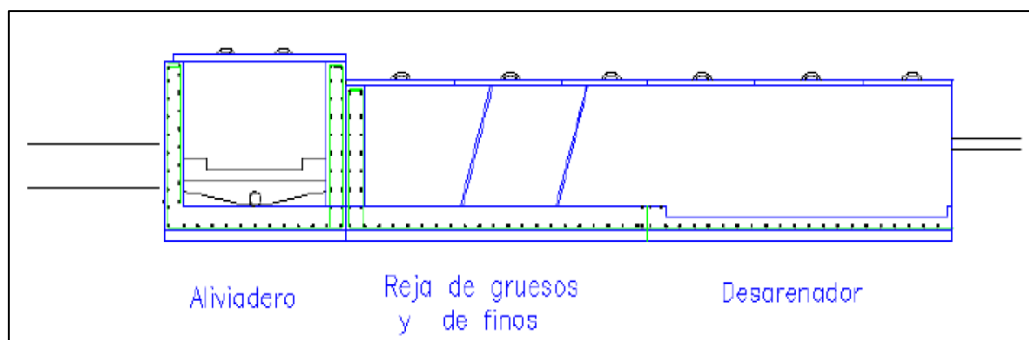
## Diseño de los sistemas de biofiltros

El diseño se basó en el modelo para la remoción de DBO en humedales de flujo subsuperficial y superficial (tratamiento secundario) empleado por Lara Borrero (Lara, 1999) en su tesis de maestría titulado “Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales”. Sin embargo, para el cálculo de las dimensiones del pretratamiento se tomó como referencia la Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial de autoría de García y Corzo (2008). Por otro lado, para el diseño del tanque séptico (tratamiento primario) se consideraron las especificaciones de la Norma Técnica I.S. 020 - Tanques Sépticos. Tal como se detalla a continuación.

### A. Pretratamiento

Son todos los procesos que se ubican a la entrada al sistema de humedales, su función es eliminar sólidos gruesos tales como piedras, ramas de árboles, plásticos, papeles, etc. Elimina también grasas y arenas que pueden dañar o interfieren en los procesos posteriores. Para pequeñas comunidades como en este caso, el pretratamiento consiste en un canal donde se encuentran sucesivamente las aguas, una zona de aliviadero de exceso de caudal, otra zona en donde se sitúa una reja de gruesos y una reja de finos, y finalmente un desarenador. Ver Figura N° 11

**Figura N° 11. Línea de Pretratamiento estándar para depuradoras de pequeñas comunidades**



Fuente: García y Corzo (2008).

### Aliviadero de entrada

Esta estructura evita la sobrecarga del caudal en las instalaciones, consiste en una arqueta de planta rectangular en la que, a cierta altura del agua, toda aquella fracción de caudal cuya lámina de agua supere dicha altura es separada y vertida directamente pasando tan solo por una reja del canal adjunto al canal de desbaste.

El caudal que debe evacuar el aliviadero se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_v = Q_{lluv} - Q_{max,i} \dots Ecuación N° 6$$

**Donde:**

$Q_v$  = caudal de vertido que debe evacuar el aliviadero en m<sup>3</sup>/s.

$Q_{lluv}$  = caudal de lluvia más agua residual que llega a la instalación, en m<sup>3</sup>/s.

$Q_{max,i}$  = caudal máximo instantáneo en m<sup>3</sup>/s.

La longitud del vertedero se calcula al dividir el caudal a aliviar entre el caudal por metro lineal de vertedero. El caudal metro lineal de vertedero se calcula con la *fórmula de Francis*:

$$Q_{m.l.vert} = 1.83 \times (1 - (0.2 \times H) \times H^{1.5}) \dots Ecuación N° 7$$

**Donde:**

$Q_{m.l.vert}$  = caudal por metro lineal en m<sup>3</sup>/m.s

H = altura de la lámina de agua sobre el vertedero en m.

Para poder aplicar esta ecuación, se determina la altura del agua en el canal (P) y la altura de la lámina de agua sobre el vertedero (H). La altura del agua se debe calcular para el caudal de lluvia y para el caudal máximo instantáneo.

$$P(m) = \frac{Q_m}{vel \times ancho} \dots Ecuación N° 8$$

$$P(ll) = \frac{Q_{ll}}{vel \times ancho} \dots Ecuación N° 9$$

$$H = P_{ll} - P_m \dots Ecuación N° 10$$

**Donde:**

$P_m$  = altura del agua caudal máximo instantáneo

$P_{ll}$  = altura del agua caudal de lluvia

$Q_m$  = caudal de lluvia en m<sup>3</sup>/s

$Q_{ll}$  = caudal máximo instantáneo en m<sup>3</sup>/s

La longitud del vertedero la obtengo al dividir el caudal del vertido, entre el caudal por metro lineal de vertedero:

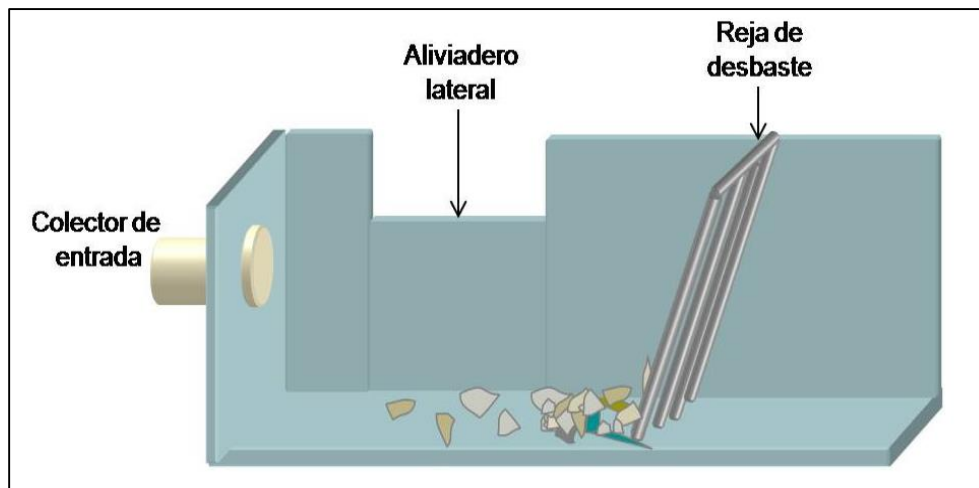
$$L = \frac{Q_v}{Q_{m.l.vert}} \dots Ecuación N° 11$$

### Canal de desbaste

El canal de desbaste es el primer proceso unitario con el que se encuentra el agua residual al llegar al sistema de tratamiento. Ver Figura 12. En él se separan los grandes sólidos mediante su intercepción con rejas, y se produce, además, un desarenado ya que se construye con una sección mayor que el colector de llegada, ralentizándose la velocidad del agua. Así pues, el canal hace funciones de desbaste y desarenado de forma simultánea. Esta tipología de desarenador (denominados de flujo horizontal) es la más habitual en plantas de pequeño tamaño.

El desarenado permite separar las materias pesadas de granulometría superior a  $200\ \mu\text{m}$ , evitando su sedimentación en los canales y conducciones, protegiendo de la abrasión y previniendo sobrecargas en las fases de tratamiento siguientes. Durante el desarenado también hay una cierta reducción de partículas de tipo orgánico. Si la reja se obtura, las posibles inundaciones se evitan al actuar el aliviadero de entrada; en este caso la mayor parte del agua no pasará por la depuradora mientras no se proceda a la limpieza de la reja.

Figura N° 12. Esquema de un canal de desbaste



Fuente: García y Corzo (2008).

El canal se dimensiona con una anchura constante, siendo ésta seleccionada del valor mayor entre el necesario para las rejass y el calculado para el desarenador. A continuación, se expone como se establece el ancho necesario para las rejass usando los valores recomendados en el cuadro N° 17.

**Cuadro N° 17. Valores recomendados de los parámetros para el dimensionamiento de las rejillas**

Características	Reja gruesos	Reja finos
Modo de funcionamiento	Manual	Automático
Anchura de los barrotes (mm)	>12	<6
Luz entre barrotes (mm)	50- 100	10-25
Pendiente en relación a la vertical (grados)	30- 45°	
Velocidad de aproximación (m/s)	0.3- 0.6	
Pendiente de carga admisible (m)	0.15	0.15

Fuente: García y Corzo (2008).

En primer lugar, se fija un valor de partida para el ancho del canal entre 0,20 y 2 m dependiendo del colector de entrada, y luego se determina el ancho útil de paso:

$$W_u = (A_c - nA_b)x \left(1 - \frac{G}{100}\right) \dots \text{Ecuación N° 12}$$

**Donde:**

$W_u$ : ancho útil de paso, en m.

$A_c$ : ancho de canal, en m.

$n$ : número de barrotes.

$A_b$ : Ancho de barrotes, en m.

$G$ : grado de colmatación, normalmente se utiliza un valor de 30 %.

El calado necesario para un grado de colmatación determinado se determina:

$$h = \frac{Q}{v} x \frac{1}{W_u} \dots \text{Ecuación N° 13}$$

**Donde:**

$h$ : calado, en m.

$Q$ : caudal máximo diario, en m<sup>3</sup>/s.

$v$ : velocidad de aproximación, en m/s.

La longitud necesaria del canal en la zona de las rejillas se determina considerando la velocidad de aproximación del agua y el tiempo hidráulico, que suele ser de 5 a 15 s:

$$L = T_H x v \dots \text{Ecuación N° 14}$$

**Donde:**

$L$ : largo del canal, en m.

$T_H$ : tiempo de retención, en s.

$v$ : velocidad de aproximación del agua, en m/s.

## Diseño del desarenador

Para establecer el ancho del canal necesario para el desarenado se utilizan los valores de los parámetros que se presentan en el siguiente cuadro bajo el nombre de flujo horizontal. La longitud del canal correspondiente a la zona del desarenador se calcula tomando también los valores del tiempo de retención mostrado en el cuadro N° 18.

**Cuadro N° 18. Valores recomendados de los parámetros necesarios para el dimensionamiento de desarenadores.**

Parámetro	Valor	
	Intervalo	Valor típico
Flujo horizontal (canales desbaste)		
Carga hidráulica		<70 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> hora (a Q <sub>máx.</sub> )
Velocidad horizontal del agua	0.2 – 0.4 m/s	0.3 m/s
Tiempo de retención	45- 90 s	60 s
Longitud	20 – 25 veces la altura de la lámina de agua	
Relación largo - ancho	1.5 – 3.0	2

Fuente: García y Corzo (2008).

En primer lugar, se determina el largo del canal en la zona de desarenado a partir del tiempo de retención:

$$L = T_H \times V_H \dots \text{Ecuación N}^\circ 15$$

**Donde:**

L: largo del canal correspondiente a la zona de desarenado, en m.

T<sub>H</sub>: tiempo de retención, en s.

V<sub>H</sub>: velocidad horizontal del agua, en m/s.

A partir de la relación largo-ancho se determina el ancho del canal:

$$W = \frac{L}{\text{relacion largo-ancho}} \dots \text{Ecuación N}^\circ 16$$

$$L = W \times \text{relacion largo - ancho} \dots \text{Ecuación N}^\circ 17$$

**Donde:**

W: ancho del canal, en m

L: largo del canal, en m

La sección transversal del canal es:

$$A = \frac{Q_{max}}{V_H} \dots Ecuación N° 18$$

**Donde:**

A: sección transversal, en m<sup>2</sup>

Q: caudal máximo diario en m<sup>3</sup>/s

V<sub>H</sub>: velocidad horizontal del agua, en m/s

Ya que la sección transversal es igual al ancho del canal por el calado, se determina este último:

$$h = \frac{A}{W} \dots Ecuación N° 19$$

**Donde:**

h: calado, en m.

A: sección transversal, en m<sup>2</sup>

W: ancho del canal, en m

Si el valor obtenido de altura del canal para la zona de desarenado es mayor que el calado obtenido para la zona de desbaste de gruesos, se toma como altura definitiva del canal el valor de la zona de desarenado. A continuación, se verifica la carga superficial:

$$C_S = \frac{Q}{L \times W} \dots Ecuación N° 20$$

**Donde:**

C<sub>s</sub>: carga superficial, en m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h

Q: caudal máximo horario en m<sup>3</sup>/h

L: largo del canal, en m.

W: ancho del canal, en m.

Si la carga superficial es menor de 70 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hora (a Q<sub>máx.</sub>), el dimensionamiento es correcto, de lo contrario, se recomienda aumentar la longitud del canal.

En general, en los pequeños poblados el desengrasado se puede realizar en el propio tratamiento primario sin necesidad de requerir unidades específicas para ello.



## **B. Tanque séptico**

Debido a que los humedales artificiales representan un tratamiento secundario o terciario y considerando que se van a tratar aguas residuales, es necesaria la construcción de un tanque de séptico o cámara séptica como tratamiento primario. Ver Figura N° 13. Es la unidad más común de tratamiento a pequeña escala para aguas residuales. Se trata básicamente de un tanque de sedimentación y su forma puede ser rectangular o cilíndrica.

En este sistema, los sólidos flotantes, las grasas y los aceites tienden a acumularse en la superficie, en donde forma una capa flotante de espuma o nata, mientras que los lodos sedimentan en el fondo del tanque (Mendez-Novelo, 2007). La materia orgánica retenida en el fondo recibe un tratamiento biológico de descomposición anaerobia y facultativa, la cual reduce el volumen de solidos acumulados hasta en un 50% y produce metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y sulfuro de hidrogeno, (H<sub>2</sub>S), entre otros compuestos (Seabloom, 1982; USEPA, 2000; Mendez-Novelo, 2007). Un tanque séptico genera pequeñas cantidades de lodos (3783-7566 L/tanque cada 2-5 años), que pueden verterse o aplicarse al suelo, o bien mezclarse con el agua residual municipal para su posterior tratamiento. El tanque debe supervisarse regularmente, con la finalidad de evaluar el tiempo de limpieza del sistema (3-5 años) (Bitton, 2005).

Se han reportado eficiencias en la remoción de DBO<sub>5</sub> entre 46- 68%, de 30 a 81% para solidos suspendidos totales (SST), de 20 a 65% para fosfatos y de 25 a 66% para coliformes fecales; en el caso de los virus, no se reportan inactivaciones perceptibles después del tratamiento biológico, aunque las eficiencias varían mucho en función de la operación, el mantenimiento y las condiciones climáticas (Seabloom, 1982; Bitton, 2005).

### **Tiempo de retención**

El período de retención hidráulico en los tanques sépticos será estimado mediante la siguiente fórmula:

$$PR = 1.5 - 0.3 \times \text{Log} (P \times q) \dots \text{Ecuación N}^\circ 21$$

**Donde:**

PR = Tiempo promedio de retención hidráulica, en días

P = Población servida

$q$  = Caudal de aporte unitario de aguas residuales, Lt/habitante.dia.

El tiempo mínimo de retención hidráulico será de 6 horas.

### **Volumen del tanque séptico**

El volumen requerido para la sedimentación ( $V_s$ ) en  $m^3$  se calcula mediante la ecuación N° 22:

$$V_s = 10^{-3} (P \times q) \times PR \dots \text{Ecuación N° 22}$$

Se debe considerar un volumen de digestión y almacenamiento de lodos ( $V_d$ ) en  $m^3$  basado en un requerimiento anual de 70 litros por persona que se calculará mediante la fórmula:

$$V_d = 70 \times 10^{-3} P \times N \dots \text{Ecuación N° 23}$$

### **Donde:**

$N$  = Es el intervalo deseado entre operaciones sucesivas de remoción de lodos (años).

70 = Aporte de lodos y costra de natas, lts./hab.año.

El tiempo mínimo de remoción de lodos es de 1 año.

### **Características**

Las siguientes características son las recomendadas por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA)

- *Capacidad de tanques:* Mínimo  $3 m^3$ , máximo:  $20 m^3$ . Sin embargo debe indicarse que la institución de Water for the World de USA, consideran el diseño de tanques hasta de  $39 m^3$ .
- *Número de cámaras* Una hasta  $5 m^3$  y 2 a 3 cámaras a volúmenes mayores a  $5 m^3$ . La primera cámara deberá tener 50 a 60% de la capacidad total.
- *Relación de medidas:*
  - Profundidad 1.20 a 1.70 m.
  - Borde libre 0.30 m.
  - Relación largo / ancho 2 a 1 / 3 a 1.
  - Ancho mínimo 0.6 m.
- Pendiente de tanque 2% hacia ingreso.

### **Dimensiones**

a) Profundidad máxima de espuma sumergida ( $H_e$ )

Se debe considerar un volumen de almacenamiento de natas y espumas, la profundidad máxima de espuma sumergida ( $H_e$ ) en m, es una función del área superficial del tanque séptico ( $A$ ) en  $m^2$  y se calcula mediante la ecuación N° 24.

$$H_e = 0.7/A \dots \text{Ecuación N}^\circ 24$$

**Donde:**

$A$ = área superficial del tanque séptico, en  $m^2$

b) Debe existir una profundidad mínima aceptable de la zona de sedimentación que se denomina profundidad de espacio libre ( $H_s$ , en m) y comprende la superficie libre de espuma sumergida y la profundidad libre de lodos.

c) La profundidad libre de espuma sumergida es la distancia entre la superficie inferior de la capa de espuma y el nivel inferior de la Tee o cortina del dispositivo de salida del tanque séptico ( $H_{es}$ ) y debe tener un valor mínimo de 0.1 m.

d) La profundidad libre de lodo es la distancia entre la parte superior de la capa de lodo y el nivel inferior de la Tee o cortina del dispositivo de salida, su valor ( $H_o$ , en m) se relaciona al área superficial del tanque séptico y se calcula mediante la ecuación N° 25:

$$H_o = 0.82 - 0.26(A) \dots \text{Ecuación N}^\circ 25$$

**Donde:**

$H_o$ = está sujeto a un valor mínimo de 0,3 m

e) La profundidad de espacio libre ( $H_1$ ) debe seleccionarse comparando la profundidad del espacio libre mínimo total calculado como  $(0.1 + H_o)$  con la profundidad mínima requerida para la sedimentación ( $H_s$ ), se elige la mayor profundidad.

$$H_1 = H_{es} + H_o ; H_1 = H_s \dots \text{Ecuación N}^\circ 26$$

f) Profundidad de digestión y almacenamiento de lodos ( $H_d$ )

$$H_d = V_d/A \dots \text{Ecuación N}^\circ 27$$

g) La profundidad total efectiva es la suma de la profundidad de digestión y almacenamiento de lodos ( $H_d$ ), la profundidad del espacio libre ( $H_1$ ) y la profundidad máxima de las espumas sumergidas ( $H_e$ ).

$$\text{Profundidad total efectiva} = H_d + H_l + H_e \dots \text{Ecuación N}^\circ 28$$

h) En todo tanque séptico habrá una cámara de aire de por lo menos 0,3 m de altura libre entre el nivel superior de las natas espumas y la parte inferior de la losa de techo.

$$\text{Altura cámara séptica} = \text{profundidad total efectiva} + 0.3 \dots \text{Ecuación N}^\circ 29$$

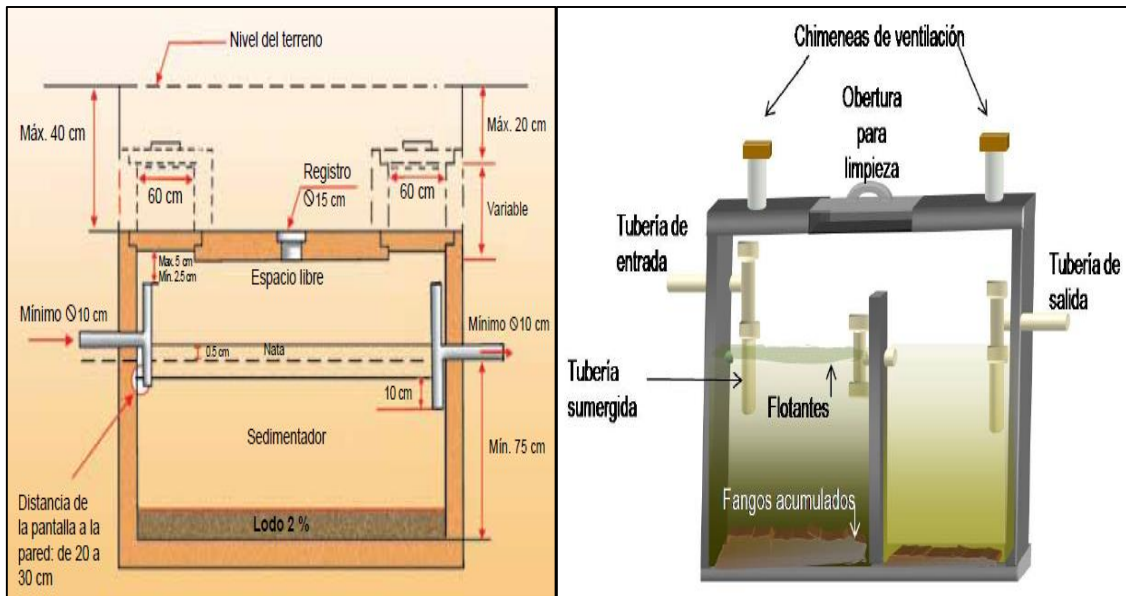
i) Volumen ocupado por el aire o gases en la cámara séptica

$$V_L = \text{área} \times \text{borde libre} \dots \text{Ecuación N}^\circ 30$$

j) Volumen total de la cámara séptica

$$V_T = V_L + V_s + V_d \dots \text{Ecuación N}^\circ 31$$

Figura N° 13. Esquema de un tanque séptico



Fuente: García y Corzo, 2008

### C. Humedal superficial (HS)

El dimensionamiento del humedal superficial y subsuperficial se realiza en tres etapas, en la primera se determina la superficie necesaria de tratamiento (dimensionamiento biológico), en la segunda se establecen dimensiones geométricas (dimensionamiento hidráulico) y la tercera para verificar las temperaturas asumidas en el dimensionamiento biológicos hasta que la temperatura asumida y la calculada coincidan (dimensionamiento térmico).

## Dimensionamiento biológico

El diseño se basó en el modelo para la remoción de DBO en humedales de flujo superficial empleado por Lara Borrero (1999) en su tesis de maestría titulado “Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales”, este método fue seleccionado por ser uno de los más completos y organizado.

Para determinar el área superficial del humedal (AS) se calcula por medio de la siguiente ecuación para ello primero se calcula el valor de  $K_T$ , con un valor de  $K_{21} = 0.678 \text{ d}^{-1}$ .

$$K_T = K_{21} * 1.06^{T-20} \dots \text{Ecuación N}^\circ 32$$

$$K_{21} = 0.678 \text{ d}^{-1} \dots \text{Ecuación N}^\circ 33$$

$$A_S = \frac{Q * (\ln C_o - \ln C_e)}{K_T * y * n} \dots \text{Ecuación N}^\circ 34$$

### Dónde:

$C_e$ : concentración de  $\text{DBO}_5$  en el efluente, mg/L

$C_o$ : concentración de  $\text{DBO}_5$  en el afluente, mg/L

$K_T$ : constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura,  $\text{d}^{-1}$

T: temperatura

$A_s$ : área superficial del humedal HS,  $\text{m}^2$

y: profundidad promedio del sistema, m

n: porosidad del sistema 0.65 A 0.75 (los valores menores son para vegetación densa y madura)

Q: caudal promedio en el sistema,  $\text{m}^3/\text{d}$

La profundidad del humedal puede variar durante periodos cortos desde pocos centímetros hasta más de un metro. Las profundidades típicas de diseño van desde 0.1 m a 0.46 m dependiendo de la estación y de la calidad esperada del agua para el sistema.

En climas fríos, donde se espera que se forme hielo durante el invierno, se puede incrementar esa profundidad con el fin de compensar. Durante el verano el sistema puede operar con una profundidad mínima, consistente con la obtención de los objetivos de calidad, para mejorar la transferencia potencial de oxígeno y fomentar un crecimiento vigoroso de las plantas.

La DBO final de efluente se ve influida por la producción de DBO residual en el sistema, producto de la descomposición del detritus de las plantas y de otras sustancias orgánicas presentes de manera natural. Esta DBO residual esta típicamente en el rango de 2 a 7 mg/l. Como resultado, la DBO del efluente de un humedal de este tipo proviene de estas fuentes y no del agua residual. Por tanto, las ecuaciones no pueden ser usadas para diseñar sistemas con una DBO en el efluente final por debajo de los 5 mg/l.

### **Dimensionamiento hidráulico**

Por medio de la siguiente ecuación se puede encontrar el valor del tiempo de retención hidráulico.

$$t = \frac{A_s * y * n}{Q} \dots \text{Ecuación N}^\circ 35$$

**Dónde:**

t: tiempo de retención hidráulica.

y: profundidad promedio del sistema, m

n: porosidad del sistema 0.65 A 0.75 (los valores menores son para vegetación densa y madura)

Q: caudal promedio en el sistema, m<sup>3</sup>/d

Después de encontrar el área se establece una relación larga: ancho, y se obtienen las dimensiones del humedal. Es decir, se divide el área superficial entre el ancho.

### **Dimensionamiento térmico**

Puesto que la superficie del agua está expuesta a la atmósfera en los humedales superficiales, puede llegar a presentarse alguna formación de hielo, sobre todo en los países del norte. En estos humedales, la capa de hielo esta retenida por los numerosos tallos y hojas de la vegetación, así que el volumen disponible para el flujo se ve significativamente reducido al aumentar el espesor de la capa de hielo.

Para algunos proyectos en climas nórdicos, es esencial realizar un análisis térmico como el que se presenta a continuación para asegurar que el humedal será físicamente estable durante el invierno y que podrá sostener temperaturas del agua que permitan continuar con la actividad biológica. El procedimiento de cálculo presentado en esta sección fue desarrollado por el "U.S. Cold Regions Research and Engineering Laboratory in Hanover, New Hampshire".

Las temperaturas determinadas sirven también para determinar la viabilidad básica de la localización bajo consideración y para verificar las temperaturas asumidas en los cálculos de dimensionamiento que se realizaron para los modelos de remoción de DBO. Estos modelos de DBO son el primer paso en el diseño, ya que se dan como resultado datos necesarios como las dimensiones, tiempo de retención hidráulica y velocidad de flujo que se usarán subsecuentemente para el cálculo del modelo térmico.

En resumen, los humedales artificiales superficiales pueden operar satisfactoriamente durante el verano en gran parte de las zonas con temperaturas nórdicas. Los modelos termales presentados podrían ser usados para verificar las temperaturas asumidas cuando se dimensiona el humedal con los modelos biológicos de remoción de DBO.

$$T_e = T_a + (T_0 - T_a) \exp \left[ \frac{-U_s (x - x_e)}{\delta \gamma v c_p} \right] \dots \text{Ecuación N}^\circ 36$$

$$T_w = \frac{T_0 + T_e}{2} \dots \text{Ecuación N}^\circ 37$$

**Donde:**

Te: Temperatura promedio del agua, ° C

Tw: Temperatura del agua a la distancia x, ° C (x en metros)

Ta: Temperatura promedio del aire durante el periodo de interés, ° C

T0: Temperatura del agua a la distancia x0, el punto de entrada al segmento de humedal que nos interesa, ° C

Us: Coeficiente de transferencia de calor en la superficie del humedal, W/m<sup>2</sup> °C. 1.5 W/m<sup>2</sup> °C para vegetación pantanosa densa, 10-25 W/m<sup>2</sup> °C para superficies abiertas de agua, valores más altos cuando se tienen condiciones de viento sin nieve que cubra.

δ: Densidad del agua, kg/m<sup>3</sup>

y: Profundidad del agua, m

v: Velocidad de flujo en el humedal, m/s

Cp: Calor específico, 4.215 J/kg °C

**D. Humedal subsuperficial (HSS)**

**Dimensionamiento biológico**

El diseño se basó en el modelo para la remoción de DBO en humedales de flujo subsuperficial empleado por Lara Borrero (1999). Las ecuaciones de humedal superficial (HS) son también modelos válidos para el diseño de humedales

subsuperficial (HSS). La única diferencia es la magnitud de la porosidad ( $n$ ) y de la constante de temperatura  $T_{20}$ . Para humedales HSS, la porosidad varía con el tipo de relleno usado y puede ser medida por los procedimientos ya estipulados. Ver Cuadro N°19

**Cuadro N° 19. Características típicas de los medios para humedales HSS**

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

Fuente: Lara (1999)

En cuanto a la constante de temperatura que se define en la ecuación N° 38, su valor para 21° C es:

$$K_{21} = 1.104 d^{-1} \dots \text{Ecuación N° 38}$$

Así como en los humedales HS, el detritus de las plantas y otras sustancias orgánicas presentes de forma natural, contribuyen a la DBO dentro del sistema HSS. Por lo tanto, estos sistemas tampoco deberían diseñarse para alcanzar niveles de DBO en el efluente  $\leq 5$  mg/l.

El lecho de los humedales HSS contiene en una profundidad típica de alrededor de 0.6m del medio seleccionado. Este, algunas veces, tiene encima una capa de grava fina de 76 a 150 mm de espesor. Esta grava fina sirve para el enraizamiento inicial de la vegetación y se mantiene seca en condiciones normales de operación. Si se selecciona una grava relativamente pequeña,  $<20$ mm para la capa principal donde se realizará el tratamiento, la capa fina superior probablemente no será necesaria, pero entonces, la profundidad total deberá incrementarse ligeramente para asegurar que se tenga una zona seca en la parte superior del lecho.

Las bajas profundidades en humedales HSS, aumentan el potencial de transferencia de oxígeno, pero hacen necesaria un área superficial mayor y se tiene el gran riesgo de la



congelación en climas fríos. La profundidad de lecho de 0.6m requiere una operación especial para inducir la penetración deseada de las raíces hasta el fondo.

### **Dimensionamiento hidráulico.**

Los valores de la pendiente recomendados varían entre 0,01 a 0,02 m/m (Cooper, Job, Green, & Shutes, 1996), el valor de conductividad hidráulica es tomado del Cuadro N°19 para grava media. Para el cálculo de tiempo de retención hidráulica se emplea la siguiente ecuación.

$$t = \frac{A_s * y * n}{Q} \dots \text{Ecuación N° 39}$$

El área superficial, el caudal y el coeficiente hidráulico deben ser divididos por el número de celdas seleccionadas para utilizar siguiente ecuación y para el cálculo de la longitud del humedal se divide el área superficial en el ancho.

$$W = \frac{1}{y} * \left( \frac{Q * A_s}{m * K_s} \right)^{0.5} \dots \text{Ecuación N° 40}$$

#### **Dónde:**

n: porosidad del sistema, fracción decimal

Q: caudal promedio en el sistema, m<sup>3</sup>/d

W: ancho de una celda del humedal, m

A<sub>s</sub>: área superficial del humedal, m<sup>2</sup>

L: longitud del humedal, m

m: pendiente del humedal, % expresado como decimal

y: profundidad del agua en el humedal, m

### **Dimensionamiento térmico**

El cálculo del valor del coeficiente de transferencia de calor (U) se define por la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{y_1}{k_1} + \frac{y_2}{k_2} + \frac{y_3}{k_3} + \frac{y_4}{k_4}} \dots \text{Ecuación N° 41}$$

#### **Donde:**

U: Coeficiente de transferencia de calor a la superficie del lecho del humedal, W/m<sup>2</sup>

K<sub>(1-n)</sub>: conductividad de las capas, W/m ≡ C

Y<sub>(1-n)</sub>: Espesor de las capas, m

El cambio de temperatura ( $T_c$ ) proveniente de las pérdidas y ganancias se encuentran definidas por la combinación de las siguientes ecuaciones:

$$T_c = \frac{q_L}{q_G} \dots \text{Ecuación N}^\circ 42$$

$$T_c = \frac{C_p \delta A_s \gamma n}{(T_o - T_a) U \sigma A_s t} \dots \text{Ecuación N}^\circ 43$$

**Donde:**

$T_c$ : cambio de temperatura en el humedal,  $\equiv C$

$q_G$ : Energía ganada por el agua,  $J/^\circ C$

$C_p$ : capacidad de calor especifico del agua,  $J/kg^* ^\circ C$

$\delta$ : densidad del agua,  $kg/m^3$

$A_s$ : área superficial del humedal,  $m^2$

$\gamma$ : profundidad del agua en el humedal,  $m$

$n$ : porosidad del humedal (espacio disponible para el flujo del agua, el resto está ocupado por el medio (ver Cuadro 20, valores típicos)

$q_L$ : Energía perdida vía conducción a la atmósfera,  $J$

$T_o$ : Temperatura del agua que entra al humedal,  $^\circ C$

$T_a$ : Temperatura promedio del aire durante el periodo considerado.

$U$ : Coeficiente de transferencia de calor a la superficie del lecho del humedal,  $W/m^2$

$\sigma$ : Factor de conversión,  $86.400 \text{ s/d}$

$t$ : tiempo de residencia hidráulica en el humedal,  $d$

Entonces la temperatura del efluente será:

$$T_e = T_o - T_c \dots \text{Ecuación N}^\circ 44$$

La temperatura promedio del agua ( $T_w$ ) en el humedal SFS será:

$$T_w = \frac{T_o + T_e}{2} \dots \text{Ecuación N}^\circ 45$$

Esta temperatura se compara con el valor asumido, cuando el tamaño y el tiempo de retención hidráulica del humedal se calcularon para el modelo de remoción de DBO. Si estas dos temperaturas no están cercanas, se realizan nuevas iteraciones en los cálculos hasta que converjan. En el cuadro N° 20 se presenta los valores de conductividad para materiales que están presentes típicamente en un humedal subsuperficial.

**Cuadro N° 20. Conductividad térmica de los componentes de un humedal Subsuperficial**

Material	k (W/m*≡C)
Aire (sin convección)	0.024
Nieve (nueva o suelta)	0.08
Nieve (de largo tiempo)	0.23
Hielo (a 0 ≡ C)	2.21
Agua (a 0 ≡ C)	0.58
Capa de residuos del humedal	0.05
Grava seca (25% de humedad)	1.5
Grava saturada	2.0
Suelo seco	0.8

Fuente: Lara, 1999

**E. Dimensionamiento del Lombrifiltro**

El diseño del lombrifiltro se basa en la realización de un balance de masas que considera: el número de lombrices que puede cohabitar por unidad de área, cantidad de materia orgánica que éstas son capaces de digerir y la tasa máxima de riego que puede soportar el lecho para evitar la muerte de lombrices por falta de oxígeno, que corresponde a 1m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003)<sup>1</sup>.

De esta manera se considera para el diseño:

$$T_{Riego} = \frac{Q}{A} \leq 1 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{dia} \dots \text{Ecuación N}^\circ 46$$

Conocido el caudal de diseño, y asumiendo una tasa de riego se puede determinar el área requerida para el tratamiento.

**Implementación de los dos sistemas pilotos de biofiltros**

Una vez definidos las dimensiones de los componentes de cada sistema de biofiltro a escala piloto se procederá a su implementación en la localidad de carapongo. El primer sistema de biofiltro (SB1) estará compuesto por un Canal de desbaste, Tanque Septico, seguido por un Humedal de Flujo Subsuperficial Vertical (HFSSV) y un Humedal de Flujo Superficial (FS). Mientras el segundo sistema (SB2), conformado por un Canal de desbaste, Tanque Sedimentador, seguido por un Lombrifiltro y un Humedal de Flujo

<sup>1</sup> Sistema Tohá: una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales. Pp. 73

Superficial, tal como se muestra en la Figura N° 10. Para fines prácticos, ambos sistemas compartirán el mismo canal de desbaste y tanque séptico.

### 3.3.2. Análisis de la calidad del agua residual y determinación de la eficiencia de remoción.

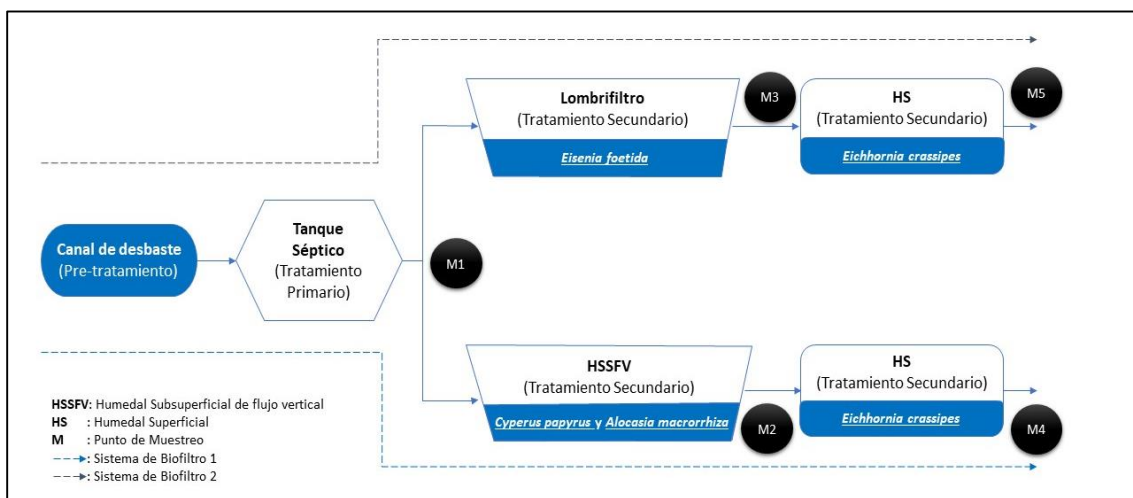
#### Análisis de la calidad del agua residual

Las muestras de agua residual tomadas de los sistemas de biofiltro piloto se analizaron en el laboratorio certificado Servicios Analíticos Generales (SAG), para el análisis de los parámetros fisicoquímicos: SST (mg/l), DBO5 (mg/l), Nitratos, Nitritos (mg/l), Fosfatos (mg/l) y parámetros microbiológicos: Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml) del agua residual, para determinar la concentración del material orgánico presente en las muestras. Ver Cuadro N° 21

#### Monitoreo de la calidad del agua residual

Las muestras se recolectaron para cada sistema de biofiltro, ubicados el primero a la salida del tanque séptico (M<sub>1</sub>), el segundo a la salida del humedal subsuperficial de flujo vertical (M<sub>2</sub>), el tercero a la salida del lombrifiltro (M<sub>3</sub>), el cuarto y quinto a la salida del humedal superficial (M<sub>4</sub> y M<sub>5</sub>). Por otro lado, el monitoreo se realizó con una frecuencia semanal, con un total de 5 repeticiones, tal como se muestra en la figura N° 14.

Figura N° 14. Puntos de monitoreo en los sistemas de biofiltros



Fuente: Elaboración propia

**Cuadro N° 21. Parámetros de evaluación en la caracterización del agua residual**

Parámetros		Unidad	Método de medición	Volumen de muestra	Tipo de envase (*)	Preservante	Numero de muestra				
							M1	M2	M3	M4	M5
Físicos	Temperatura **	°C	SM part 2550 B, 22nd Edition. (desarrollado en campo)	-	-	-	-	-	-	-	
	PH **	adimensional	SM part 4500-H B, 22nd Edition. (desarrollado en campo)	-	-	-	-	-	-	-	
Químicos	Demanda Química de Oxígeno (DBO5)	mg/l	SM 5210 B. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.	1 Litro	P	Llenar hasta el tope sin burbujas. Refrigeración	5	5	5	5	5
	Solidos Suspendidos Totales	mg/l	SM 2540 D. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.	1 Litro	P	Refrigeración	5	5	5	5	5
	Nitritos	mg/l	SM 4500-NO2- B. Nitrogen (Nitrite). Colorimetric Method.	1 Litro	P	Refrigeración	5	5	5	5	5
	Nitratos	mg/l	SM 4500-NO3- B. Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method.	1 Litro	P	Refrigeración	5	5	5	5	5
	Fosfatos	mg/l	SM 4500-P E. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	1 Litro	P	Refrigeración	5	5	5	5	5
Biológicos	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	SM 9221 E. Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.	500 mL	V	Refrigeración	5	5	5	5	5

Fuente: Elaboración propia

**SM:** Standard Methods for the examination of water and wastewater- APHA-AWWA-WEF

(\*) V: Vidrio, P: Plástico

(\*\*) Se recolecto 1 muestra puntual afluente y efluente

## Determinación de la eficiencia de remoción

La eficiencia de remoción de contaminantes se expresa en porcentaje haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Eficiencia de Remoción} = \left[ \frac{(C_a - C_e)}{C_a} \right] \times 100 \dots \text{Ecuación N}^\circ 47$$

### Dónde:

$C_a$ : Concentración afluente

$C_e$ : Concentración efluente

La eficiencia de remoción se enfocó en evaluar la eficiencia entre los dos (02) sistemas de biofiltros para el tratamiento del agua residual de carapongo, el cual incluye el tanque séptico (tratamiento primario) que es fundamental para obtener mejores resultados, por tal motivo la eficiencia de remoción será calculada de la siguiente manera:

Para evaluar la eficiencia de remoción del Sistema de Biofiltro 1 (SB1)

- Entre los puntos M1 y M2, Humedal Subsuperficial
- Entre los puntos M2 y M4, Humedal Superficial

Para evaluar la eficiencia de remoción del Sistema de Biofiltro 2 (SB2)

- Entre los puntos M1 y M3, Lombrifiltro
- Entre los puntos M3 y M5, Humedal Superficial

## Análisis estadístico

Se determinarán las medias, las medianas, los valores máximos y mínimos, coeficiente de variabilidad (CV), desviación estándar de todos los parámetros evaluados. Para la validación estadística se realizó una comparación entre los datos de cada parámetro y punto de muestreo (agua de entrada y salida del sistema), para lo cual se usó el programa Minitab 17 y Excel.

### 3.3.3. Propuesta de diseño del sistema de biofiltros a gran escala

Una vez determinado el sistema más eficiente para el tratamiento de las aguas residuales domesticas se procederá a realizar los cálculos y diseño del sistema para una población de 100 habitantes. Para el diseño del sistema se hará uso del software AutoCAD y ArcGIS.

## CAPITULO IV: AREA DE ESTUDIO

La presente investigación se desarrolló en el terreno de la Sra. María Capcha, ubicado cerca al paradero riel de la Av. Carapongo, margen derecho del rio Rímac, como referencia a la altura del kilómetro 7.5 de la carretera central. Ver Figura N° 15

### 4.1. Ubicación Política

- Sector : Av. Carapongo, a la altura del paradero riel
- Localidad : Carapongo
- Distrito : Lurigancho – Chosica
- Provincia : Lima
- Departamento : Lima

### 4.2. Localización Geográfica

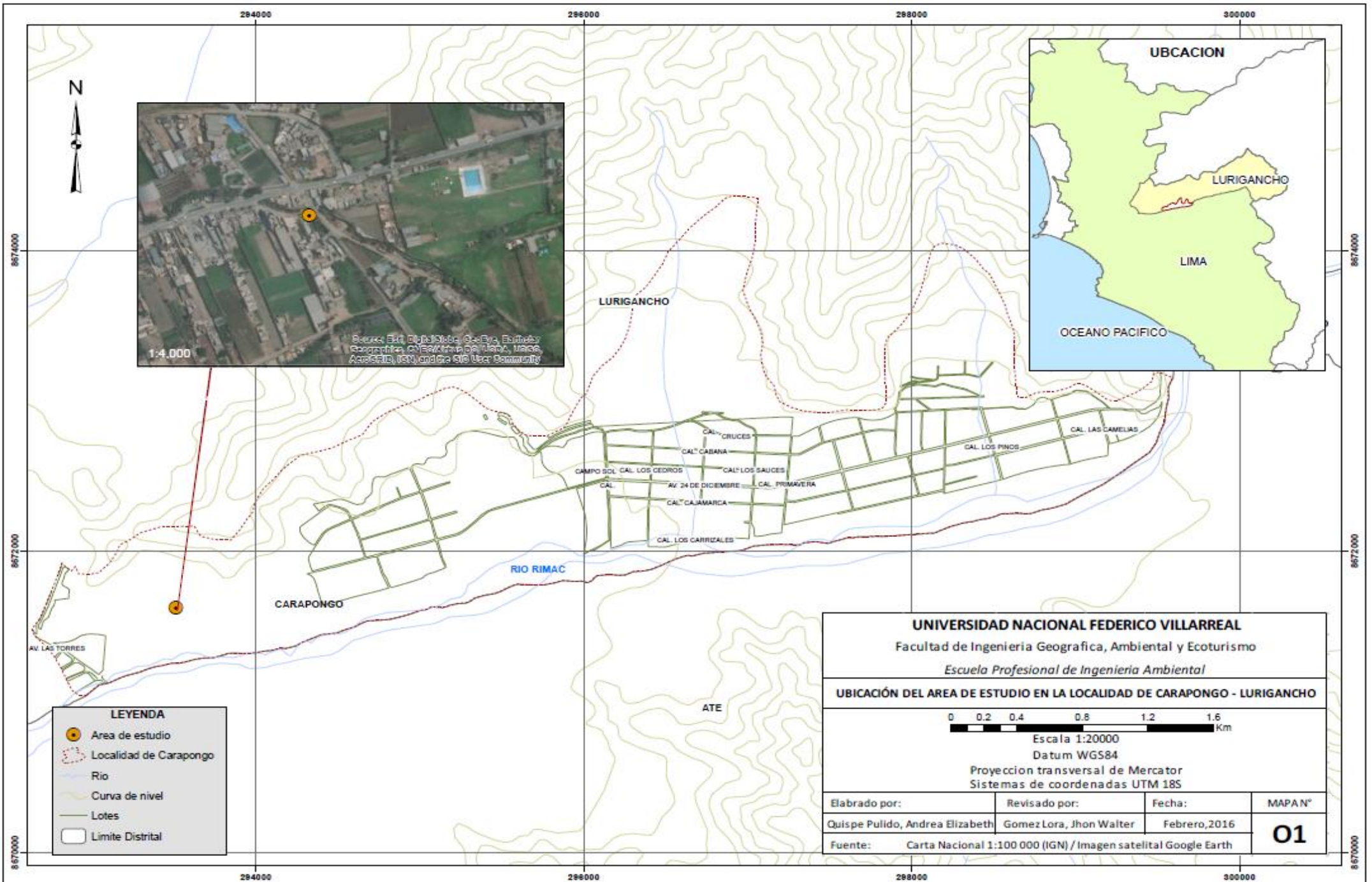
El área de estudio se localiza entre las coordenadas geográficas  $12^{\circ} 00' 36.5''$  y  $12^{\circ} 00' 36.92''$  de latitud sur y  $76^{\circ} 53' 47.36''$  y  $76^{\circ} 53' 47.72''$  de longitud oeste, a una altura de 392 msnm. Ver Mapa N°1

**Figura N° 15. Imagen satelital del área de estudio**



Fuente: Google Earth





**LEYENDA**

- Area de estudio
- Localidad de Carapongo
- Rio
- Curva de nivel
- Lotes
- Limite Distrital

**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL**  
 Facultad de Ingenieria Geografica, Ambiental y Ecoturismo  
 Escuela Profesional de Ingenieria Ambiental

**UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO EN LA LOCALIDAD DE CARAPONGO - LURIGANCHO**

0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6  
 Km

Escala 1:20000  
 Datum WGS84  
 Proyeccion transversal de Mercator  
 Sistemas de coordenadas UTM 18S

Elaborado por:	Revisado por:	Fecha:	MAPA N°
Quispe Pulido, Andrea Elizabeth	Gomez Lora, Jhon Walter	Febrero, 2016	<b>01</b>
Fuente: Carta Nacional 1:100 000 (IGN) / Imagen satelital Google Earth			

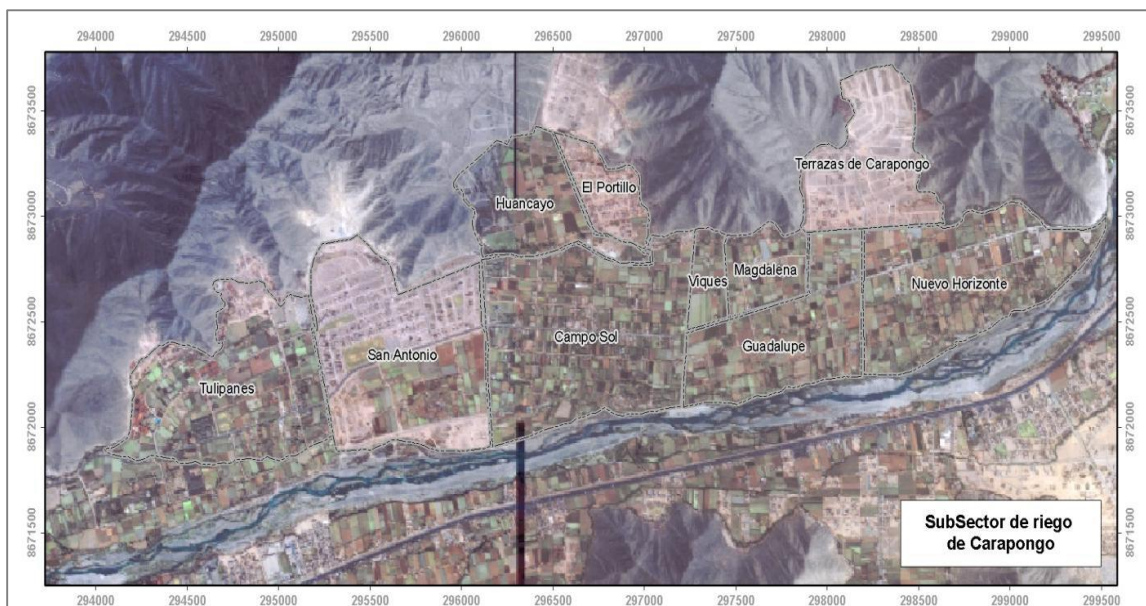


### 4.3. Aspecto socioeconómico

El Distrito de Lurigancho-Chosica, ubicado en el Cono Este, es uno de los distritos más extensos y menos urbanizados de Lima Metropolitana. En 1993, la población era de 100,240 habitantes, mientras que para el 2007 dicho indicador se calculó en 174,274 habitantes. Para el 2015, la población total es de habitantes (INEI, 2017). En el Distrito de Lurigancho-Chosica el 58% de familias son pobres, el 67% de esta población no tiene acceso a servicios de agua potable por red pública y el 40% vive en viviendas construidas con materiales precarios<sup>2</sup>. El suelo agrícola en Lurigancho-Chosica representa cerca de la mitad de la superficie total ocupada del distrito, por consiguiente, una de las actividades más importantes de la zona es la agricultura de hortalizas y crianza de animales menores que ayudan a enfrentar la pobreza urbana.

El Sub-Sector de Riego de Carapongo está ubicado dentro del Distrito de Lurigancho Chosica. Carapongo está conformado por 559 familias, con una población total de 2374 personas<sup>3</sup>. La programación de siembras en Carapongo para la campaña agrícola 2003-2004 es de alrededor de 510 ha, la mayoría de hortalizas. Las áreas agrícolas corresponden a betarraga (97 ha), nabo (88 ha), lechuga (39 ha), apio (38 ha), col nene (31 ha), perejil (23 ha), entre otras<sup>4</sup>.

**Figura N° 16. Mapa de Zonas de Carapongo**



Fuente: MSc Henry Juárez

<sup>2</sup> INEI (Datos del Censo Poblacional de 1993)

<sup>3</sup> INEI (Datos del Censo Poblacional de 1993)

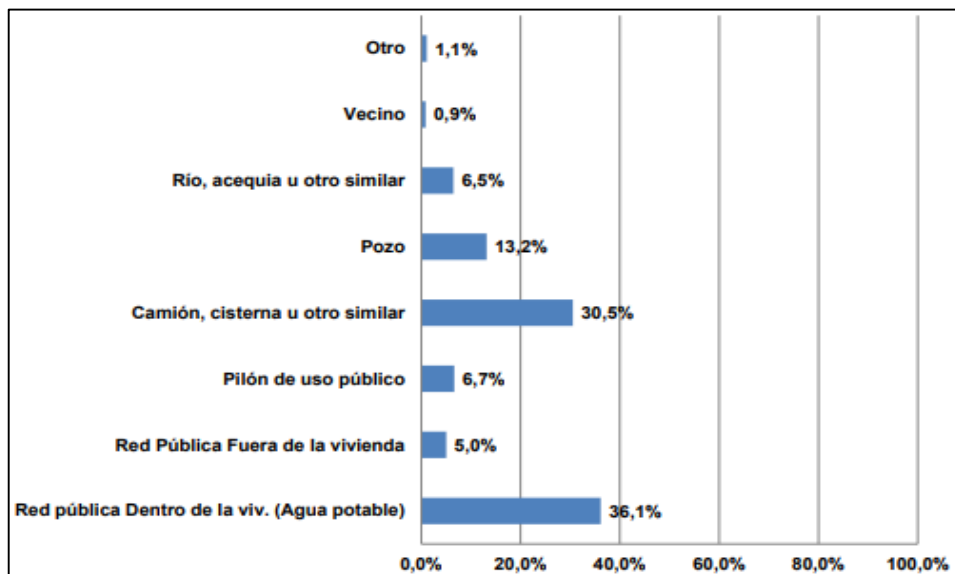
<sup>4</sup> Junta de Usuarios del Rímac y Programa Subsectorial de Irrigación del Ministerio de Agricultura. Tomado de las bases de datos del Software SIRIG2.

Carapongo se encuentra dividida en seis zonas: Los Tulipanes con 68.6 ha; San Antonio con 66.8 ha (actualmente está totalmente urbanizado); Campo Sol con 78.2 ha; Guadalupe, María Magdalena y Viques con 71.7 ha; Portillo (zona urbana) y Huancayo con 56.4 ha; y Nuevo Horizonte con 51.2 ha. Ver Figura N°16

#### 4.4. Servicios básicos en la vivienda

Los valores absolutos del tipo de abastecimiento de agua que tienen las viviendas del Distrito Lurigancho-Chosica, al 2007, se aprecia que del total de las viviendas, 14008 se abastecen de agua a través de red pública dentro de la vivienda, 1946 se abastecen de agua a través de una red pública fuera de la vivienda, 11837 viviendas usan camión, cisterna u otro similar, mientras que 5100 viviendas se abastecen de agua a través de un pozo (CESEL Ingenieros, 2016). En la figura N°17 se aprecia que el 13,2% de las viviendas se abastece de agua a través de pozo; el 36,1% a través de red pública dentro de la vivienda. El 30.5% de las viviendas se abastece a través de camión, cisterna u otro similar.

Figura N° 17. Tipo de abastecimiento de agua, 2007 (Distribución porcentual)

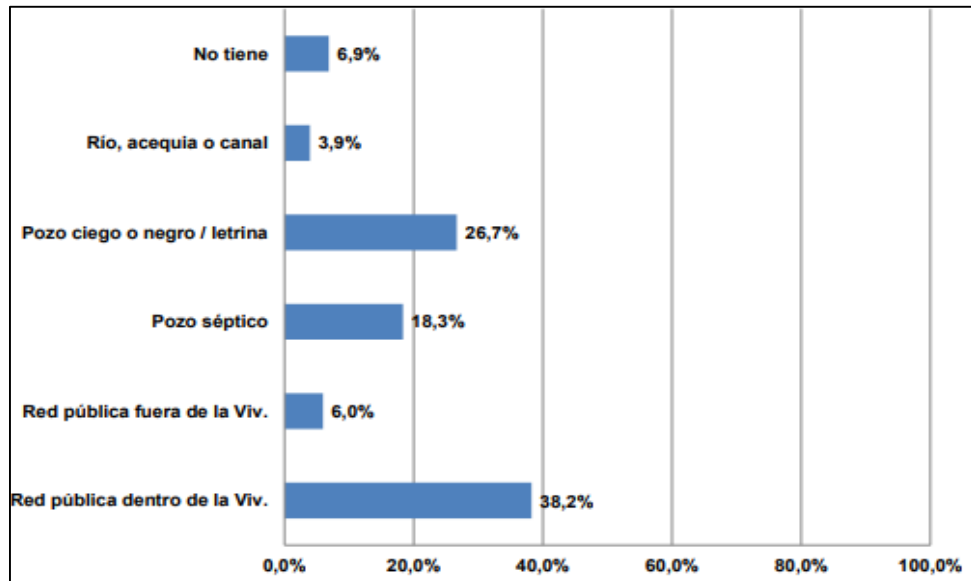


Fuente: INEI - Censos nacionales de población y vivienda, 1993 y 2007

Respecto a los valores absolutos del tipo de servicios higiénicos que tienen las viviendas del Distrito Lurigancho-Chosica, al 2007. Se aprecia que del total de las viviendas, 10337 de estas cuentan con pozo ciego o negro / letrina, 14817 de estas tienen servicios higiénicos conectados a red pública dentro de la vivienda; 2310 viviendas tienen

servicios higiénicos conectados a red pública fuera de la vivienda; mientras que 2662 viviendas no cuentan con ningún tipo de servicios higiénicos (CESEL Ingenieros, 2016). En el figura N°18 se aprecia que del total de las viviendas, 26,7% de estas tienen pozo ciego o negro / letrina; 38,2% viviendas tienen servicios higiénicos conectados a red pública dentro de la vivienda; mientras que 18,3% viviendas cuentan con pozo séptico como servicios higiénicos y el 6,9 no cuenta con servicios higiénicos.

**Figura N° 18. Tipo de servicios higiénicos, 2007 (Distribución porcentual)**



Fuente: INEI - Censos nacionales de población y vivienda, 1993 y 2007

#### 4.5. Planta de tratamiento de agua residual

##### **PTAR Carapongo**

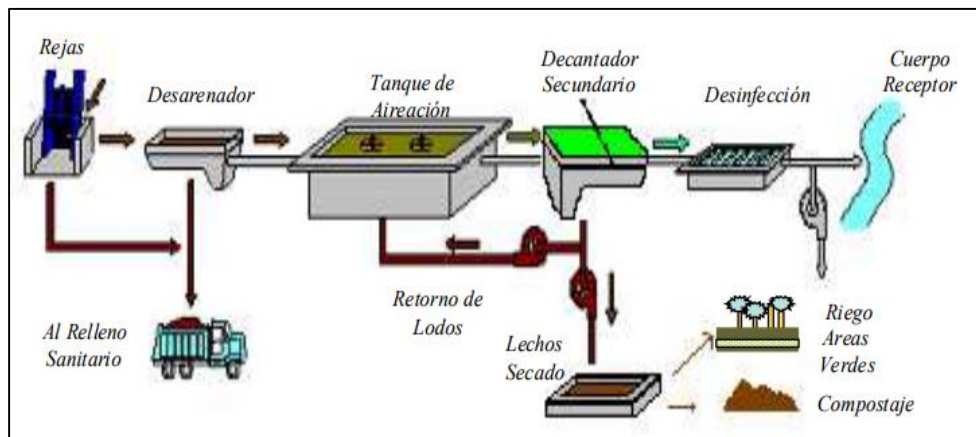
Con la Cooperación del Gobierno de Japón el año 1988, se construyó la PTAR Carapongo cuya tecnología de tratamiento fueron lagunas aireadas, diseñada para tratar un caudal de 140 l/s de desagües de Chosica Chaclacayo y poblaciones ribereñas. Debido al incremento del caudal se reconvirtió la planta el año 2002 a un sistema de tratamiento anaerobio-aerobio con un caudal de diseño de 500 l/s. En el año 2012, mediante una Cooperación Financiera No Reembolsable del Gobierno Japonés, se implementó el “Proyecto para la introducción de Energía Limpia por sistema de Generación de electricidad solar para la PTAR Carapongo”, que consiste en la implementación de Paneles Solares (SEDAPAL, 2017).

La PTAR Carapongo tiene como componentes en el Sistema de pretratamiento: rejas y desarenadores, en el Sistema de Tratamiento: laguna anaerobia, laguna secundaria aireada y sedimentadores, asimismo un sistema de desinfección y energía Limpia en base a paneles Solares (que abastece parte de la Energía Eléctrica que requiere la Planta)

**PTAR San Antonio de Carapongo**

Construida por la Urbanizadora Carozzi, inversiones el Pino SAC en Joint Venture y transferida al ERDF en mayo 2004. Las Aguas residuales provenientes de las Urb. San Antonio de Carapongo y las terrazas de Caraponguillo en Lurigancho-Lima (SEDAPAL, 2017). La PTAR San Antonio de Carapongo funciona mediante un sistema de tratamiento Lodos activados, el cual tiene como componentes: Cámara de rejas, desarenadores, Tanques de aireación, Decantadores secundarios, Cámara de desinfección y Lechos de secado. Ver Figura N° 19

**Figura N° 19. Sistema de tratamiento Lodos activados, PTAR San Antonio de Carapongo**



Fuente: SEDAPAL

En el siguiente cuadro N° 22 se muestra el caudal de la PTAR San Antonio de Carapongo y la PTAR Carapongo del periodo 2004-2011 (INEI, 2013).

**Cuadro N° 22. Caudal en plantas de tratamiento de agua residual (l/s)**

Planta de tratamiento de aguas residuales	Tecnología aplicada	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
San Antonio de Carapongo	Lodos activados	16	12	13	17	18	16	20	18
Carapongo	Sistemas anaerobios-aerobios	534	565	510	489	460	423	421	448

Fuente: INEI, 2013

## CAPITULO V: RESULTADOS

### 5.1. Diseño e implementación de los dos sistemas de biofiltro

#### Determinación del caudal a partir del agua de abastecimiento

Para realizar los cálculos de los distintos caudales se toma en cuenta a los datos obtenidos de los registros de abastecimiento, porque al realizar los aforos se notó caudales pequeños comparados con el consumo de agua de la población, por ello, para trabajar dentro del rango de seguridad se plantea que un 85% del agua de abastecimiento corresponde al caudal de vertidos. En el siguiente cuadro N° 23 se presenta las ecuaciones y su respectivo resultado.

**Cuadro N° 23. Resumen de cálculos de caudal**

Descripción	Formula	Calculo	Valor	Unidad
Población			10	habitantes
Dotación de agua			12300	lt/hab
			41	lt/hab.día
<b>Características de caudales</b>				
Caudal medio diario	$Q_{med,d} (m^3 / d) = \frac{\beta \times P \times D}{1000}$	$Q_{med,d} (m^3 / d) = \frac{0.85 \times 10 \times 41}{1000}$	0.349	m <sup>3</sup> /d
Caudal medio horario	$Q_{med,h} (m^3 / h) = \frac{Q_{med,d} (m^3 / d)}{24}$	$Q_{med,h} (m^3 / h) = \frac{0.349 m^3 / d}{24}$	0.015	m <sup>3</sup> /h
Coefficiente punta		Se tomó el valor de 1.75 como coeficiente punta diario	1.75	
Caudal punta diario	$Q_{punta,d} (m^3 / d) = Q_{med,d} \times coef\ punta$	$Q_{punta,d} (m^3 / d) = 0.349 \times 1.75$	0.61	m <sup>3</sup> /d
Caudal máximo diario	$Q_{max,d} (m^3 / d) = Q_{punta,d} \times 2$	$Q_{max,d} (m^3 / d) = 0.61 \times 2$	1.22	m <sup>3</sup> /d
Caudal máximo horario	$Q_{max,h} (m^3 / h) = \frac{Q_{max,d} (m^3 / d)}{24}$	$Q_{max,h} (m^3 / h) = \frac{1.22}{24}$	0.05	m <sup>3</sup> /h
Caudal máximo	$Q_{max,s} (m^3 / s) = \frac{Q_{max,h} (m^3 / h)}{3600}$	$Q_{max,s} (m^3 / s) = \frac{0.05}{3600}$	0.000014	m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo instantáneo	$Q_{max,i} (m^3 / s) = Q_{med,d} \times 10$	$Q_{max,i} (m^3 / s) = 0.349 \times 10$	0.00004	m <sup>3</sup> /s
Caudal mínimo diario	$Q_{min,d} (m^3 / d) = Q_{med,d} \times 0.30$	$Q_{min,d} (m^3 / d) = 0.349 \times 0.30$	0.105	m <sup>3</sup> /d

Fuente: Elaboración propia

## Diseño de los sistemas de biofiltros

El sistema de Biofiltro SB1 está compuesto se encuentra compuesto por un Canal de desbaste (Pre tratamiento), Tanque Séptico (Tratamiento primario), seguido por un Humedal de Flujo Subsuperficial Vertical (HFSSV) y un Humedal de Flujo Superficial (FS), ambos como tratamiento secundario. Por otro lado, el sistema de Biofiltro SB2 está conformado por un Canal de desbaste (Pre tratamiento), Tanque Séptico (Tratamiento primario), seguido por un Lombrifiltro y un Humedal de Flujo Superficial. Como resultado de los cálculos de cada componente de los sistemas de biofiltro se diseñaron los planos N°1 y N°2.

### A. Pretratamiento

A continuación, se realizarán los cálculos para el dimensionamiento de la zona de aliviadero zona por donde se vierte el exceso de caudal, otra zona en donde se sitúa una reja de gruesos, y finalmente un desarenador.

#### Aliviadero de entrada

El caudal de lluvia se va a suponer de  $0,1\text{m}^3/\text{s}$  ya que no se cuenta con registros estadísticos de precipitaciones. El caudal que debe evacuar el aliviadero se calcula con la ecuación N°6:

$$Q_v = 0.1 \text{ m}^3/\text{s} - 0.00004\text{m}^3/\text{s} = 0.099 \text{ m}^3/\text{s}$$

Considerando una velocidad del agua de  $0.8 \text{ m/s}$  cuando ocurren estos dos caudales y un ancho de canal de  $0.3 \text{ m}$ , de esta forma se obtienen la altura del agua caudal máximo instantáneo ( $P_m$ ) de la ecuación N° 8 y la altura del agua caudal de lluvia ( $P_{ll}$ ) de la ecuación N° 9:

$$P(m) = \frac{0.00004 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 \text{ m/s} \times 0.3 \text{ m}} = 0.00017 \text{ m}$$

$$P(ll) = \frac{0.1 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 \text{ m/s} \times 0.3 \text{ m}} = 0.42 \text{ m}$$

En este sentido la altura de la lámina de agua sobre el vertedero resulta de la ecuación N°10:

$$H = 0.42\text{m} - 0.00017\text{m} = 0.419 \text{ m}$$

Reemplazo el valor de H en la ecuación N° 7:

$$Q_{m.l.vert} = 1.83 \times (1 - (0.2 \times 0.419)) \times 0.419^{1.5} = 0.455 \text{ m}^3/\text{m.s}$$

La longitud del vertedero la obtengo al dividir el caudal del vertido, entre el caudal por metro lineal de vertedero. Ver Ecuación N° 11:

$$L = \frac{0.099 \text{ m}^3/\text{s}}{0.455 \text{ m}^3/\text{m.s}} = 0.22 \text{ m}$$

Para trabajar por el lado de la seguridad utilizo un valor de L de 0.25m.

### Canal de desbaste

Se dimensionará una reja con barrotes de 15 mm de ancho, 50 mm de luz entre barrotes, y un grado de colmatación del 30%. A partir del ancho de canal de 0,3 m, se calculará el ancho útil de paso. Ver ecuación N° 12

$$W_u = (0.3\text{m} - 5 \times 0.015\text{m}) \times \left(1 - \frac{30}{100}\right) = 0.158 \text{ m}$$

Se calcula el calado necesario para el grado de colmatación establecido, el caudal máximo diario y una velocidad de paso de 0.3 m/s, con la ecuación N° 13.

$$h = \frac{0.000014 \text{ m}^3/\text{s}}{0.3 \text{ m/s}} \times \frac{1}{0.158 \text{ m}} = 0.0003\text{m}$$

Se considera un resguardo de 0.2m, con lo cual el calado es 0.2m

La longitud del canal considerando un tiempo hidráulico de 5s en este sistema, empleando la ecuación N° 14 es:

$$L = 5\text{s} \times 0.3\text{m/s} = 1.5 \text{ m}$$

### Diseño Desarenador

Para el diseño se utilizó el valor calculado de ancho del desbaste que es de 0.3m. Como ya se ha calculado el ancho necesario para el desbaste se partirá de este valor para dimensionar la zona de desarenado, utilizando una velocidad del agua adecuada para sedimentación de arenas de 0.3 m/s, y un tiempo de retención de 60 s.

A partir de la relación largo-ancho se determina el largo del canal. Ver ecuación N° 15:

$$L = 0.3 \times 2 = 0.6 \text{ m}$$



La sección transversal del canal, empleando la ecuación N° 18 es:

$$A = \frac{0.000014 \text{ m}^3/\text{s}}{0.3 \text{ m/s}} = 0.00005 \text{ m}^2$$

El calado del canal, empleando la ecuación N° 19 es:

$$h = \frac{0.00005 \text{ m}^2}{0.3 \text{ m}} = 0.0001 \text{ m}$$

Si el valor obtenido de altura del canal para la zona de desarenado es mayor que el calado obtenido para la zona de desbaste de gruesos se toma como altura definitiva del canal el valor de la zona de desarenado. En este caso el valor de la altura de desarenado es menor por lo que se toma el valor del calado del canal de desbaste como el calado del diseño esto es:

$$h = 0.2 \text{ m}$$

A continuación, se verifica la carga superficial. Ver ecuación N° 20:

$$C_s = \frac{0.05 \text{ m}^3/\text{h}}{0.6\text{m} \times 0.3\text{m}} = 0.33 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

Ya que la carga superficial es menor de 70 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>hora (a Q máx.), se acepta el dimensionamiento, de lo contrario, tendríamos que aumentar la longitud del canal.

En el cuadro N° 24 se muestran los cálculos de manera resumida para las dimensiones del pretratamiento.



**Cuadro N° 24. Resumen de dimensiones del pretratamiento**

Descripción	Formula	Calculo	Valor	Unidad
Población			10	habitantes
Dotación de agua			12300	lt/mes
			41	lt/hab.día
<b>Aliviadero</b>				
Caudal de lluvia			0.1	m <sup>3</sup> /s
Caudal del vertido	$Q_v = Q_{lluv} - Q_{max,i}$	$Q_v = 0.1 \text{ m}^3/\text{s} - 0.00004\text{m}^3/\text{s}$	0.099	m <sup>3</sup> /s
Velocidad del agua			0.8	m/s
Ancho del canal			0.3	m
Altura (P) para caudal máx. instantáneo	$P(m) = \frac{Q_m}{vel \times ancho}$	$P(m) = \frac{0.00004 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 \text{ m/s} \times 0.3 \text{ m}}$	0.000017	m
Altura (P) para lluvia	$P(ll) = \frac{Q_{ll}}{vel \times ancho}$	$P(ll) = \frac{0.1 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 \text{ m/s} \times 0.3 \text{ m}}$	0.42	m
Altura de la lámina de agua H	$H = P_{ll} - P_m$	$H = 0.42\text{m} - 0.00017\text{m}$	0.419	m
Q por metro lineal para un valor de H	$Q_{m.l.vert} = 1.83 \times (1 - (0.2 \times H)) \times H^{1.5}$	$Q_{m.l.vert} = 1.83 \times (1 - (0.2 \times 0.419)) \times 0.419^{1.5}$	0.455	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s
Longitud vertedero	$L = \frac{Q_v}{Q_{m.l.vert}}$	$L = \frac{0.099 \text{ m}^3/\text{s}}{0.455 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}}$	0.25	m
<b>Canal de desbaste</b>				
Ancho barrotes		Ver cuadro N° 17	15	mm
Luz entre barrotes		Ver cuadro N° 17	50	mm
Colmatación		Ver cuadro N° 17	30	%
Número de barrotes			5	

Van... //

**Vienen //...**

Descripción	Formula	Calculo	Valor	Unidad
Ancho útil de paso (Wu)	$W_u = (A_c - nA_b)x \left(1 - \frac{G}{100}\right)$	$W_u = (0.3m - 5 x 0.015m)x \left(1 - \frac{30}{100}\right)$	0.158	m
Velocidad de paso		Ver cuadro N° 17	0.3	m <sup>3</sup> /s
Calado (h)	$h = \frac{Q}{v} x \frac{1}{W_u}$	$h = \frac{0.000014 \text{ m}^3/\text{s}}{0.3 \text{ m/s}} x \frac{1}{0.158 \text{ m}}$	0.2	m
Tiempo de retención			5	s
Longitud del canal	$L = T_H x v$	$L = 5s x 0.3m/s$	1.5	m
<b>Desarenador</b>				
Tiempo de retención			60	s
Ancho			0.3	m
Largo del canal	$L = T_H x V_H$	$L = 0.3 x 2$	0.6	m
Relación Largo - Ancho		Ver cuadro N° 18	2	
Sección transversal	$A = \frac{Q_{max}}{V_H}$	$A = \frac{0.000014 \text{ m}^3/\text{s}}{0.3 \text{ m/s}}$	0.00005	m <sup>2</sup>
Calado (h)	$h = \frac{A}{W}$	= calado del canal de desbaste (resultado menor)	0.2	m
Carga superficial	$C_s = \frac{Q}{L x W}$	$C_s = \frac{0.05 \text{ m}^3/\text{h}}{0.6m x 0.3m}$	0.33	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h

Fuente: Elaboración propia

## **B. Tanque Séptico**

### **Tiempo de retención**

El caudal de aporte unitario de aguas residuales calculado anteriormente es 34.9 lt/hab.día, la población muestra servida es de 10 personas. Ver Ecuación N° 21

$$\mathbf{PR = 1.5 - 0.3 \times \text{Log} (10 \times 34.9) = 0.74 \text{ días} = 17.69 \text{ horas}}$$

### **Volumen del tanque séptico**

Se calcula mediante la ecuación N° 22.

$$\mathbf{V_s = 10^{-3} (10 \times 34.9) \times 0.74 = 257 \text{ lt} = 0.257 \text{ m}^3}$$

### **Volumen de digestión y almacenamiento de lodos**

En este caso, se considera el tiempo de remoción de lodos de 1 año. Ver Ecuación N° 23

$$\mathbf{V_d = 70 \times 10^{-3} \times 10 \times 1 = 700 \text{ lt} = 0.7 \text{ m}^3}$$

### **Dimensiones**

a) Profundidad máxima de espuma sumergida ( $H_e$ , en m)

Considerando una relación de largo ancho 2:1, se determina el área superficial del tanque séptico, siendo en este caso 0.98 m<sup>2</sup>. Ver Ecuación N° 24

$$\mathbf{H_e = 0.7/0.98 = 0.71 \text{ m}}$$

b) Profundidad de espacio libre ( $H_s$ , en m) y comprende la superficie libre de espuma sumergida y la profundidad libre de lodos.

$$\mathbf{H_s = 0.257/0.98 = 0.26 \text{ m}}$$

c) La profundidad libre de espuma sumergida ( $H_{es}$ ), el cual debe tener un valor mínimo de 0.1 m.

$$\mathbf{H_{es} = 0.1}$$

d) La profundidad libre de lodo. Ver Ecuación N° 25

$$\mathbf{H_o = 0.82 - 0.26 (0.98) = 0.57 \text{ m}}$$

e) La profundidad de espacio libre ( $H_l$ ), de la ecuación N° 26, se elige la mayor profundidad.

$$H1 = 0.1 + 0.57$$

$$H1 = 0.26$$

En este caso, dado que el proyecto tendrá un tiempo de vida menor a un año, se considerará el menor valor, 0.26 m.

f) Profundidad de digestión y almacenamiento de lodos. Ver Ecuación N° 27

$$Hd = 0.7 / 0.98 = 0.71 \text{ m}$$

g) La profundidad total efectiva. Ver Ecuación N° 28

$$\text{Profundidad total efectiva} = 0.71 + 0.26 + 0.71 = 1.68$$

h) En todo tanque séptico habrá una cámara de aire de por lo menos 0,3 m de altura libre entre el nivel superior de las natas espumas y la parte inferior de la losa de techo. Ver Ecuación N° 29

$$\text{Altura cámara séptica} = 1.68 + 0.3 = 1.98$$

i) Volumen ocupado por el aire o gases en la cámara séptica. Ver Ecuación N° 30

$$V_L = 0.98 \times 0.3 = 0.294$$

j) Volumen total de la cámara séptica. Ver Ecuación N° 31

$$V_T = 0.294 + 0.7 + 0.257 = 1.251 \text{ m}^3$$

En el cuadro N° 25 se presentan los cálculos de manera resumida para las dimensiones del tanque séptico.

**Cuadro N° 25. Resumen de dimensiones del tanque séptico**

Descripción	Formula	Calculo	Valor	Unidad
Población (P)			10	habitantes
Dotación de agua			12300	lt/mes
			41	lt/hab.día
Coficiente de retorno de alcantarillado			85	%
Caudal de aporte unitario de aguas residuales (q)	$Q_{med,d} (m^3 /d) = \frac{\beta \times P \times D}{1000}$ Caudal máximo permisible 20 m <sup>3</sup> /día	$Q_{med,d} (m^3 /d) = \frac{0.85 \times 10 \times 41}{1000}$	0.349	m <sup>3</sup> /d
Intervalo deseado en años de remoción de lodos (N)			1	Año
Número de cámaras	Cuando el volumen es mayor a 5m <sup>3</sup> se plantea hacer 2-3 cámaras	Características DIGESA	1	
Borde libre		Características DIGESA	0.3	m
Relación largo / ancho		Características DIGESA	2:1	
Longitud de la cámara séptica			1.4	m
Ancho de la cámara séptica			0.7	m
Área horizontal de la cámara séptica	A = L x B	A = 1.4 x 0.7	0.98	m <sup>2</sup>
Pendiente de tanque		Características DIGESA	2% hacia ingreso	
Tiempo de retención (TR)	PR = 1.5 – 0.3 x Log (P x q) Mínimo 6 horas (0,25 días)	PR = 1.5 – 0.3 x Log (10 x 34.9)	0.74	días
			17.69	horas
Volumen del tanque séptico (Vs)	V <sub>s</sub> = 10 <sup>-3</sup> (P x q) x PR	V <sub>s</sub> = 10 <sup>-3</sup> (10 x 34.9) x 0.74	0.257	m <sup>3</sup>
			257	litros
Volumen de digestión y almacenamiento de	V <sub>d</sub> = 70 x 10 <sup>-3</sup> P x N	V <sub>d</sub> = 70 x 10 <sup>-3</sup> x 10 x 1	0.7	m <sup>3</sup>

Van... //

*Vienen //...*

Descripción	Formula	Calculo	Valor	Unidad
lodos (Vd)			700	litros
Volumen ocupado por el aire o gases en la cámara séptica (V <sub>L</sub> )	V <sub>L</sub> = área x borde libre	V <sub>L</sub> = 0.98 x 0.3	0.294	m <sup>3</sup>
			294	litros
Volumen total de la cámara séptica (V <sub>T</sub> )	V <sub>T</sub> = V <sub>L</sub> + V <sub>s</sub> + V <sub>d</sub>	V <sub>T</sub> = 0.294 + 0.7 + 0.257	1.251	m <sup>3</sup>
			1251	litros
<b>Dimensiones</b>				
Profundidad máxima de espuma sumergida (He)	He = 0.7/A	He = 0.7/0.98	0.71	m
Profundidad de espacio libre (Hs)	Hs=Vs/A	Hs =0.257/0.98	0.26	m
Profundidad libre de espuma sumergida (Hes)		Hes = 0.1	0.1	m
Profundidad libre de lodo (Ho)	Ho = 0.82 – 0.26(A)	Ho = 0.82 – 0.26 (0.98)	0.57	m
Profundidad de espacio libre (H1)	H1 = Hes + Ho ; H1= Hs	H1 = 0.1+ 0.57 H1= 0.26	0.26	m
Profundidad de digestión y almacenamiento de lodos (Hd)	Hd=Vd/A	Hd=0.7/0.98 = 0.71 m	0.71	m
Profundidad total efectiva	Profundidad total efectiva = Hd + H1 + He	Profundidad total efectiva = 0.71 + 0.26 + 0.71	1.68	m
Altura cámara séptica	Altura cámara séptica = profundidad total efectiva + 0.3	Altura cámara séptica = 1.68 + 0.3	1.98	m
Para el dimensionamiento de los compartimientos se considerara un volumen del 60 % en el primer y 40% en el segundo, esto permite que el primer compartimiento haya una mayor parte de los procesos de sedimentación y digestión, en cuyo caso solo pasaran al segundo algunos materiales en suspensión (fuente (CEPIS).				

Fuente: Elaboración propia

### C. Humedal superficial (HS)

#### Dimensionamiento biológico

Los datos de DBO5 y SST se tomaron del cuadro de composición típica del agua residual doméstica sin tratar, concentración media, del libro Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento y Reutilización (Metcalf & E., 2004). Respecto al caudal para las dimensiones del humedal piloto se consideró solo el 5% del caudal medio diario ( $0.35 \text{ m}^3/\text{d}$ ) calculado anteriormente.

Los requerimientos de entrada para la Remoción de DBO son:  $T \text{ } ^\circ\text{C} = 21^\circ\text{C}$ ,  $\text{DBO5} = 190 \text{ mg/l}$ ,  $\text{SST} = 210 \text{ mg/l}$ ,  $Q = 0.018 \text{ m}^3/\text{d}$ , Profundidad ( $y$ ) =  $0.25 \text{ m}$  y Porosidad ( $n$ ) =  $0.65$

Primero se calcula el valor de  $K_T$ , para ello asumimos una temperatura de  $21^\circ\text{C}$ . ver Ecuación N° 32.

$$K_{21} = 0.678 \times 1.06^{(21-20)} = 0.719 \text{ d}^{-1}$$

Para determinar el área superficial del humedal ( $A_S$ ) se calcula por medio de la siguiente ecuación. Ver Ecuación N° 34.

$$A_S = \frac{0.018 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times (\ln 190 - \ln 15)}{0.719 \text{ d}^{-1} \times 0.25 \text{ m} \times 0.65} = 0.391 \text{ m}^2$$

#### Dimensionamiento hidráulico

Tiempo de retención hidráulica. Ver Ecuación N° 35.

$$TRH = \frac{0.391 \text{ m}^2 \times 0.25 \text{ m} \times 0.65}{0.018 \text{ m}^3/\text{d}} = 3.5 \text{ d}$$

Asumiendo que no hay formación de hielo se determina la temperatura del agua. Asumir una relación L: W de 1:1

$$A_S = 0.391 \text{ m}^2$$

$$W = 0.63 \text{ m}; L = 0.63 \text{ m}$$

#### Dimensionamiento térmico

Calculo de la velocidad

$$v = \frac{0.63 \text{ m}}{3.5 \text{ d} \times 86400 \text{ s/d}} = 2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

Mediante ecuación N° 36 y 37.

$$T_e = 17^{\circ}\text{C} + (22 - 17)^{\circ}\text{C} \exp \left[ \frac{-1.5 \times 0.63\text{m}}{1000 \times 0.25\text{m} \times 2 \times 10^{-6}\text{m/s} \times 4215} \right] = 20.2^{\circ}\text{C}$$

$$T_w = \frac{22+20.2}{2} = 21.1^{\circ}\text{C}$$

Así que la temperatura asumida de 21°C es válida y, por tanto, el área determinada también.

En el cuadro N° 26 se presentan los cálculos de manera resumida para las dimensiones del Humedal superficial.



**Cuadro N° 26. Resumen de dimensiones del Humedal superficial (HS)**

Datos de entrada	Fórmula	Calculo	Valor	Unidad
Población (P)			10	habitantes
Caudal (5% de 0.35 m³/d)			0.018	m³/d
DBO afluente			190	mg/l
DBO efluente			15	mg/l
SST entrada			210	mg/l
Vegetación			<i>Eichhornia crassipes</i>	
Profundidad			0.25	m
Porosidad			0.65	m
Temperatura media del AR			21	°C
Temperatura mínima del AR			16	°C
<b>Dimensionamiento biológico</b>				
K <sub>21</sub>	$K_T = 0.678 d^{-1} x 1.06^{T-20}$	$K_{21} = 0.678 x 1.06^{(21-20)}$	0.719	d <sup>-1</sup>
Área superficial del humedal (A <sub>S</sub> )	$A_S = \frac{Q * (lnC_o - lnC_e)}{K_T * y * n}$	$A_S = \frac{0.018 \frac{m^3}{d} x (ln 190 - ln 15)}{0.719 d^{-1} x 0.25m x 0.65}$	0.391	m <sup>2</sup>
<b>Dimensionamiento hidráulico</b>				
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	$TRH = \frac{A_S * y * n}{Q}$	$TRH = \frac{0.391m^2 x 0.25m x 0.65}{0.018 m^3/d}$	3.5	d
Largo (L)			0.63	m
Ancho (W)			0.63	m
<b>Dimensionamiento térmico</b>				
Velocidad		$v = \frac{0.63 m}{3.5 d x 86400 s/d}$	2x10 <sup>-6</sup>	m/s

Van... //

**Vienen //...**

Datos de entrada	Fórmula	Calculo	Valor	Unidad
Temperatura del agua a la distancia $x_0$ , entrada ( $T_0$ )			22	°C
Temperatura promedio del aire durante el periodo considerado ( $T_a$ )			17	°C
Temperatura promedio del agua ( $T_e$ )	$T_e = T_a + (T_0 - T_a) \exp \left[ \frac{-U_s (x - x_e)}{\delta \gamma v C_p} \right]$	$T_e = 17^\circ C + (22 - 17)^\circ C$ $* \exp \left[ \frac{-1.5 \times 0.63m}{1000 \times 0.25m \times 2 \times 10^{-6}m/s \times 4215} \right]$	20.2	°C
Temperatura del agua a la distancia $x$ ( $T_w$ )	$T_w = \frac{T_0 + T_e}{2}$	$T_w = \frac{22 + 20.2}{2}$	21.1	°C

Fuente: Elaboración propia

## D. Humedal subsuperficial (HSS)

### Dimensionamiento biológico

Los datos de DBO<sub>5</sub> y SST se tomaron del cuadro de composición típica del agua residual doméstica sin tratar, concentración media, del libro Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento y Reutilización (Metcalf & E., 2004). Respecto al caudal para las dimensiones del humedal piloto se consideró solo el 5% del caudal medio diario (0.35 m<sup>3</sup>/d) calculado anteriormente.

Requerimientos de entrada para la Remoción de DBO: T °C = 21°C, DBO<sub>5</sub> = 190 mg/l, SST = 210 mg/l, Q = 0.018 m<sup>3</sup>/d, Profundidad (y) = 0.4 m y Porosidad (n) = 0.36

Primero se calcula el valor de KT, para ello asumimos una temperatura de 21° C. ver Ecuación N° 38.

$$K_{21} = 1.104 \times 1.06^{(21-20)} = 1.170 \text{ d}^{-1}$$

Para determinar el área superficial del humedal (AS) se calcula por medio de la siguiente ecuación. Ver Ecuación N° 34.

$$A_s = \frac{0.018 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times (\ln 190 - \ln 15)}{1.170 \text{ d}^{-1} \times 0.4 \text{ m} \times 0.36} = 0.27 \text{ m}^2$$

Ahora determinamos la relación largo: ancho (L: W) de 2:1

$$A_s = 0.27 \text{ m}^2$$

$$W = 0.37 \text{ m}; L = 0.73 \text{ m}$$

### Dimensionamiento hidráulico

Tiempo de retención hidráulica. Ver Ecuación N° 39.

$$TRH = \frac{0.27 \text{ m}^2 \times 0.4 \text{ m} \times 0.36}{0.018 \text{ m}^3/\text{d}} = 2.16 \text{ d}$$

### Dimensionamiento térmico

Para el cálculo del valor del coeficiente de transferencia de calor (U), asumimos una capa de residuos de vegetación de 10 cm, una capa de grava seca (80mm) y una capa de grava saturada de 40 cm que cubre el humedal. Los otros datos se obtienen del cuadro N° 20 y se emplea la ecuación N° 41.

$$U = \frac{1}{\frac{0.1}{0.05} + \frac{0.08}{1.5} + \frac{0.4}{2}} = 0.44 \text{ W/m}^2$$

Cálculo del cambio de temperatura en el humedal. Ver Ecuación N° 43.

$$T_c = \frac{4215 \times 1000 \times 0.27 \times 0.4 \times 0.36}{(22 - 17) 0.44 \times 86400 \times 0.27 \times 2.16} = 1.48 \text{ }^\circ\text{C}$$

Entonces la temperatura del efluente empleando ecuación N° 44 será.

$$T_e = 22 - 1.48 = 20.52 \text{ }^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, la temperatura promedio del agua ( $T_w$ ) en el humedal SFS empleando la ecuación N° 45 será:

$$T_w = \frac{22 + 20.52}{2} = 21.26 \text{ }^\circ\text{C}$$

Así que la temperatura de 21° C asumida es correcta y el dimensionamiento del humedal también. En el cuadro N° 28 se muestran los cálculos de manera resumida para las dimensiones del Humedal subsuperficial.

### E. Dimensionamiento del Lombrifiltro

Para fines de comparación, se ha considerado la misma dimensión del área del humedal subsuperficial 0.27 m<sup>2</sup> para un caudal de 0.018 m<sup>3</sup>. Ver Cuadro N° 27.

De esta manera se considera para el diseño la ecuación N° 46:

$$T_{Riego} = \frac{Q}{A} = \frac{0.018}{0.27} = 0.07 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia} \leq 1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$$

**Cuadro N° 27. Resumen de dimensiones del lombrifiltro**

Datos de entrada	Formula	Calculo	Valor	Unidad
Población (P)			10	habitantes
Caudal (5% de 0.35 m <sup>3</sup> /d)			0.018	m <sup>3</sup> /d
Área superficial del humedal (A <sub>s</sub> )			0.27	m <sup>2</sup>
Tasa de riego (T <sub>riego</sub> )	$T_{Riego} = \frac{Q}{A}$	$T_{Riego} = \frac{0.018}{0.27}$	0.07	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia
Largo (L)			0.73	m
Ancho (W)			0.37	m

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro N° 28. Resumen de dimensiones del Humedal subsuperficial (HSS)**

Datos de entrada	Fórmula	Calculo	Valor	Unidad
Población (P)			10	habitantes
Caudal (5% de 0.35 m <sup>3</sup> /d)			0.018	m <sup>3</sup> /d
DBO afluente			190	mg/l
DBO efluente			15	mg/l
SST entrada			210	mg/l
Vegetación			<i>Cyperus papyrus / Alocasia macrorrhiza</i>	
Profundidad			0.4	m
Porosidad			0.36	m
Temperatura media del AR			21	°C
Temperatura mínima del AR			16	°C
<b>Dimensionamiento biológico</b>				
K <sub>21</sub>	$K_{21} = 1.104 d^{-1} * 1.06^{T-20}$	$K_{21} = 1.104 x 1.06^{(21-20)}$	1.17	d <sup>-1</sup>
Área superficial del humedal (A <sub>S</sub> )	$A_S = \frac{Q * (lnC_o - lnC_e)}{K_T * y * n}$	$A_S = \frac{0.018 \frac{m^3}{d} x (ln 190 - ln 15)}{1.170 d^{-1} x 0.4m x 0.36}$	0.27	m <sup>2</sup>
<b>Dimensionamiento hidráulico</b>				
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	$TRH = \frac{A_S * y * n}{Q}$	$TRH = \frac{0.27m^2 x 0.4m x 0.36}{0.018 m^3/d}$	2.16	d

Van... //

*Vienen //...*

Datos de entrada	Fórmula	Calculo	Valor	Unidad
Largo (L)			0.73	m
Ancho (W)			0.37	m
<b>Dimensionamiento térmico</b>				
Capa de residuos de vegetación			10	cm
Capa de grava seca			80	mm
Capa de grava saturada			40	cm
Coefficiente de transferencia de calor (U)	$U = \frac{1}{\frac{y_1}{k_1} + \frac{y_2}{k_2} + \frac{y_3}{k_3} + \frac{y_4}{k_4}}$	$U = \frac{1}{\frac{0.1}{0.05} + \frac{0.08}{1.5} + \frac{0.4}{2}}$	0.44	W/m <sup>2</sup>
Capacidad de calor especifico del agua (c <sub>p</sub> )			4215	J/kg
Densidad del agua (δ)			1000	kg/m <sup>3</sup>
Temperatura del agua que entra al humedal (T <sub>o</sub> )			22	°C
Temperatura promedio del aire durante el periodo considerado (T <sub>a</sub> )			17	°C
Cambio de temperatura en el humedal (T <sub>c</sub> )	$T_c = \frac{C_p \delta A_s \gamma n}{(T_o - T_a) U \sigma A_s t}$	$T_c = \frac{4215 \times 1000 \times 0.27 \times 0.4 \times 0.36}{(22 - 17) 0.44 \times 86400 \times 0.27 \times 2.16}$	1.48	°C
Temperatura del efluente (T <sub>e</sub> )	$T_e = T_o - T_c$	$T_e = 22 - 1.48$	20.52	°C
Temperatura promedio del agua (T <sub>w</sub> )	$T_w = \frac{T_o + T_e}{2}$	$T_w = \frac{22 + 20.52}{2}$	21.26 ≈ 21	°C

Fuente: Elaboración propia

## Implementación de los dos sistemas pilotos de biofiltros

Primero se procedió a acondicionar el terreno, para la construcción del sistema de biofiltros, es decir, se tenía que deshierbar y nivelar el terreno, Ver Fotografía N°1. Posteriormente, se demarco el terreno, ubicando el espacio de cada componente de los sistemas, ver Fotografía N°2 y N°3.

**Fotografía N° 1. Condiciones iniciales del terreno**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 2. Terreno nivelado y deshierbar**



Fuente: Elaboración propia



**Fotografía N° 3. Demarcación del terreno (Izq.) y excavación de pozos (Der.)**



Fuente: Elaboración propia

Segundo, se excavo el terreno para la construcción del canal de desbaste y tanque séptico conforme a las dimensiones calculadas anteriormente, luego se tarrajeo las construcciones, ver Fotografía N°4 y N°5.



**Fotografía N° 4. Construcción de canal de desbaste (Izq.) y tanque séptico (Der.)**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 5. Tarrajado del canal de desbaste y tanque séptico**



Fuente: Elaboración propia

Tercero, se instaló las rejjas en el canal de desbaste y se conectó las tuberías de unión entre los componentes, ver Fotografía N°6.

**Fotografía N° 6. Instalación de rejas gruesas y finas e instalación de tuberías**



Fuente: Elaboración propia

Cuarto, se implementaron los humedales artificiales y el lombrifiltro. Para el caso del humedal subsuperficial se colocó una capa de grava media de 15 cm de espesor en el fondo, una capa de arena gruesa de 15 cm de espesor encima y una capa de tierra de 10 cm de espesor, se incorporaron tres tubos para mejorar la oxigenación en el sistema y las especies usadas en el humedal fueron *Cyperus Papyrus* y *Alocasia macrorrhiza*, ver Fotografía N°7. Para el caso del humedal superficial se colocó una capa de grava media de 12 cm de espesor en el fondo, una capa de arena gruesa de 8 cm de espesor en el medio y una capa de tierra de 5 cm de espesor encima, la especie usada en el humedal fue *Eichhornia crassipens*, ver Fotografía N°8. Para el caso del lombrifiltro, se colocó una capa de grava media de 15 cm de espesor en el fondo, una capa de arena gruesa de 15 cm de espesor encima, una capa de tierra de 5 cm de espesor y una capa de aserrín de 5 cm, la especie usada en el humedal fue *Eisenia foetida*, ver Fotografía N°9.

**Fotografía N° 7. Colocación de las especies *Cyperus Papyrus* y *Alocasia macrorrhiza* y sustratos en el humedal subsuperficial**



Fuente: Elaboración propia



**Fotografía N° 8. Colocación de la especie *Eichhornia crassipens* y sustratos en el humedal superficial**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 9. Colocación de la especie *Eisenia foetida* y sustratos en el lombrifiltro**



Fuente: Elaboración propia

Quinto, una vez implementado cada sistema de tratamiento, se esperó un mes antes de realizar el análisis de la calidad de agua, para la adaptación y estabilización de las especies en el medio. Ver Fotografía N°10.

Sexto, se realizaron monitoreos semanales de la calidad del agua en los puntos establecidos (M1, M2, M3, M4 y M5), analizando los parámetros SST, DBO<sub>5</sub>, Nitratos, Nitritos, Fosfatos y Coliformes Termotolerantes, ver Fotografía N°13.

Séptimo, dado que la especie *Eichhornia crassipes* aumentaba su población en el humedal superficial, se extrajo algunas plantas como medida de control a la sobrepoblación, ver Fotografía N°13.

Octavo, se realizó la limpieza del lodo acumulado en las rejillas del canal de desbaste, así como del lodo acumulado en el tanque séptico. Ver Fotografía N°11 y N°12.

**Fotografía N° 10. Sistema de Biofiltro SB1 (Izq.) y Sistema de Biofiltro SB2 (Der.)**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 11. Extracción de lodos del tanque séptico (Izq.) y control de especies (Der.)**



Fuente: Elaboración propia



**Fotografía N° 12. Limpieza del canal de desbaste**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía N° 13. Monitoreo de la calidad de agua en los sistemas.**



Fuente: Elaboración propia

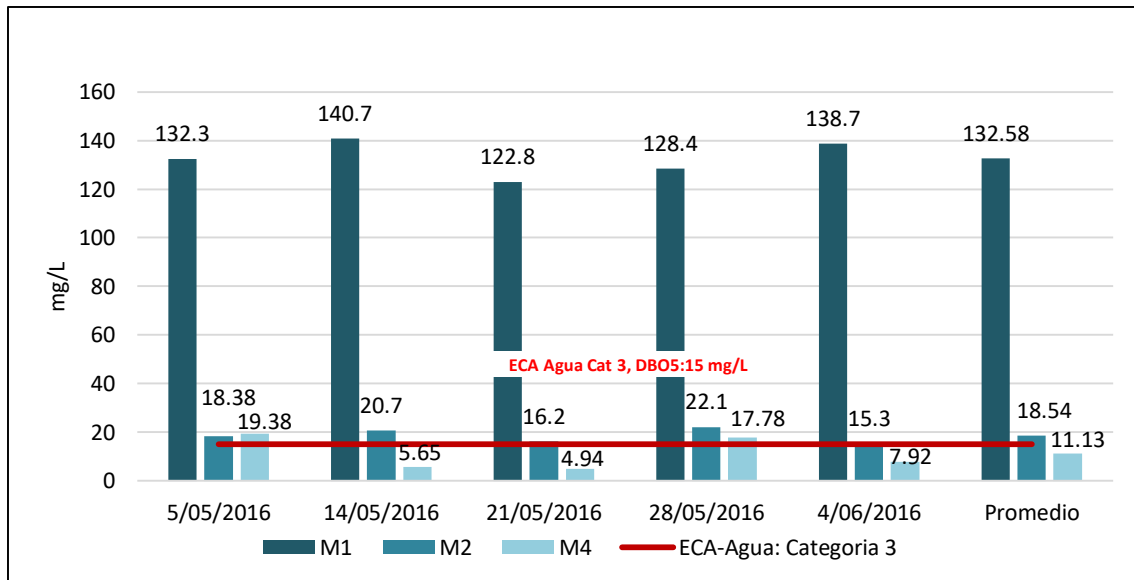
## 5.2. Análisis de la calidad de agua residual y determinación de la eficiencia

### Sistema de Biofiltro 1 (SB1)

Primeramente, se analizó el parámetro temperatura en el afluente y efluente del sistema, registrándose 21°C y 22.1 °C, respectivamente. Respecto al Ph se registró 7.34 en el afluente y 7.62 en el efluente.

En el gráfico N°1 se observan los valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), se puede observar que la DBO<sub>5</sub> disminuye de manera significativa al paso por el humedal subsuperficial de flujo vertical (HSSFV) con las especies *Cyperus papyrus* y *Alocasia macrorrhiza* (M2) y el humedal superficial con la especie *Eichhornia crassipes* (M4). Presentando una máxima concentración de DBO<sub>5</sub> en el punto M1 de 140.7 mg/l (14/05/2016), en el punto M2 de 22.1 mg/l (28/05/2016) y en el punto M4 de 19.38 mg/l (05/05/2016). En promedio en el punto M1 tuvo una concentración de 132.58 mg/l, en el punto M2 una concentración de 18.54 mg/l y por último en M4 una concentración de 11.13 mg/l.

Grafico N° 1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)-SB1



Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales (Agua para riego no restringido), los valores de M4 en su totalidad cumplen con el valor establecido de 15 mg/l para DBO<sub>5</sub>.

Respecto a los porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub>, como se muestra en el cuadro N° 29, el humedal subsuperficial de flujo vertical (M2) presento una eficiencia promedio de 86.02% de DBO<sub>5</sub> respecto al efluente del tanque séptico (M1), una eficiencia máxima del 88.97% presentado el día 04/06/2016. Por otro lado, el efluente del humedal superficial (M4) presento una eficiencia promedio de 91.55% respecto al efluente del tanque séptico (M1) y una máxima remoción de 95.98% de DBO<sub>5</sub> los días 21 y 28/05/2016.

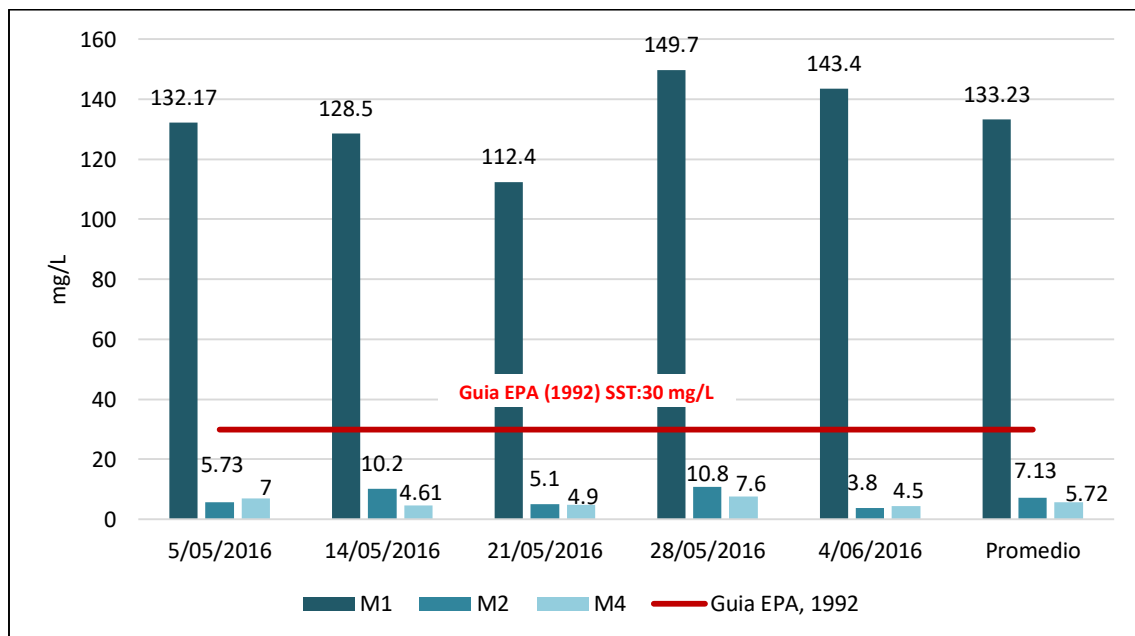
**Cuadro N° 29. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)-SB1**

Fecha de monitoreo	Afluente	Efluente				%Remoción global (SB1)
	M1	M2 (HSSFV)	Remoción (%)	M4 (HS)	Remoción (%)	
05/05/2016	132.3	18.38	86.11	19.38	-5.44*	85.35
14/05/2016	140.7	20.7	85.29	5.65	72.70	95.98
21/05/2016	122.8	16.2	86.81	4.94	69.51	95.98
28/05/2016	128.4	22.1	82.79	17.78	19.54	86.15
04/06/2016	138.7	15.3	88.97	7.92	48.23	94.29
Promedio	132.58	18.54	86.02	11.13	52.50	91.55

\* No se tuvo en cuenta en el cálculo de Remoción global y remoción promedio

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico N° 2. Solidos Suspendidos Totales (SST)-SB1**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N°2 se observan los valores de Solidos Suspendidos Totales (SST), se puede observar que los SST disminuyen de manera significativa al paso por el humedal subsuperficial de flujo vertical (HSSFV) con las especies *Cyperus papyrus* y *Alocasia*

macrorrhiza (M2) y humedal superficial con la especie *Eichhornia crassipes* (M4). Presentando una máxima concentración de SST en el punto M1 de 149.7 mg/l (28/05/2016), en el punto M2 de 10.8 mg/l (28/05/2016) y en el punto M4 de 7.6 mg/l (28/05/2016). En promedio en el punto M1 tuvo una concentración de 133.23 mg/l, en el punto M2 una concentración de 7.13 mg/l y por último en M4 una concentración de 5.72 mg/l.

Por otro lado, tomando como referencia los valores de la guía de protección ambiental (EPA, 1992) para el reúso de aguas residuales, los valores de M2 y M4 en su totalidad cumplen con el valor establecido de 30 mg/l para SST.

Respecto a los porcentajes de remoción de SST, como se muestra en el cuadro N° 30, el humedal subsuperficial (M2) presentó una eficiencia promedio de 94.67% de SST respecto al efluente del tanque séptico (M1), una eficiencia máxima del 97.35% presentado el día 04/06/2016. Por otro lado, el efluente del humedal superficial (M4) presentó una eficiencia promedio de 95.71% respecto al efluente del tanque séptico (M1) y una máxima remoción de 96.86% de SST el día 04/06/2016.

**Cuadro N° 30. Sólidos Suspendidos Totales (SST)-SB1**

Fecha de monitoreo	Afluente	Efluente				%Remoción global (SB1)
	M1	M2 (HSSFV)	Remoción (%)	M4 (HS)	Remoción (%)	
05/05/2016	132.17	5.73	95.66	7	-22.16*	94.70
14/05/2016	128.5	10.2	92.06	4.61	54.80	96.41
21/05/2016	112.4	5.1	95.46	4.9	3.92	95.64
28/05/2016	149.7	10.8	92.79	7.6	29.63	94.92
04/06/2016	143.4	3.8	97.35	4.5	-18.42*	96.86
Promedio	133.23	7.13	94.67	5.72	29.45	95.71

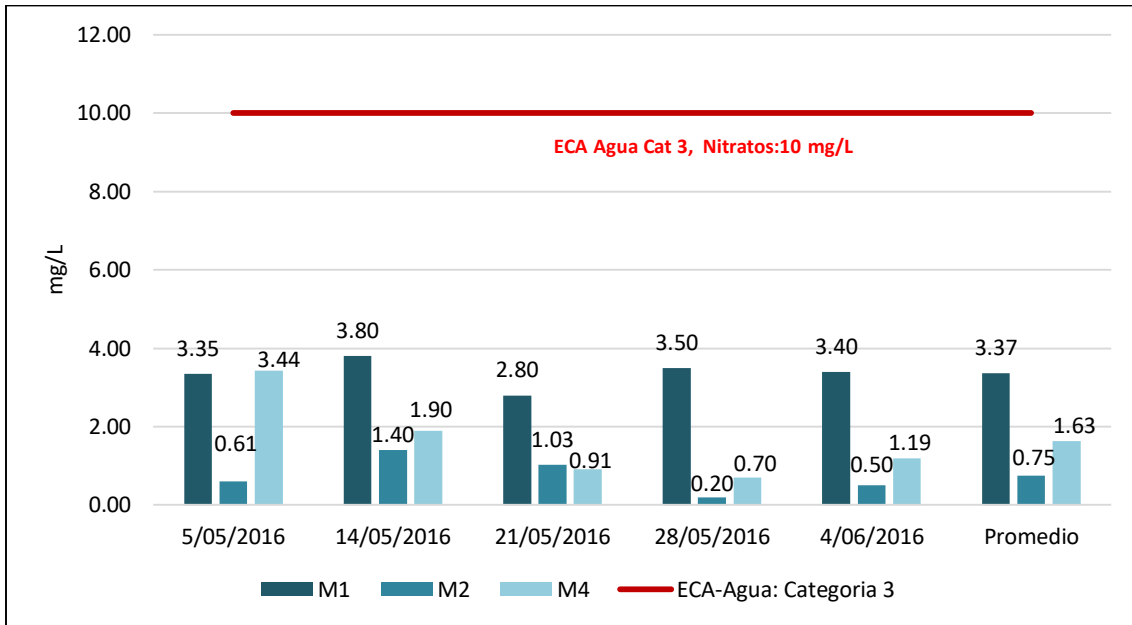
\* No se tuvo en cuenta en el cálculo de Remoción global y remoción promedio

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N°3 se observan los valores de nitratos, se puede observar que estos disminuyen al paso por el humedal subsuperficial con las especies *Cyperus papyrus* y *Alocasia macrorrhiza* (M2), sin embargo, al paso por el humedal superficial con la especie *Eichhornia crassipes* (M4) aumenta la concentración de nitratos. Presentando una máxima concentración en el punto M1 de 3.8 mg/l (14/05/2016), en el punto M2 de 1.4 mg/l (14/05/2016) y en el punto M4 de 3.44 mg/l (05/05/2016). En promedio en el punto M1 tuvo una concentración de 3.37 mg/l, en el punto M2 una concentración de 0.75 mg/l y por último en M4 una concentración de 1.63 mg/l.



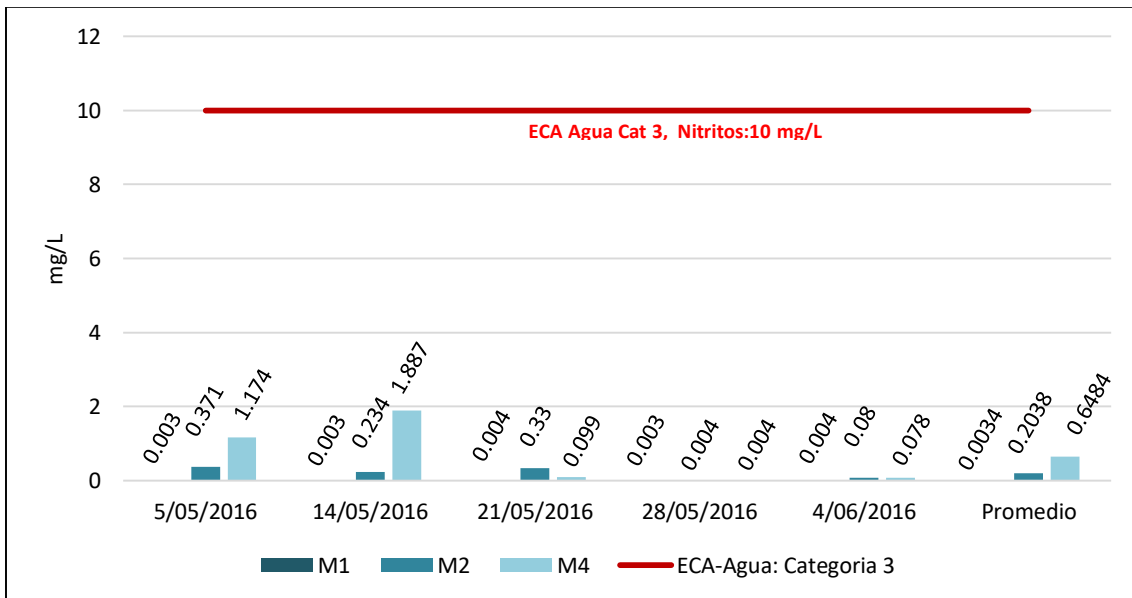
**Grafico N° 3. Nitratos-SB1**



Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales, los valores de M1, M2 y M4 en su totalidad cumplen con el valor establecido de 10 mg/l para Nitratos.

**Grafico N° 4. Nitritos-SB1**



Fuente: Elaboración propia

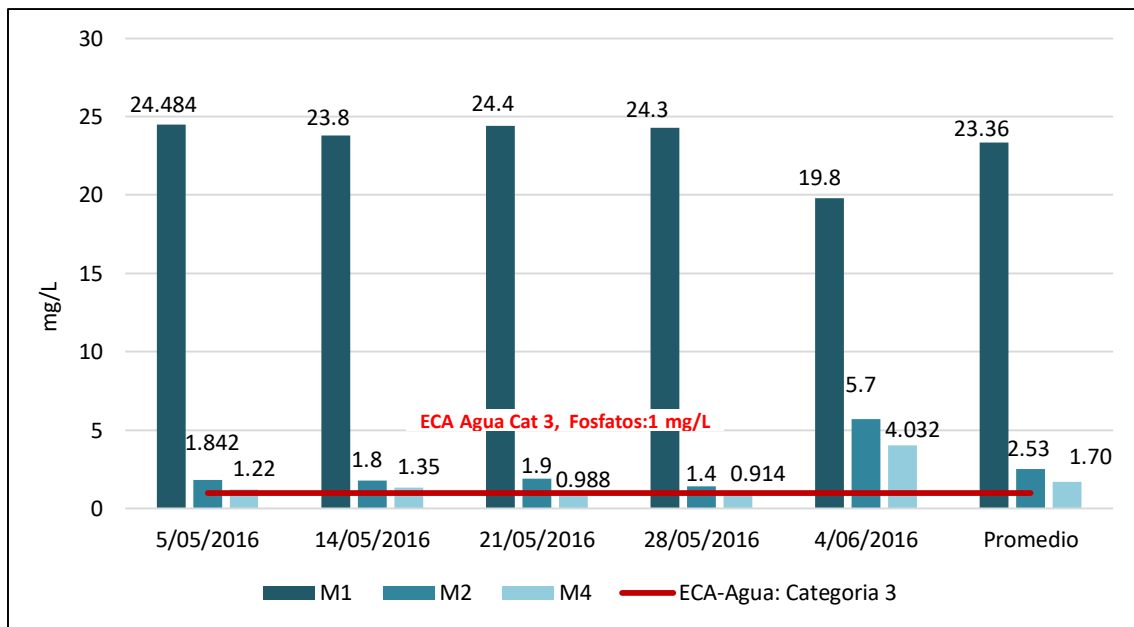
En el gráfico N°4 muestran los valores de nitritos, se puede observar que estos aumentan al paso por el humedal subsuperficial con las especies *Cyperus papyrus* y *Alocasia macrorrhiza* (M2) y el humedal superficial con la especie *Eichhornia crassipes*

(M4). Presentando una concentración promedio en el punto M1 de 0.0034 mg/l, en el punto M2 una concentración de 0.2038 mg/l y por último en M4 una concentración de 0.6484 mg/l.

Por otro lado, tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales (Agua para riego no restringido), los valores de M1, M2 y M4 en su totalidad cumplen con el valor establecido de 10 mg/l para Nitritos.

En el gráfico N°5 se observan los valores de fosfatos, se puede observar que estos disminuyen de manera significativa al paso por el humedal subsuperficial de flujo vertical (HSSFV) con las especies *Cyperus papyrus* y *Alocasia macrorrhiza* (M2) y humedal superficial con la especie *Eichhornia crassipes* (M4). Presentando una máxima concentración de fosfatos en el punto M1 de 24.484 mg/l (05/05/2016), en el punto M2 de 5.7 mg/l (04/06/2016) y en el punto M4 de 4.032 mg/l (04/06/2016). En promedio en el punto M1 tuvo una concentración de 23.36 mg/l, en el punto M2 una concentración de 2.53 mg/l y por último en M4 una concentración de 1.70 mg/l.

Grafico N° 5. Fosfatos-SB1



Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales, los valores de M4 cumplen parcialmente con el valor establecido de 1 mg/l para fosfato.

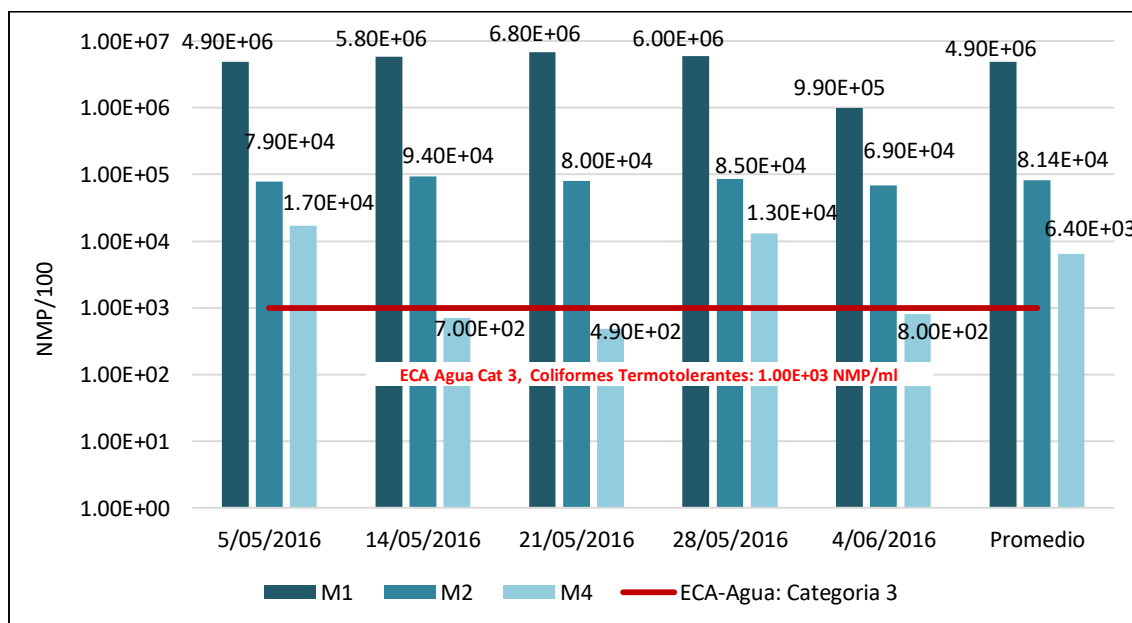
**Cuadro N° 31. Fosfatos-SB1**

Fecha de monitoreo	Afluyente	Efluente				%Remoción global (SB1)
	M1	M2 (HSSFV)	Remoción (%)	M4 (HS)	Remoción (%)	
05/05/2016	24.484	1.842	92.48	1.22	33.77	95.02
14/05/2016	23.8	1.8	92.44	1.35	25.00	94.33
21/05/2016	24.4	1.9	92.21	0.988	48.00	95.95
28/05/2016	24.3	1.4	94.24	0.914	34.71	96.24
04/06/2016	19.8	5.7	71.21	4.032	29.26	79.64
Promedio	23.36	2.53	88.52	1.70	34.15	92.23

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los porcentajes de remoción de fosfato, como se muestra en el cuadro N° 31, el humedal subsuperficial (M2) presento una eficiencia promedio de 88.52% de fosfato respecto al efluente del tanque séptico (M1) y una eficiencia máxima del 94.24% presentado el día 28/05/2016. Por otro lado, el efluente del humedal superficial (M4) presento una eficiencia promedio de 92.23% respecto al efluente del tanque séptico (M1) y una máxima remoción de 96.24% de fosfato el día 28/05/2016.

**Gráfico N° 6. Coliformes Termotolerantes-SB1**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N°6 se observan los valores de coliformes termotolerantes, se puede observar que estos disminuyen de manera significativa al paso por el humedal subsuperficial de flujo vertical (HSSFV) con las especies *Cyperus papyrus* y *Alocasia macrorrhiza* (M2) y humedal superficial con la especie *Eichhornia crassipes* (M4).

Presentando una máxima concentración de coliformes termotolerantes en el punto M1 de 6.80E+06 NMP/100ml (21/05/2016), en el punto M2 de 9.40E+04 NMP/100ml (14/05/2016) y en el punto M4 de 1.70E+04 NMP/100ml (05/05/2016). En promedio en el punto M1 tuvo una concentración de 4.90E+06 NMP/100ml, en el punto M2 una concentración de 8.14E+04 NMP/100ml y por último en M4 una concentración de 6.40E+03 NMP/100ml.

Por otro lado, tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales (Agua para riego no restringido), los valores de los días 14 y 21 de mayo y 04 junio del punto M4 cumplen con el valor establecido de 1000 NMP/ 100 ml para coliformes termotolerantes.

**Cuadro N° 32. Coliformes Termotolerantes-SB1**

Fecha de monitoreo	Afluente	Efluente				%Remoción global (SB1)
	M1	M2 (HSSFV)	Remoción (%)	M4 (HS)	Remoción (%)	
05/05/2016	4.90E+06	7.90E+04	98.39	1.70E+04	78.48	99.65
14/05/2016	5.80E+06	9.40E+04	98.38	7.00E+02	99.26	99.99
21/05/2016	6.80E+06	8.00E+04	98.82	4.90E+02	99.39	99.99
28/05/2016	6.00E+06	8.50E+04	98.58	1.30E+04	84.71	99.78
04/06/2016	9.90E+05	6.90E+04	93.03	8.00E+02	98.84	99.92
Promedio	4.90E+06	8.14E+04	97.44	6.40E+03	92.14	99.87

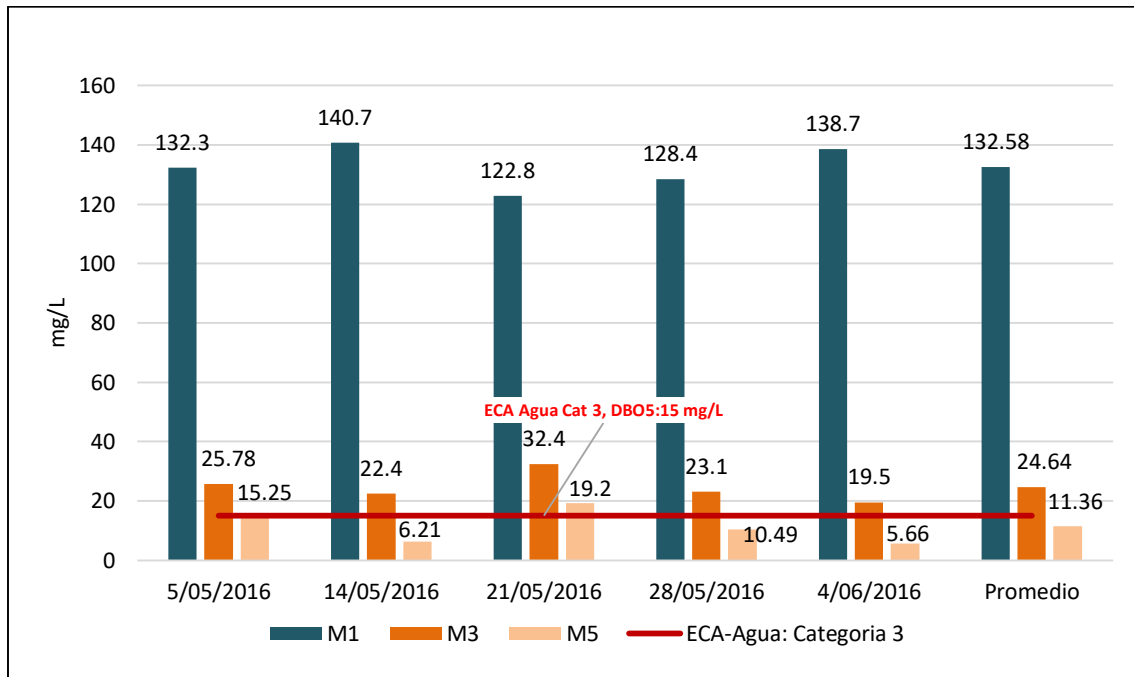
Fuente: Elaboración propia

Respecto a los porcentajes de remoción de coliformes termotolerantes, como se muestra en el cuadro N° 32, el humedal subsuperficial (M2) presento una eficiencia promedio de 97.44% de coliformes termotolerantes respecto al efluente del tanque séptico (M1) y una eficiencia máxima del 98.82% presentado el día 21/05/2016. Por otro lado, el efluente del humedal superficial (M4) presento una eficiencia promedio de 99.87% respecto al efluente del tanque séptico (M1) y una máxima remoción de 99.99% de coliformes termotolerantes los días 14 y 21/05/2016.

## Sistema de Biofiltro 2 (SB2)

Primeramente, se analizó el parámetro temperatura en el afluente y efluente del sistema, registrándose 21°C y 22.3 °C, respectivamente. Respecto al Ph se registró 7.34 en el afluente y 7.73 en el efluente.

**Gráfico N° 7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (SST)-SB2**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N°7 se observan los valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), se puede observar que la DBO5 disminuye de manera significativa al paso por el lombrifiltro con la especie Eisenia Foétida (M3) y el humedal superficial con la especie Eichhornia crassipes (M5). Presentando una máxima concentración de DBO5 en el punto M1 de 140.7 mg/l (14/05/2016), en el punto M3 de 32.4 mg/l (21/05/2016) y en el punto M5 de 19.2 mg/l (21/05/2016). En promedio en el punto M1 tuvo una concentración de 132.58 mg/l, en el punto M3 una concentración de 24.64 mg/l y por último en M5 una concentración de 11.36 mg/l.

Por otro lado, tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales (Agua para riego no restringido), los valores de M5 cumplen parcialmente con el valor establecido de 15 mg/l para DBO5.

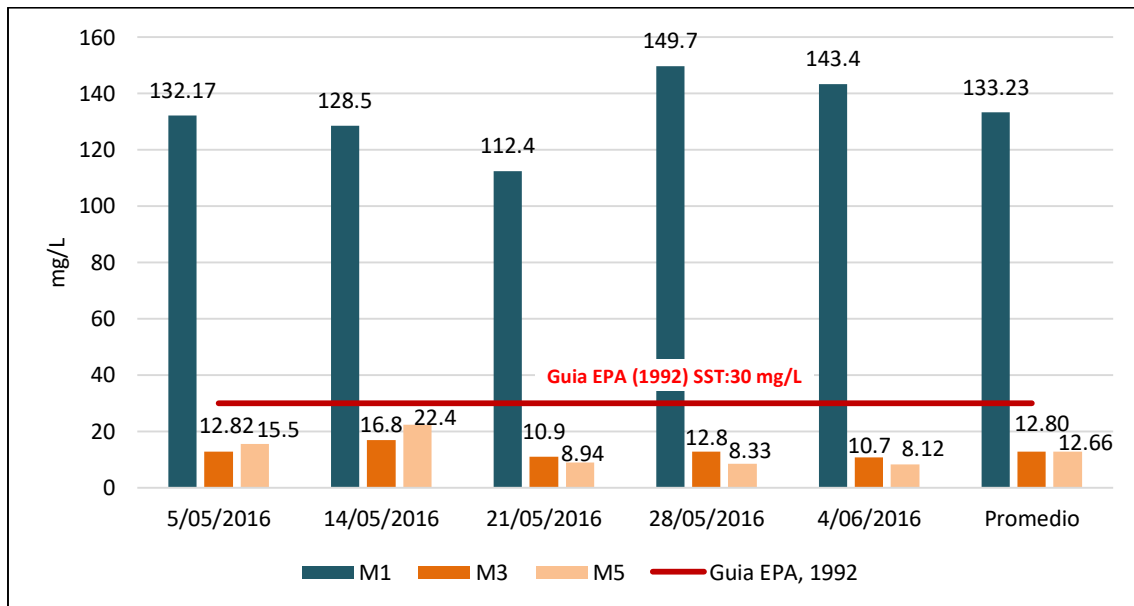
Respecto a los porcentajes de remoción de DBO5, como se muestra en el cuadro N° 33, el lombrifiltro (M3) presento una eficiencia promedio de 81.23% de DBO5 respecto al efluente del tanque séptico (M1), una eficiencia máxima del 85.94% presentado el día 04/06/2016. Por otro lado, el efluente del humedal superficial (M5) presento una eficiencia promedio de 91.23% respecto al efluente del tanque séptico (M1) y una máxima remoción de 95.92% de DBO5 presentado el día 04/06/2016.

**Cuadro N° 33. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)-SB2**

Fecha de monitoreo	Afluente	Efluente				%Remoción global (SB2)
	M1	M3 (Lombrifiltro)	Remoción (%)	M5 (HS)	Remoción (%)	
05/05/2016	132.3	25.78	80.51	15.25	40.85	88.47
14/05/2016	140.7	22.4	84.08	6.21	72.28	95.59
21/05/2016	122.8	32.4	73.62	19.2	40.74	84.36
28/05/2016	128.4	23.1	82.01	10.49	54.59	91.83
04/06/2016	138.7	19.5	85.94	5.66	70.97	95.92
Promedio	132.58	24.64	81.23	11.36	55.89	91.23

Fuente: Elaboración propia

**Grafico N° 8. Solidos Suspendidos Totales (SST)-SB2**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N°8 se observan los valores de Solidos Suspendidos Totales (SST), se puede observar que los SST disminuyen de manera significativa al paso por el lombrifiltro con la especie Eisenia Foétida (M3) y el humedal superficial con la especie Eichhornia crassipes (M5). Presentando una máxima concentración de SST en el punto M1 de 149.7 mg/l (28/05/2016), en el punto M3 de 16.8 mg/l (14/05/2016) y en el punto

M5 de 22.4 mg/l (14/05/2016). En promedio en el punto M1 tuvo una concentración de 133.23 mg/l, en el punto M3 una concentración de 12.80 mg/l y por último en M5 una concentración de 12.66 mg/l.

Sin embargo, tomando como referencia los valores de la guía de protección ambiental (EPA, 1992) para el reúso de aguas residuales, los valores de M3 y M5 en su totalidad cumplen con el valor establecido de 30 mg/l para SST.

Respecto a los porcentajes de remoción de SST, como se muestra en el cuadro N° 34, el humedal lombrifiltro (M3) presento una eficiencia promedio de 90.30% de SST respecto al efluente del tanque séptico (M1), una eficiencia máxima del 92.54% presentado el día 04/06/2016. Por otro lado, el efluente del humedal superficial (M5) presento una eficiencia promedio de 90.33% respecto al efluente del tanque séptico (M1) y una máxima remoción de 94.44% de SST el día 28/05/2016.

**Cuadro N° 34. Solidos Suspendidos Totales (SST)-SB2**

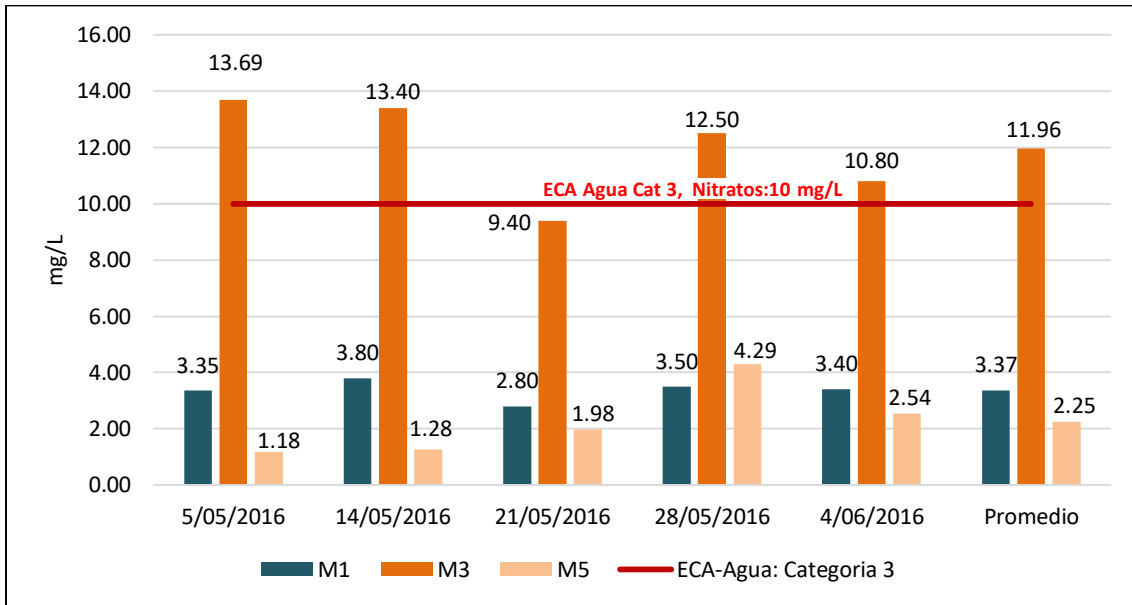
Fecha de monitoreo	Afluente	Efluente				%Remoción global (SB2)
	M1	M3 (Lombrifiltro)	Remoción (%)	M5 (HS)	Remoción (%)	
05/05/2016	132.17	12.82	90.30	15.5	-20.91*	88.27
14/05/2016	128.5	16.8	86.93	22.4	33.33	82.57
21/05/2016	112.4	10.9	90.30	8.94	17.98	92.05
28/05/2016	149.7	12.8	91.45	8.33	34.92	94.44
04/06/2016	143.4	10.7	92.54	8.12	24.11	94.34
Promedio	133.23	12.80	90.30	12.66	27.58	90.33

\* No se tuvo en cuenta en el cálculo de Remoción global y remoción promedio

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N°9 se observan los valores de nitratos, se puede observar que estos aumentan al paso por el lombrifiltro con la especie Eisenia Foétida (M3), sin embargo al paso por el humedal superficial (M5) disminuye la concentración de nitratos. Presentando una máxima concentración en el punto M1 de 3.8 mg/l (14/05/2016), en el punto M3 de 13.69 mg/l (05/05/2016) y en el punto M5 de 4.29 mg/l (28/05/2016). En promedio en el punto M1 tuvo una concentración de 3.37 mg/l, en el punto M3 una concentración de 11.96 mg/l y por último en M5 una concentración de 2.25 mg/l.

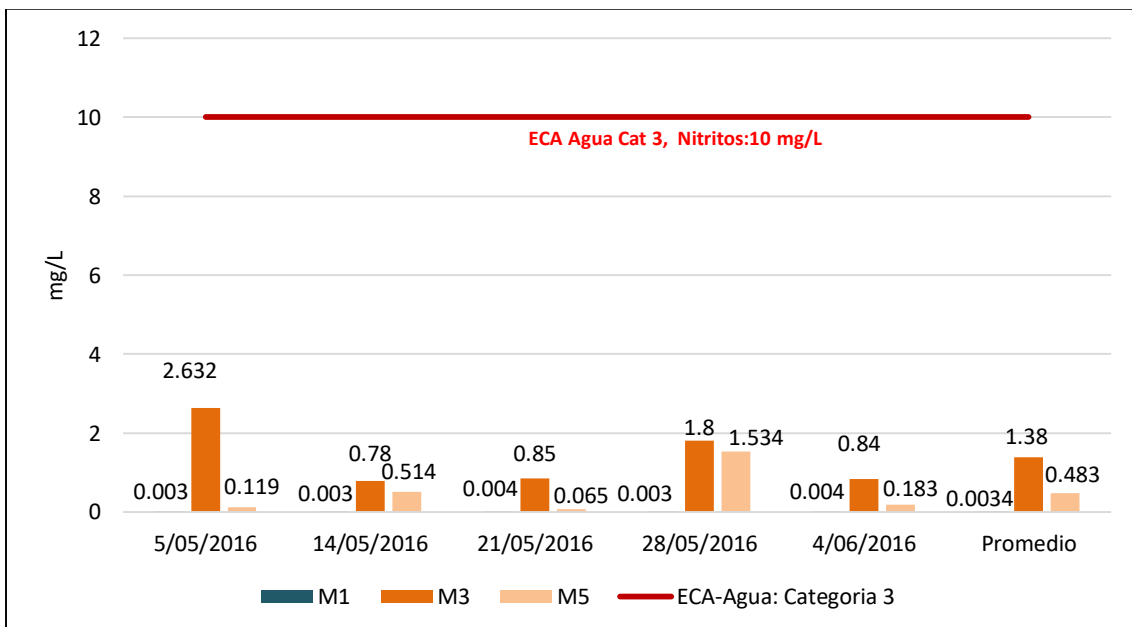
**Grafico N° 9. Nitratos-SB2**



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales, los valores de M1 y M5 en su totalidad cumplen con el valor establecido de 10 mg/l para Nitratos.

**Grafico N° 10. Nitritos-SB2**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N°10 se observan los valores de nitritos, se puede observar que estos aumentan al paso por el lombrifiltro con la especie Eisenia Foétida (M3) y el humedal superficial con la especie Eichhornia crassipes (M5). Presentando una concentración

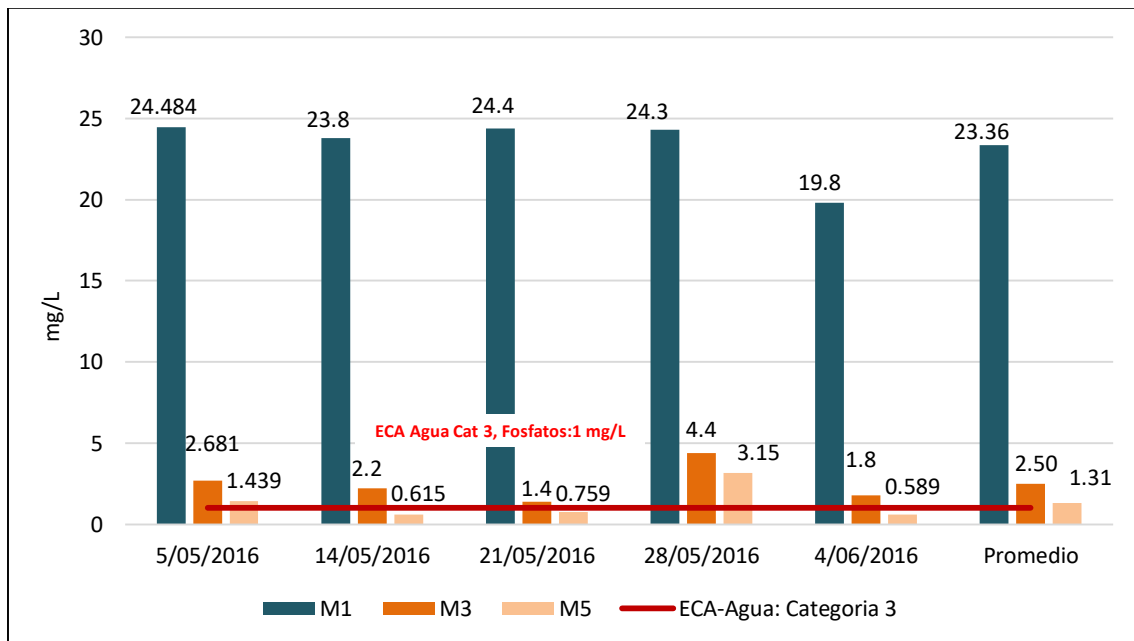


promedio en el punto M1 de 0.0034 mg/l, en el punto M3 una concentración de 1.38 mg/l y por último en M5 una concentración de 0.483 mg/l.

Sin embargo, tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales (Agua para riego no restringido), los valores de M1, M3 y M5 en su totalidad cumplen con el valor establecido de 10 mg/l para Nitritos.

En el gráfico N°11 se observan los valores de fosfatos, se puede observar que estos disminuyen de manera significativa al paso por el lombrifiltro con la especie Eisenia Foétida (M3) y el humedal superficial con la especie Eichhornia crassipes (M5). Presentando una máxima concentración de fosfatos en el punto M1 de 24.484 mg/l (05/05/2016), en el punto M3 de 4.4 mg/l (28/05/2016) y en el punto M5 de 3.15 mg/l (28/05/2016). En promedio en el punto M1 tuvo una concentración de 23.36 mg/l, en el punto M3 una concentración de 2.5 mg/l y por último en M5 una concentración de 1.31 mg/l.

Grafico N° 11. Fosfatos-SB2



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales, los valores de M5 cumplen parcialmente con el valor establecido de 1 mg/l para fosfato.

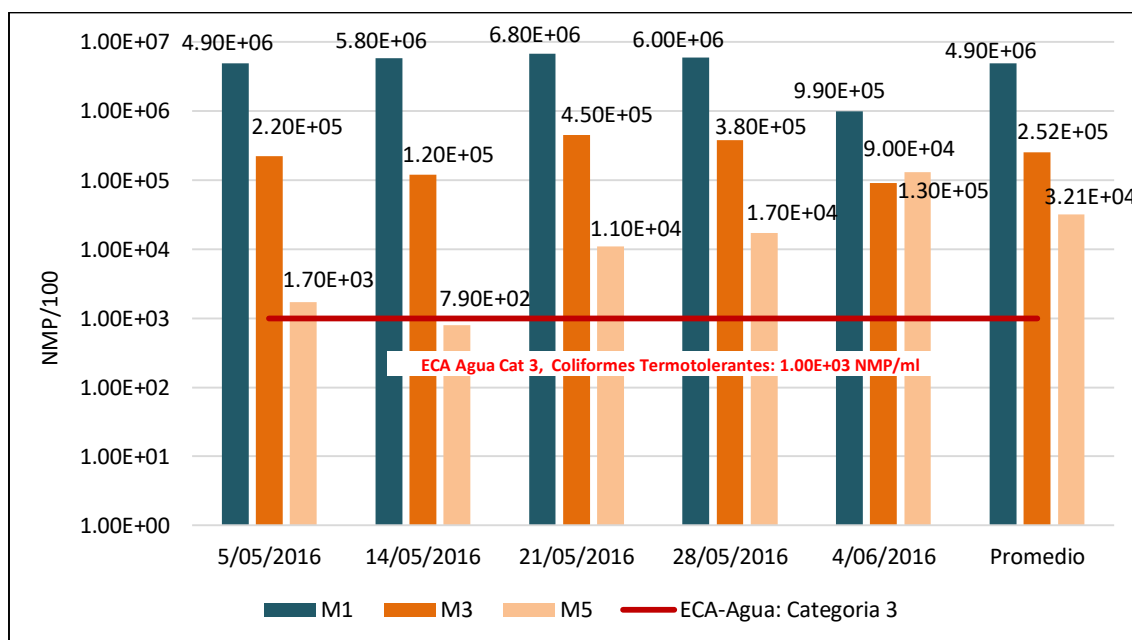
Respecto a los porcentajes de remoción de fosfato, como se muestra en el cuadro N° 35, el lombrifiltro (M3) presento una eficiencia promedio de 89.37% de fosfato respecto al efluente del tanque séptico (M1) y una eficiencia máxima del 94.26% presentado el día 21/05/2016. Por otro lado, el efluente del humedal superficial (M5) presento una eficiencia promedio de 94.5% respecto al efluente del tanque séptico (M1) y una máxima remoción de 97.42% de fosfato el día 14/05/2016.

**Cuadro N° 35. Fosfatos-SB2**

Fecha de monitoreo	Afluente	Efluente				%Remoción global (SB2)
	M1	M3 (Lombrifiltro)	Remoción (%)	M5 (HS)	Remoción (%)	
05/05/2016	24.484	2.68	89.05	1.439	46.31	94.12
14/05/2016	23.8	2.2	90.76	0.615	72.05	97.42
21/05/2016	24.4	1.4	94.26	0.759	45.79	96.89
28/05/2016	24.3	4.4	81.89	3.15	28.41	87.04
04/06/2016	19.8	1.8	90.91	0.589	67.28	97.03
Promedio	23.36	2.50	89.37	1.31	51.97	94.50

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico N° 12. Coliformes Termotolerantes-SB2**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N°12 se observan los valores de coliformes termotolerantes, se puede observar que estos disminuyen de manera significativa al paso por el lombrifiltro con la especie Eisenia Foétida (M3) y el humedal superficial con la especie Eichhornia crassipes (M5). Presentando una máxima concentración de coliformes termotolerantes

en el punto M1 de 6.80E+06 NMP/100ml (21/05/2016), en el punto M3 de 4.50E+05 NMP/100ml (21/05/2016) y en el punto M5 de 1.30E+05 NMP/100ml (04/06/2016). En promedio en el punto M1 tuvo una concentración de 4.90E+06 NMP/100ml, en el punto M3 una concentración de 2.52E+05 NMP/100ml y por último en M5 una concentración de 3.21E+04 NMP/100ml.

Por otro lado, tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales (Agua para riego no restringido), solo el valor registrado del día 14/05/16 del punto M5 cumple con el valor establecido de 1000 NMP/ 100 ml para coliformes termotolerantes.

**Cuadro N° 36. Coliformes Termotolerantes-SB2**

Fecha de monitoreo	Afluyente	Efluente				%Remoción global (SB2)
	M1	M3 (Lombrifiltro)	Remoción (%)	M5 (HS)	Remoción (%)	
05/05/2016	4.90E+06	2.20E+05	95.51	1.70E+03	99.23	99.97
14/05/2016	5.80E+06	1.20E+05	97.93	7.90E+02	99.34	99.99
21/05/2016	6.80E+06	4.50E+05	93.38	1.10E+04	97.56	99.84
28/05/2016	6.00E+06	3.80E+05	93.67	1.70E+04	95.53	99.72
04/06/2016	9.90E+05	9.00E+04	90.91	1.30E+05	-44.44*	86.87
Promedio	4.90E+06	2.52E+05	94.28	3.21E+04	97.92	97.28

\* No se tuvo en cuenta en el cálculo de Remoción global y remoción promedio

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los porcentajes de remoción de coliformes termotolerantes, como se muestra en el cuadro N° 36, el lombrifiltro (M3) presento una eficiencia promedio de 94.28% de remoción de coliformes termotolerantes respecto al efluente del tanque séptico (M1) y una eficiencia máxima del 97.93% presentado el día 14/05/2016. Por otro lado, el efluente del humedal superficial (M5) presento una eficiencia promedio de 97.28% respecto al efluente del tanque séptico (M1) y una máxima remoción de 99.99% de coliformes termotolerantes el día 14/05/2016.

## CAPITULO VI: PROPUESTA DE SISTEMA DE BIOFILTRO

### 6.1. Propuesta de diseño del sistema de biofiltro SB1

De acuerdo con los resultados obtenidos, el sistema de biofiltro SB1 es el más eficiente en el tratamiento del agua residual, el cual está conformado por un canal de desbaste (pre tratamiento), un tanque séptico (tratamiento primario), un humedal subsuperficial y un humedal superficial (tratamiento secundario). En este sentido, resumiendo todos los cálculos por cada etapa, se presenta el siguiente cuadro N° 37 con los valores obtenidos para una población servida de 100 habitantes.

**Cuadro N° 37. Dimensiones del SB1- Propuesta**

Descripción	Valor	Unidad
Población servida (p)	100	habitantes
Dotación de agua	45	lt/hab.día
	135000	lt/mes
<b>Características de caudales</b>		
Agua de abastecimiento se convierte en agua residual	85%	
Caudal medio diario	3.825	m <sup>3</sup> /d
Caudal medio horario	0.16	m <sup>3</sup> /h
Coefficiente punta	1.75	
Caudal punta diario	6.7	m <sup>3</sup> /d
Caudal máximo diario	13.38	m <sup>3</sup> /d
	0.56	m <sup>3</sup> /h
	0.00016	m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo instantáneo	0.0004	m <sup>3</sup> /s
	38.25	m <sup>3</sup> /d
Caudal mínimo diario	1.15	m <sup>3</sup> /d
<b>Pre tratamiento</b>		
<b>Aliviadero</b>		
Caudal de lluvia	0.1	m <sup>3</sup> /s
Caudal del vertido	0.099	m <sup>3</sup> /s
Velocidad del agua	0.8	m/s
Ancho del canal	0.3	m
Altura (P) para caudal máx. instantáneo	0.0017	m
Altura (P) para lluvia	0.42	m
Altura de la lámina de agua H	0.418	m
Q por metro lineal para un valor de H	0.453	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s
Longitud vertedero	0.25	m
<b>Canal de desbaste</b>		
Ancho barrotes	15	mm
Luz entre barrotes	50	mm
Colmatación	30	%
Número de barrotes	5	
Ancho útil de paso (Wu)	0.16	m
velocidad de paso	0.3	m <sup>3</sup> /s
Calado (h)	0.3	m
Tiempo de retención	8	s
Longitud del canal	2.4	m

Evaluación de la eficiencia entre dos sistemas de Biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la localidad de Carapongo, Lurigancho-Chosica

**Vienen //...**

<b>Desarenador</b>		
Tiempo de retención	60	s
Ancho	0.3	m
Largo del canal	0.6	m
Relación Largo – Ancho	2	
Sección transversal	0.0005	m <sup>2</sup>
Calado (h)	0.3	m
Carga superficial	3.1	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
<b>Tanque séptico</b>		
Caudal de aporte unitario (q)	38.25	lt/hab.día
Intervalo deseado en años, de remoción de lodos (N)	2	Años
Número de cámaras	2	
Borde libre	0.3	m
Relación largo / ancho	2:1	
Área horizontal de la cámara séptica	2	m <sup>2</sup>
Longitud de la cámara séptica	2	m
Ancho de la cámara séptica	1	m
Pendiente de tanque	2% hacia ingreso	
Tiempo de retención (PR)	0.43	días
	10.2	horas
Volumen del tanque séptico (Vs)	1.65	m <sup>3</sup>
	1644.75	litros
Volumen de digestión y almacenamiento de lodos (Vd)	14	m <sup>3</sup>
	14000	litros
Volumen ocupado por el aire o gases en la cámara séptica (V <sub>L</sub> )	0.6	m <sup>3</sup>
	600	litros
Volumen total de la cámara séptica (V <sub>T</sub> )	16.25	m <sup>3</sup>
	16250	litros
<b>Dimensiones</b>		
Profundidad máxima de espuma sumergida (He)	0.35	m
Profundidad de espacio libre (Hs)	0.83	m
Profundidad libre de espuma sumergida (Hes)	0.1	m
Profundidad libre de lodo (Ho)	0.3	m
Profundidad de espacio libre (Hl)	0.83	m
Profundidad de digestión y almacenamiento de lodos (Hd)	0.7	m
Profundidad total efectiva (Hd+Hl+He)	1.88	m
Altura cámara séptica	2.18	m
<b>Humedal subsuperficial</b>		
Caudal (medio diario)	3.8	m <sup>3</sup> /d
DBO afluente	190	mg/l
DBO efluente	15	mg/l
SST entrada	210	mg/l
Vegetación	<i>Cyperus papyrus / Alocasia macrorrhiza</i>	
Profundidad	0.6	m
Porosidad	0.36	%
Temperatura media del AR	21	°C
Temperatura mínima del AR	16	°C
<b>Dimensionamiento biológico</b>		
K <sub>21</sub>	1.17	d <sup>-1</sup>
Área superficial del humedal (A <sub>s</sub> )	38.18	m <sup>2</sup>
<b>Dimensionamiento hidráulico</b>		
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	2.17	d
Pendiente del humedal (m)	2	%
Conductividad hidráulica (k <sub>s</sub> )	2000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d

Largo (L)	12.04	m
Ancho (W)	3.17	m
<b>Dimensionamiento térmico</b>		
Capa de residuos de vegetación	10	cm
Capa de grava seca	80	mm
Capa de grava saturada	60	cm
Coefficiente de transferencia de calor (U)	0.42	W/m <sup>2</sup>
Capacidad de calor específico del agua (c <sub>p</sub> )	4215	J/kg
Densidad del agua (δ)	1000	kg/m <sup>3</sup>
Temperatura del agua que entra al humedal (T <sub>o</sub> )	22	° C
Temperatura promedio del aire durante el periodo considerado (T <sub>a</sub> )	17	° C
Cambio de temperatura en el humedal (T <sub>c</sub> )	2.31	° C
Temperatura del efluente (T <sub>e</sub> )	19.69	° C
Temperatura promedio del agua (T <sub>w</sub> )	20.84 ≈ 21	° C
Así que la temperatura asumida de 21°C es válida y, por tanto, el área determinada también		
<b>Humedal superficial</b>		
Caudal (medio diario)	3.8	m <sup>3</sup> /d
Vegetación	<i>Eichhornia crassipes</i>	
Profundidad	0.4	M
Porosidad	0.65	M
<b>Dimensionamiento biológico</b>		
K <sub>21</sub>	0.719	d <sup>-1</sup>
Área superficial del humedal (A <sub>s</sub> )	51.61	m <sup>2</sup>
<b>Dimensionamiento hidráulico</b>		
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	3.53	D
Relación	3:1	
Largo (L)	12.44	M
Ancho (W)	4.15	M
<b>Dimensionamiento térmico</b>		
Velocidad	4.1x10 <sup>-5</sup>	m/s
Temperatura del agua a la distancia x <sub>0</sub> , entrada (T <sub>o</sub> )	22	° C
Temperatura promedio del aire durante el periodo considerado (T <sub>a</sub> )	17	° C
Temperatura promedio del agua (T <sub>e</sub> )	20.82	° C
Temperatura del agua a la distancia x (T <sub>w</sub> )	21.4 ≈ 21	° C

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el área total del sistema propuesto abarca 170 m<sup>2</sup>. En los planos N°3 y N°4 se presentan los diseños del sistema SB1 conforme a las dimensiones determinadas en el Cuadro N°37.

El abastecimiento del agua residual al sistema de biofiltro se dará de forma intermitente (pausado) en intervalos de 1 a 2 veces al día con la finalidad de evitar colmataciones. Por ello el sistema de biofiltros contará con un sistema de bombeo con controles eléctricos.

Respecto a las características de cada humedal artificial que conforma el sistema de biofiltro, estos presentarán las siguientes dimensiones. Ver Cuadro N° 38 y 39:

**Cuadro N° 38. Dimensiones del humedal subsuperficial vertical**

Características	Valor	Unidad
Área	38.17	m <sup>2</sup>
Profundidad debajo del suelo	0.6	m
Piedra chancada de ½	0.2	m
Arena gruesa	0.4	m
Piedra chancada de ½ protección superficial	0.2	m
Área libre	0.2	m
Profundidad total	1	m
Volumen total	38.17	m <sup>3</sup>
<i>Cyperus papyrus</i> / <i>Alocasia macrorrhiza</i>	1 individuo/ m <sup>2</sup>	

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro N° 39. Dimensiones del humedal superficial**

Características	Valor	Unidad
Área	51.62	m <sup>2</sup>
Profundidad debajo del suelo	0.4	m
Piedra chancada de ½	0.15	m
Arena gruesa	0.25	m
Piedra chancada de ½ protección superficial	0.2	m
Área libre	0.2	m
Profundidad total	0.8	m
Volumen total	41.3	m <sup>3</sup>
<i>Eichhornia crassipes</i>	2 individuo/ m <sup>2</sup>	

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, la presente propuesta tiene un costo aproximado de S/.30,746.75 el cual no incluye los costos de mantenimiento, a continuación se detalla en el cuadro N° 40:

**Cuadro N° 40. Costo de la implementación del SB1-Propuesta**

Canal de desbaste y Tanque séptico	S/.1,671.75
Humedales	S/.26,895.00
Instalaciones eléctricas	S/.1,380.00
Otros servicios	S/.800.00
<b>Costo total</b>	<b>S/.30,746.75</b>

Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO VII: DISCUSION DE RESULTADOS

Duran I. & Redañez M. (2014) en su tesis titulado “Evaluación de un Humedal Artificial de flujo subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas grises” tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas grises mediante la construcción de un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical en la casa de retiro Alvernia – Cieneguilla, previo a la implementación del humedal con la especie *Cyperus papyrus* se ha previsto una trampa de grasas y un tanque de sedimentación para que el proceso sea más efectivo. Por otro lado, el caudal de ingreso al sistema fue de 3.65 m<sup>3</sup>/d, el área superficial del humedal fue de 51 m<sup>2</sup> con una profundidad 1.2 m y tiempo de retención de 10 horas. Se obtuvo valores de remoción de 96.39% de DBO5, 95.2% de DQO, 97.48% en SST y 99.89% de coliformes termotolerantes, y para los parámetros nitrito y nitratos no se presentó porcentajes de remoción. Asimismo, los resultados se encuentran dentro de los rangos establecidos por la OMS y los estándares nacionales. En el siguiente cuadro N° 41 se muestran los resultados y porcentajes de remoción por parámetro.

**Cuadro N° 41. Resultados y porcentajes de remoción en humedal subsuperficial vertical**

Parámetro	Valor efluente	% Remoción
Ph	7.92	--
DBO5	13.78 mg/l	96.39
DQO	24.8 mg/l	95.20
SST	2.6 mg/l	97.48
Nitratos	0.27 mg/l	--
Nitritos	0.089 mg/l	--
Coliformes Termotolerantes	4.32 x10 <sup>2</sup> NMP/100ml	99.89

Fuente: Duran y Redañez, 2014

En la presente investigación, al igual que la investigación Duran I. & Redañez M. en el 2014, se ha previsto un pre tratamiento y tratamiento primario antes de la implementación del humedal subsuperficial de flujo vertical (HSSFV), sin embargo en la presente investigación se agregó un humedal superficial (HS) después del HSSFV. Por otro lado, se trabajó a nivel piloto con un caudal de 0.018 m<sup>3</sup>/d, 0.27 m<sup>2</sup>, profundidad 0.4 m y tiempo de retención hidráulica 2.16 días utilizando las especies *Cyperus papyrus* y *Alocasia macrorrhiza* para el HSSFV, y un área de 0.391 m<sup>2</sup>,



profundidad 0.25 m y tiempo de retención hidráulica 3.5 días utilizando la especie *Eichhornia crassipes* para el HS. Al igual que la investigación de Duran se obtuvieron altos porcentajes de remoción, tal como se muestra en el cuadro N° 42:

**Cuadro N° 42. Comparación de resultados y porcentajes de remoción**

Parámetro	Humedal flujo vertical (Duran & Redañez, 2014)		Sistema de Biofiltro 1 (Quispe, 2018)		Sistema de Biofiltro 2 (Quispe, 2018)	
	Promedio	% Remoción	Promedio	% Remoción	Promedio	% Remoción
DBO <sub>5</sub>	13.78	96.39	11.13	91.55	11.36	91.23
SST	2.6	97.48	5.72	95.71	12.66	90.33
Nitratos	0.27	--	1.63	--	2.25	--
Nitritos	0.089	--	0.64	--	0.48	--
Coliformes Termotolerantes	4.32 x10 <sup>2</sup>	99.89	6.4 x10 <sup>3</sup>	99.87	3.21 x10 <sup>4</sup>	97.28

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior se puede apreciar que los resultados de la presente investigación del sistema de biofiltro 1 (SB1) se asemejan a la investigación de Duran, sin embargo en la presente investigación por fines prácticos se trabajó a una pequeña escala, con un área de 0.27 m<sup>2</sup> y profundidad 0.4 m para el HSSFV, y un área de 0.391 m<sup>2</sup> y profundidad 0.25 m para el HS, mientras en la investigación de Duran trabajo en un área de 51 m<sup>2</sup> con una profundidad 1.2 m. Cabe resaltar que si bien las bajas profundidades en humedales HSS, aumentan el potencial de transferencia de oxígeno, lo cual favorece el desarrollo de una biomasa aerobia (biofilm) fijada sobre el medio poroso y con ello la eliminación de la materia y la nitrificación, es necesario un área superficial mayor. En este sentido, para las dimensiones trabajadas los resultados son óptimos.

Respecto a los parámetros nitritos y nitratos si bien no ha presentado porcentaje de remoción, sus valores se encuentran por debajo de los estándares de calidad para Agua – Categoría 3 para riego de vegetales 10 mg/l para nitritos y 10 mg/l nitratos.

En tanto en la presente investigación se optó por trabajar con dos especies en el HSSFV, ya que ello permite una mayor estabilidad a largo plazo frente a perturbaciones (por ejemplo, plagas), aumenta la superficie colonizada por las bacterias y mejora el valor ecológico del humedal (Garcia, Morató, & Bayona, 2004). Sin embargo, será necesario a largo plazo la eliminación de la potencial vegetación oportunista a fin de evitar la disminución de conductividad hidráulica del sistema que conlleva a la disminución de la vida activa del mismo.

Zambrano X. et al (2009) en su artículo de investigación titulado “**Diseño del sistema de tratamiento para la depuración de las aguas residuales domésticas de la población San Eloy en la provincia de Manabí por medio de un sistema de tratamiento natural compuesto por un humedal artificial de flujo libre**”, tuvo como objetivo colaborar con la reducción de la contaminación de los cuerpos de agua depurando las aguas residuales que pasen por este sistema, mediante la implementación de un diseño de humedal de flujo libre basado en la remoción de contaminantes como la DBO, Sólidos Suspendidos, Fósforo y Nitrógeno principalmente, previo a la implantación del humedal con la especie *Scirpus* se ha previsto un tanque séptico y filtro anaerobio para que el proceso sea más efectivo. Llegando a la conclusión después de los cálculos realizados que el sistema obtiene una DBO<sub>5</sub> y SST de efluente teórico de 50 mg/l y 36 mg/l que corresponde al 80 % y 86% de remoción, respectivamente, y está por debajo del valor 100 mg/l permitido por la legislación ambiental de Ecuador, valor que se espera obtener en la construcción del sistema.

La presente investigación, al igual que la tesis desarrollada por Zambrano, X. en el 2009, ha previsto un tanque séptico como tratamiento primario antes del diseño del humedal de flujo libre, sin embargo, en la presente investigación se agregó adicionalmente un canal de desbaste como pre tratamiento para ambos sistemas de biofiltros (SB1 y SB2), un humedal subsuperficial de flujo vertical en el SB1 empleando a las especies *Cyperus papyrus* y *Alocasia macrorrhiza* y un lombrifiltro en el SB2, y al igual que la investigación de Zambrano, para los parámetros de DBO<sub>5</sub> y SST los valores se encuentran por debajo de los valores establecidos en los estándares de calidad de agua. Los resultados comparativos de remoción de DBO<sub>5</sub> y SST de cada investigación se muestran en el siguiente cuadro N° 43.

**Cuadro N° 43. Resultados y porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> y SST**

Tratamiento	DBO <sub>5</sub>		SST	
	Promedio	% Remoción	Promedio	% Remoción
Sistema de tratamiento natural compuesto por un humedal artificial de flujo libre	50	80	36	86
Sistema de Biofiltro 1 (SB1)	11.13	91.55	5.72	95.71
Sistema de Biofiltro 2 (SB2)	11.36	91.23	12.66	90.33

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior se aprecia mejores resultados en la presente investigación en cuanto a remoción de materia orgánica DBO5 debido a que se empleó humedales/lombrifiltro adicionales. En este sentido, debido a que en los humedales subsuperficiales de flujo vertical prevalecen las vías aerobias en comparación con otros tipos de humedales, favorece la biodegradación de la materia orgánica presente en el medio. Estos valores se encuentran dentro de lo esperado, confirmándose que el rendimiento para DBO5 en humedales puede estar entre 75-95% y produciendo efluentes menores a 20 mg/l (García & Corzo, Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial, 2008).

En la remoción de solidos suspendidos por medio de los procesos físicos de sedimentación y filtración se consigue la eliminación de la materia en suspensión, en el cual el rendimiento de eliminación de la materia en suspensión en los humedales subsuperficiales suele ser muy elevado. Normalmente es de más del 90% produciendo efluentes con concentraciones menores de 20 mg/l de forma sistemática (García & Corzo, Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial, 2008).

## CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1. CONCLUSIONES

- Se implementó los dos sistemas pilotos de biofiltro (SB1 y SB2), el primero (SB1) compuesto por un canal de desbaste, tanque séptico, seguido por un humedal de flujo subsuperficial vertical y un humedal de flujo superficial. Mientras el segundo (SB2), conformado por un canal de desbaste, tanque séptico, seguido por un lombrifiltro y un humedal de flujo superficial. Las especies empleadas en el humedal subsuperficial fueron *Cyperus papyrus* y *Alocasia macrorrhiza*, mientras en el humedal superficial se utilizó la especie *Eichhornia crassipes*. Cabe resaltar, por fines prácticos, que el canal de desbaste y el tanque séptico es compartido por ambos sistemas (Plano N°1 y N°2).
- Para el análisis de la calidad del agua residual, se establecieron 5 puntos de monitoreo, el primero a la salida del tanque séptico (M<sub>1</sub>), el segundo a la salida del humedal subsuperficial de flujo vertical (M<sub>2</sub>), el tercero a la salida del lombrifiltro (M<sub>3</sub>), el cuarto y quinto a la salida del humedal superficial (M<sub>4</sub> y M<sub>5</sub>). En cada punto de muestreo se analizó los SST (mg/l), DBO<sub>5</sub> (mg/l), nitratos, nitritos (mg/l), fosfatos (mg/l) y coliformes termotolerantes (NMP/100 ml), con una frecuencia semanal durante 5 semanas. Luego de haber realizado los análisis en el laboratorio se evidenció que la calidad del agua del sistema de biofiltro SB1 tiene una alta eficiencia de remoción de los parámetros SST, DBO<sub>5</sub> y coliformes termotolerantes respecto al sistema biofiltro SB2, alcanzando un porcentaje de remoción promedio de 95.71%, 91.55% y 99.87%, respectivamente. De manera referencial se compararon los resultados de ambos sistemas (SB1 y SB2) con los estándares de calidad ambiental para agua (ECA-Agua) en la categoría 3 (D1: riego de vegetales – Agua para riego no restringido) establecido en el D.S. N°004-2017-MINAM, los cuales para los parámetros DBO<sub>5</sub>, SST, Nitratos, Nitritos cumplen con lo establecido.
- En función de los resultados de eficiencia obtenidos se propone el diseño del sistema de biofiltro SB1, considerando una población servida de 100 habitantes con una dotación de agua aprox. de 45 lt/hab.día, se realizó los cálculos de los diferentes procesos, ver Cuadro N°37. El área total del sistema propuesto es 170 m<sup>2</sup>, la misma que está distribuida para los diferentes tratamientos planteados, ver Plano N°3 y N°4.

## 8.2. RECOMENDACIONES

Implementar un piloto de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales con fines de investigación y enseñanza, en la facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Se recomienda continuar con las actividades de operación y mantenimiento del sistema de biofiltro para el correcto funcionamiento del mismo, es decir, limpieza periódica del canal de desbaste y tanque séptico, eliminación de vegetación oportunista (malas hierbas) en los humedales, cosechas y control de las especies *Cyperus papyrus*, *Alocasia macrorrhiza* y *Cyperus papyrus* cuando se observe un estado de crecimiento avanzado para optimizar la absorción de nutrientes por parte de las especies.

El residuo desechado de las especies *Cyperus papyrus*, *Alocasia macrorrhiza* y *Cyperus papyrus*, así como el sustrato usado, puede ser reaprovechado previa evaluación, mediante su tratamiento en composteras, de tal manera que no exista riesgo significativo ambiental y a la salud humana.

Debido al corto tiempo de operación de los sistemas, se recomienda continuar con los monitoreos de la calidad del agua tratada con alternancia en épocas secas y húmedas, de tal manera se tenga un control, seguimiento y evaluar las tendencias en la depuración del agua residual.

En función de la información técnica generada para el Sistema de biofiltro SB1 para una población servida de 100 habitantes, se recomienda armar un proyecto ambiental a fin de concretar la propuesta y reutilizar las aguas residuales con fines de riego de áreas verdes, según lo permita la legislación vigente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abou-Elela, S., & Hellal, M. (2012). Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with Canna, Phragmites and Cyprus. *Ecological Engineering*, 47, 209- 2013.
- Agroflor Lombricultura. (13 de marzo de 2017). *Manual Lombricultura*. Obtenido de <http://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual%20de%20Lombricultura.pdf>
- Albuquerque, A., Oliveira, J., Semitel, S., & Amaral, L. (2009). Influence of bed media characteristics on ammonia and nitrate removal in shallow horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Bioresource Technology*, 100(24), 6269-6277.
- Barceló, D., Salgot, M., Torrens, A., Ayora, C., Carrera, J., Castaño, S., & Garcia, E. (2008). *Aguas continentales. Gestión de recursos hídricos, tratamiento y calidad del agua*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Cientificaciones (CSIC).
- Basaure, P. (1993). *Manual de lombricultura*. Chile.
- Bigambo, T., & Mayo, A. (2005). Nitrogen transformation in horizontal subsurface flow constructed wetlands II: Effect of Biofilm. *Physics and Chemistry or the Earth*, 30, 668-672.
- Bornhardt, C., Bobadilla, C., & Monje, F. (2003). *Tratamiento de riles mediante lombrifiltro*. Universidad de La Frontera, Dpto. de Ingeniería Química, Chile. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile15/riles.pdf>
- Brix, H. (1994). Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water Science Technology* , 71- 78.
- Brix, H. (1994). Use of constructed wetlands in water pollution control: historical development, present status and future perspectives. *Water Science & Technology*, 30(8), 209- 223.
- Brix, H. (1997). Do macrophytes play a role in constructed wetlands? *Water Science Technology*, 35, 11-17.
- Cardoso, L., Ramírez, E., & Garzon, M. (Julio de 2013). Evaluacion de un vermifiltro piloto para el tratamiento de aguas residuales. *Ingenieria Agricola y biosistemas*, 5(2), 33-44.
- Centro internacional de la papa. (2007). *Agricultores en la Ciudad. Enfrentando la pobreza de la agricultura* . Lima: Centro internacional de la papa.
- CESEL Ingenieros. (2016). *Evaluación Ambiental Preliminar Construcción de la Primera Etapa de la S.E. Carapongo y Enlaces de Conexión a Líneas Asociadas*. Lima. Obtenido de [https://www.senace.gob.pe/archivos/?wpfb\\_dl=351](https://www.senace.gob.pe/archivos/?wpfb_dl=351)
- Chazarenc, F., Merlin, G., & Gonthier, Y. (2003). Hydrodynamics of horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 21, 165- 173.
- Cooper, P., Job, G., Green, M., & Shutes, R. (1996). *Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment*. Swindon, UK. : WRc plc.

- Cooper, P., Job, G., Green, M., & Shutes, R. (1996). *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. U.K.
- Crites R., G. T. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*. Boston: McGraw Hill Inc.
- Crites, R., Middlebrooks, J., & Reed, S. (2006). *Natural wastewater treatment system*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Cubillos, J. (2011). *Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos*. Proyecto de grado para optar por el titulo de Magister Scientiae en Ecotecnología, Universidad Tecnológica de Pereira, Escuela de Postgrados. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2782/6281683C962.pdf?sequence=1>
- Decamp, O., Warren, A., & Sánchez, R. (1999). The role of ciliated protozo in subsurface flow wetlands and their potential as bioindicators. *Water Science Technology*.
- DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. (7 de Junio de 2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. *Diario Oficial El Peruano*. Obtenido de <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-agua-y-e-decreto-supremo-n-004-2017-minam-1529835-2/>
- Della, M., Fiorentino, A., Isidoro, M., & Zarrelli, A. (2001). Toxicity evaluation of natural and synthetic phenantrenes in aquatic systems. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20, 1824- 1830.
- Duran, I., & Redañez, M. (2014). *Evaluación de un Humedal Artificial de flujo subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas grises*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- FAO. (2003). Una revisión sobre el Bore (Alocasia macrorrhiza). En M. D. Sanchez, & M. Rosales Mendez (Ed.), *Agroforesteria para la producción animal en america latina - II*, (pág. 203). Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/006/y4435s/y4435s0i.htm>
- García, J., & Corzo, A. (2008). *Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental. Obtenido de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia\\_and\\_Acorzo.pdf?sequence=1](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia_and_Acorzo.pdf?sequence=1)
- García, J., & Corzo, A. (2008). *Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima



- y Ambiental. Obtenido de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia\\_and\\_Acorzo.pdf?sequence=1](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia_and_Acorzo.pdf?sequence=1)
- García, J., Morató, J., & Bayona, J. (2004). *Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos*.
- García, J., Paredes, D., & Cubillos, J. (2013). Effect of plants and the combination of wetland treatment type Systems on pathogen removal in tropical climate conditions. *Ecological Engineering*, 57- 62.
- García, Z. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Gottschall, N., Boutin, C., Crolla, A., Kinsley, C., & Champagne, P. (2007). The Role of Plants in the Removal Nutrients at a Constructed Wetland Treating Agricultural (Dairy) Wastewater, Ontario, Canada. *Ecological Engineering*, 29, 154- 163.
- Grady, C., Daigger, G., Love, N., & Filipe, C. (2011). *Biological Wastewater Treatment* (3 ed.). New York: Taylor and Francis group.
- Grant, S., Pendroy, C., Bellin, C., Mayer, J., & Palmer, C. (1996). Prevalence of enterohemorrhagic Escherichia coli in raw and treated municipal sewage. *Apply and Environmental Microbiology*, 62, 3466- 3469.
- Gutiérrez, H. (2010). *Estimación del balance de Nitrógeno en un humedal construido subsuperficial plantado con Heliconia psittacorum para el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Proyecto de grado para optar por el título de Máster en Ingeniería sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle, Postgrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Hernández, R., & Fernández, C. (2006). *Metodología de la Investigación* (Cuarta ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.
- INEI. (2013). *Provincia de Lima: Compendio Estadístico 2011 - 2012*. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1149/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1149/libro.pdf)
- INEI. (11 de Diciembre de 2017). *Poblacion 2000 al 2015*. Obtenido de <https://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/>
- Kadlec, R., & Knight, R. (1996). *Treatment Wetlands*. Boca Raton, Florida: CRC Press/Lewis Publishers.
- Kadlec, R., Knight, R., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., & Haberl, R. (2000). *Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation*. IWA Publishing.



- Krasnits, E., Friedler, E., Sabbah, I., Beliavski, M., Tarre, S., & Green, M. (2009). Spatial distribution of major microbial groups in a well established constructed wetland treating municipal wastewater. *Ecological Engineering*, 35, 1085- 1089.
- Lara, J. (1999). *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. Trabajo final Master en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, Instituto Catalán de Tecnología, Barcelona.
- Lavrova, S., & Koumanova, B. (2010). Influence of recirculation in a lab-scale vertical flow constructed wetland on the treatment efficiency of landfill leachate. *Bioresource Technology*, 101, 1756-1761.
- Li, L., Li, Y., Biswas, D., Nian, Y., & Jiang, G. (2008). Potential of Constructed Wetlands in Treating the Eutrophic Water: Evidence from Taihu Lake of China. *Bioresource Technological*, 99, 1656- 1663.
- Liu, X., Huang, S., Tang, T., Liu, X., & Scholz, M. (2012). Growth Characteristics and Nutrient Removal Capability of Plants in Subsurface Flow Constructed Wetlands. *Ecological Engineering*, 44, 189- 198.
- Llagas, W., & Guadalupe, E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 9(17). Obtenido de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/699/552>
- Mena, J., Rodríguez, L., Núñez, J., & Villaseñor, J. (2008). *Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: ventajas de los sistemas híbridos*. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Cumbre del Desarrollo Sostenible., Madrid, España.
- Merz, S. K. (2000). *Using free water surface Constructed Wetlands to Treat Municipal Sewage*. Queensland Department of Natural Resources, Brisbane.
- Metcalf, & E. (2004). *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse*. London: McGraw-Hill.
- Mitsch, W., & Gosselink, J. (2000). *Wetlands* (tercera ed.). New York: Wiley John and Sons Inc.
- Molleda, P., Blanco, I., Ansola, G., & de Luis, E. (2008). Removal of water pathogen indicators in a constructed wetland in Leon, Spain. *Ecological Engineering*, 33, 252- 257.
- Navarro, A., García, Y., Vázquez, A., & Marrugo, J. (2013). Eficiencia de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de las aguas residuales del empacado de hortalizas. *Avances en ciencias e Ingeniería*, 4(1), 39-50.
- NOM-semamat-1997. (21 de Setiembre de 1998). Norma Oficial Mexicana de Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas. *Diario Oficial de la Federación Mexicana*.
- Odum, H., Wojcik, W., Pritchard, L., Ton, S., Delfino, J., Wojcik, M., . . . Doherty, S. (2000). *Heavy metals in the environment using wetlands for their removal*. Boca Raton Florida.

- OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, Lima. Obtenido de [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Organismo Mundial de la Salud - OMS. (2006). *Valores guia de la OMS para el reuso de aguas residuales, excretas y aguas grises en la acuicultura ("Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater")*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1999). *Wastewater treatment and use in agriculture* .
- Ottová, V., Balcarová, J., & Vymazal, J. (1997). Microbial Characteristics of Constructed Wetlands. *Water Science Technology*.
- Poach, M., Hunt, P., Reddy, G., Stone, K., Johnson, M., & Grubbs, A. (2007). Effect of ntermittent drainage on swine wastewater treatment by marsh-pond-marsh constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 30, 43-50.
- Reilly, J., Horne, A., & Miller, C. (2000). Nitrate removal from a drinking water supply with large free surface constructed wetlands prior to groundwater recharge. *EcologicalEngineering*, 14, 33-47.
- Reinoso, R., & Bécáres, E. (2008). The occurrence of intestinal parasites in swine slurry and their removal in activated sludge plants. *Bioresource Technology*, 99(14), 6661-6665.
- Rodríguez, J., Esteban, L., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparacion del tratamiento de aguas residuales domesticas utilizando lentejas y buchon de agua en humedales artificiales. *I*(1).
- SEDAPAL. (11 de Diciembre de 2017). *PTAR Carapongo*. Obtenido de [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2e8f3953-cad5-4398-bd75-36703194f686&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2e8f3953-cad5-4398-bd75-36703194f686&groupId=10154)
- SEDAPAL. (11 de Diciembre de 2017). *PTAR San Antonio de Carapongo*. Obtenido de [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=34bc9c08-4ad4-447c-beda-cfb31e0abb84&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=34bc9c08-4ad4-447c-beda-cfb31e0abb84&groupId=10154)
- Selba Vida Sostenible. (2015). *Tecnología apropiada: Agua*. Recuperado el 05 de Enero de 2018, de Desnitrificación: <http://www.selba.org/GEDSEsp/Ecologica/Agua/Desnitrificacion.html>
- Soto, N., & Siura, S. (2008). *Panorama de Experiencias de Agricultura Urbana en Lima Metropolitana y Callao*. Lima: Biblioteca Nacional del Peru.
- Stottmeister, U., Wießner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Küstner, M., Bederski, O., . . . Moormann, H. (2003). Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology Advances*, 22, 93- 17.
- SUNASS; Cooperacion Alemana; Giz. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de*

- saneamiento*. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), Lima. Obtenido de <http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>
- Tanner, C., Clayton, J., & Upsdell, M. (1995). Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewaters in constructed wetlands. Removal of oxygen demand, suspended solids and fecal coliforms. *Water Research*, 29, 17-26.
- Torres, A. (1999). *Principios de funcionamiento y características de las depuradoras naturales*. Obtenido de [https://www.google.com.pe/url?sa=t&trct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj\\_xafLv7vSAhXH0iYKHfcrAx4QFggjMAE&url=https%3A%2F%2Fupcommons.upc.edu%2Fbitstream%2Fhandle%2F2099.1%2F10034%2FANEXOS%2520A\\_B\\_C.pdf%3Fsequence%3D2%26isAllowed%3Dy&](https://www.google.com.pe/url?sa=t&trct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj_xafLv7vSAhXH0iYKHfcrAx4QFggjMAE&url=https%3A%2F%2Fupcommons.upc.edu%2Fbitstream%2Fhandle%2F2099.1%2F10034%2FANEXOS%2520A_B_C.pdf%3Fsequence%3D2%26isAllowed%3Dy&)
- Torres, J., Magno, J., Pineda, R., & Cruz, M. (2015). Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante Humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*, en Carapongo-Lurigancho. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 1(2). Obtenido de [http://revistascientificas.upeu.edu.pe/index.php/ri\\_ctd/article/view/410/420](http://revistascientificas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/410/420)
- Trang, N., & Konnerup, D. (2010). Ecological Engineering. En *Kinetics of pollutant removal from domestic wastewater in a tropical horizontal subsurface flow constructed wetland system: Effects hydraulic loading rate*. (págs. 527- 535).
- U.S. Environmental Protection Agency - EPA. (2012). *Valores guía de la EPA para el reuso de aguas residuales ("Guidelines for water reuse")*.
- UNESCO – IHE. (2011). *A constructed wetland for wastewater treatment with emphasis on optimization of nitrogen removal. Optimization of nitrogen removal using vertical flow constructed wetland*. Saarbrücken, Deutschland.
- Valverde, A. (2010). *Estimación de gases efecto invernadero en humedales de flujo subsuperficial horizontal*. Trabajo de grado para optar por el título de Máster en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle, Facultad de ingeniería. Escuela de ingeniería de los recursos naturales y del ambiente, Santiago de Cali.
- Vera, L., Marlel, G., Gutiérrez, J., & Márquez, M. (2006). *Gestión sostenible del agua residual en entornos rurales*. Instituto Tecnológico de Canarias, Departamento de Agua. Dirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico.
- Vergara, A. (2013). *Las EPS y su desarrollo*. Lima: SUNASS.
- Vergara, A. (2014). *Las EPS y su Desarrollo 2013*. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), Gerencia de Supervision y Fiscalización, Lima.
- Verhoeven, J., & Meuleman, A. (1999). Wetlands for wastewater treatment: Opportunities and limitations. *Ecological Engineering*, 12, 5- 12.

- Vymazal, J. (1995). *Algae and element cycling in wetlands*. . Boca Raton: Lewis publishers.
- Vymazal, J. (2007). Removal Nutrients in Various Types of Constructed Wetlands. *Science of Total Environment*, 380, 48-65.
- Vymazal, J. (2009). The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. *Ecological engineering*, 35, 1- 17.
- Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., Green, M., & Haberl, R. (1998). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Leiden: Backhuys Publishers.
- Water Environmental Federation (WEF) American Society of Civil Engineers. (2011). Nutrient Removal. En *WEF Manual Practice No. 34. Prepared by the Nutrient Removal Task Force of the Water Environment Federation* (pág. 628). Alexandria, Virginia (USA): WEF Press and McGraw – Hill.
- Xinshan, S., Qin, L., & Denghua, Y. (2010). Nutrient removal by hybrid subsurface flow constructed wetlands for high concentration ammonia nitrogen wastewater. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1461- 1468.
- Zambrano, X., Saltos, X., & Villamar, F. (2009). *Diseño del sistema para la depuración de las aguas residuales domesticas de la población San Eloy en la provincia de Manabí por medio de un sistema natural compuesto por un humedal artificial de flujo libre*. Guayaquil, Ecuador.
- Zhang, D., Gersberg, R., & Kate, T. (2009). Constructed Wetlands in China. *Ecological Engineering*, 35, 1367- 1378.

## GLOSARIO

### CAUDAL

Es el agua que pasa por un riachuelo o río, por una tubería, por una sección normal de una corriente de agua, la que produce un pozo o una mina o la que entra o sale de una planta de tratamiento, medida en una unidad de tiempo.

Fuente: BVSDE - Organización Panamericana de la Salud

### CONTAMINANTE

Todo aquello que pone en riesgo el equilibrio de un ecosistema sea químico o físico; inclusive hasta el hecho de introducir una especie extranjera en un ecosistema puede llegar a contaminarlo.

Fuente: Dirección General de Calidad Ambiental – MINAM

### COLIFORMES TERMOTOLERANTES (COLIFORMES FECALES)

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal.

Fuente: Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua

### CUERPO RECEPTOR

Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales- Guatemala

### DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

El análisis de la DQO (Demanda Química de Oxígeno) se emplea para medir el equivalente en oxígeno de la materia orgánica que puede ser oxidada químicamente utilizando dicromato en solución ácida. La DQO, es un parámetro análogo a la DBO<sub>5</sub>, pero en este caso es una determinación exclusivamente química. También se expresa como concentración de oxígeno.

Fuente: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) – Madrid

### DBO<sub>5</sub>

Se emplea para medir el contenido de materia orgánica presente en una muestra de agua. Es un parámetro indirecto, pues indica el oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos presentes en una muestra de agua en la oxidación bioquímica de materia orgánica al cabo de 5 días y una temperatura de veinte grados Celsius. Se expresa como concentración de oxígeno.

Fuente: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) - Madrid

### DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

La DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) es la cantidad de oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos para la oxidación bioquímica de la materia orgánica.

Fuente: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) – Madrid

### DESCONTAMINACIÓN

Remoción de sustancias peligrosas tales como sustancias químicas nocivas, bacterias peligrosas u otros organismos, o material radioactivo de individuos, ambientes y mobiliarios expuestos en edificios, o el ambiente exterior.

Fuente: Glosario de términos para la Gestión Ambiental Peruana – MINAM

### ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

Fuente: Ley General del Ambiente - Art. 31°

### EUTROFIZACIÓN

Enriquecimiento de las aguas por nutrientes a través de medios o inducidos por el hombre o naturales, como resultado, a menudo hay incrementos en las algas y malas hierbas y también en las larvas e insectos adultos. Cuando las células de las algas mueren, los procesos de descomposición agotan el oxígeno y pueden resultar en mortandad de peces. El nitrógeno y fósforo de los fertilizantes ocasionan comúnmente este proceso. Además, la minería, la construcción de túneles, las demoliciones de roca de fosfato pueden aumentar la escorrentía de fósforo.

Fuente: Dirección General de Calidad Ambiental – MINAM

### LODOS

Los sólidos depositados por las aguas negras, o desechos industriales, crudos o tratados, acumulados por sedimentación en tanques y que contienen más o menos agua para formar una masa semilíquida.

Fuente: Norma Técnica I.S. 020

### PENDIENTE

La inclinación o declive de una tubería o de la superficie natural del terreno, usualmente expresada por la relación o porcentaje del número de unidades de elevación o caída vertical, por unidad de distancia horizontal.

Fuente: Norma Técnica I.S. 020

### PERIODO DE RETENCIÓN

El tiempo teórico requerido para desalojar el contenido de un tanque o una unidad, a una velocidad o régimen de descarga determinado (volumen dividido por el gasto).

Fuente: Norma Técnica I.S. 020

## REÚSO DE AGUA RESIDUAL

Se entiende por reúso de agua residual a la utilización de aguas residuales tratadas resultantes de las actividades antropogénicas.

Fuente: Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Artículo 147°

## SEDIMENTACIÓN

El proceso de asentar y depositar la materia suspendida que arrastra el agua, las aguas negras u otros líquidos, por gravedad. Esto se logra usualmente disminuyendo la velocidad del líquido por debajo del límite necesario para el transporte del material suspendido. También se llama asentamiento.

Fuente: Norma Técnica I.S. 020

## SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Sólidos suspendidos que se asientan en el agua, aguas negras, u otro líquido en reposo, en el periodo razonable. Tal periodo se considera, aunque arbitrariamente, igual a una hora.

Fuente: Norma Técnica I.S. 020

## TANQUE SÉPTICO

Es un tanque de sedimentación de acción simple, en el que los lodos sedimentados están en contacto inmediato con las aguas negras que entran al tanque, mientras los sólidos orgánicos se descomponen por acción bacteriana anaerobia.

Fuente: Norma Técnica I.S. 020

## TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO

Tiempo de permanencia del agua residual en el sistema.

Fuente: Modelización y simulación de estaciones depuradoras – España

## TRATAMIENTO PRIMARIO

Proceso anaeróbico de la eliminación de sólidos.

Fuente: Norma Técnica I.S. 020

## TRATAMIENTO SECUNDARIO

Tratamiento donde la descomposición de los sólidos restantes es hecha por organismos aeróbicos, este tratamiento se realiza mediante campos de percolación o pozos.

Fuente: Norma Técnica I.S. 020

## TRAMPAS DE GRASA

El proceso de separar la grasa flotante o espuma, de la superficie de un tanque séptico.

Fuente: Norma Técnica I.S. 020

## VERTIMIENTO

Sinónimo de efluente. Está referido a toda descarga deliberada de aguas residuales a un cuerpo natural de agua. Se excluyen las provenientes de naves y artefactos navales, así como la descarga de aguas residuales al alcantarillado.

Fuente: Glosario Políticas-MINAM



# **ANEXOS**

Anexo N°1: Informes de ensayo

Anexo N°2: Análisis estadístico

Anexo N°3: Planos SB1 y SB2 – Piloto

Anexo N°4: Costo de instalación, construcción y operación – Piloto y propuesta

Anexo N°5: Planos sistema de biofiltro SB1 – Propuesta

Anexo N°6: Matriz de consistencia

**ANEXO N°1:  
INFORMES DE ENSAYO**

## INFORME DE ENSAYO N° 102693-2016 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : UNIVERSIDAD NAC. FEDERICO VILLARREAL  
**DOMICILIO LEGAL** : CAL.CARLOS GONZALES NRO. 285 RES. SAN MIGUEL (ALT CRUADRA 26 DE LA AV. LA MARINA)  
 LIMA - LIMA - SAN MIGUEL  
**SOLICITADO POR** : ANDREA ELIZABETH QUISPE PULIDO  
**REFERENCIA** : COTIZACIÓN N° 2015-11VB-31-1 / TESIS  
**PROCEDENCIA** : CARAPONGO -ALT. LÍNEA DEL TREN  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA** : 2016-05-05  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYOS** : 2016-05-05  
**MUESTREADO POR** : EL CLIENTE

### I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	SM 5210 B. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.	2.00 <sup>(b)</sup>	mg/L
Nitratos	SM 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B. Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method.	0.030	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N mg/L
Nitritos	SM 4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B. Nitrogen (Nitrite). Colorimetric Method.	0.003	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N mg/L
Fosfatos ( PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	SM 4500-P E. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.020	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/L
Numeración de Coliformes Fecales	SM 9221 E. Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.	1.8 <sup>(a)</sup>	NMP/100mL

L.C.: Límite de cuantificación.

(a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuantitativas.

(b) Expresado como límite de detección del método.

## INFORME DE ENSAYO N° 102693-2016 CON VALOR OFICIAL

### II. RESULTADOS:

Producto declarado		Agua residual	Agua residual	Agua residual
Matriz analizada		Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo		2016-05-05	2016-05-05	2016-05-05
Hora de inicio de muestreo (h)		18:00	18:00	18:00
Condiciones de la muestra		Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente		M1	M2	M4
Código del Laboratorio		1605385	1605386	1605387
Ensayos	Unidades	Resultados		
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	132.3	18.38	19.38
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N mg/L	3.352	0.605	3.435
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N mg/L	<0.003	0.371	1.174
Fosfatos ( PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/L	24.484	1.842	1.220
Numeración de Coliformes Fecales <sup>(1)</sup>	NMP/100mL	49 x 10 <sup>5</sup>	79 x 10 <sup>3</sup>	170 x 10 <sup>2</sup>

(1) Coliformes Fecales es lo mismo que coliformes termotolerantes.

Lima, 12 de Mayo del 2016

# INFORME DE ENSAYO N° 102932-2016 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : UNIVERSIDAD NAC. FEDERICO VILLARREAL  
**DOMICILIO LEGAL** : CAL.CARLOS GONZALES NRO. 285 RES. SAN MIGUEL (ALT CRUADRA 26 DE LA AV. LA MARINA)  
 LIMA - LIMA - SAN MIGUEL  
**SOLICITADO POR** : ANDREA ELIZABETH QUISPE PULIDO  
**REFERENCIA** : COTIZACIÓN N° 2016-05VB-12-3 / TESIS  
**PROCEDENCIA** : CARAPONGO -ALT. LÍNEA DEL TREN  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA** : 2016-05-14  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYOS** : 2016-05-14  
**MUESTREADO POR** : EL CLIENTE

## I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	SM 5210 B. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.	2.00 <sup>(b)</sup>	mg/L
Nitratos	SM 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B. Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method.	0.030	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N mg/L
Nitritos	SM 4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B. Nitrogen (Nitrite). Colorimetric Method.	0.003	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N mg/L
Fosfatos ( PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	SM 4500-P E. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.020	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/L
Numeración de Coliformes Fecales	SM 9221 E. Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.	1.8 <sup>(a)</sup>	NMP/100mL

L.C.: Límite de cuantificación.

(a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuantitativas.

(b) Expresado como límite de detección del método.

## INFORME DE ENSAYO N° 102932-2016 CON VALOR OFICIAL

### II. RESULTADOS:

Producto declarado		Agua residual	Agua residual	Agua residual
Matriz analizada		Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo		2016-05-14	2016-05-14	2016-05-14
Hora de inicio de muestreo (h)		15:30	15:45	16:00
Condiciones de la muestra		Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente		M3	M4	M5
Código del Laboratorio		16051309	16051310	16051311
Ensayos	Unidades	Resultados		
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	25.78	5.65	15.25
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N mg/L	13.688	1.901	1.184
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N mg/L	2.632	1.887	0.119
Fosfatos ( PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/L	2.681	1.350	1.439
Numeración de Coliformes Fecales <sup>(1)</sup>	NMP/100mL	220 x 10 <sup>3</sup>	70 x 10 <sup>1</sup>	170 x 10 <sup>1</sup>

(1) Coliformes Fecales es lo mismo que coliformes termotolerantes.

Lima, 23 de Mayo del 2016

# INFORME DE ENSAYO N° 103132-2016 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : UNIVERSIDAD NAC. FEDERICO VILLARREAL  
**DOMICILIO LEGAL** : CAL.CARLOS GONZALES NRO. 285 RES. SAN MIGUEL (ALT CRUADRA 26 DE LA AV. LA MARINA)  
 LIMA - LIMA - SAN MIGUEL  
**SOLICITADO POR** : ANDREA ELIZABETH QUISPE PULIDO  
**REFERENCIA** : COTIZACIÓN N° 2016-05VB-12-4/5 - TESIS  
**PROCEDENCIA** : CARAPONGO -ALT. LÍNEA DEL TREN  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA** : 2016-05-21/28  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYOS** : 2016-05-21/28  
**MUESTREADO POR** : EL CLIENTE

## I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	SM 5210 B. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.	2.00 <sup>(b)</sup>	mg/L
Nitratos	SM 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B. Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method.	0.030	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N mg/L
Nitritos	SM 4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B. Nitrogen (Nitrite). Colorimetric Method.	0.003	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N mg/L
Fosfatos ( PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	SM 4500-P E. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.020	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/L
Numeración de Coliformes Fecales	SM 9221 E. Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.	1.8 <sup>(a)</sup>	NMP/100mL

L.C.: Límite de cuantificación.

(a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuantitativas.

(b) Expresado como límite de detección del método.



## INFORME DE ENSAYO N° 103132-2016 CON VALOR OFICIAL

### II. RESULTADOS:

Producto declarado		Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Matriz analizada		Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo		2016-05-21	2016-05-21	2016-05-28	2016-05-28
Hora de inicio de muestreo (h)		15:15	15:30	16:00	16:15
Condiciones de la muestra		Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente		M4	M5	M4	M5
Código del Laboratorio		16052114	16052115	16052823	16052824
Ensayos	Unidades	Resultados			
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	4.94	6.21	17.78	19.20
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N mg/L	0.906	1.275	0.699	1.977
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N mg/L	0.099	0.514	0.004	0.085
Fosfatos ( PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/L	0.988	0.815	0.914	0.759
Numeración de Coliformes Fecales <sup>(1)</sup>	NMP/100mL	49 x 10 <sup>1</sup>	79 x 10 <sup>1</sup>	130 x 10 <sup>2</sup>	110 x 10 <sup>2</sup>

(1) Coliformes Fecales es lo mismo que coliformes termotolerantes.

Lima, 07 de Junio del 2016

## INFORME DE ENSAYO N° 103349-2016 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : UNIVERSIDAD NAC. FEDERICO VILLARREAL  
**DOMICILIO LEGAL** : CAL.CARLOS GONZALES NRO. 285 RES. SAN MIGUEL (ALT CRUADRA 26 DE LA AV. LA MARINA)  
 LIMA - LIMA - SAN MIGUEL  
**SOLICITADO POR** : ANDREA ELIZABETH QUISPE PULIDO  
**REFERENCIA** : COTIZACIÓN N° 2016-05VB-12-6 / TESIS  
**PROCEDENCIA** : CARAPONGO -ALT. LÍNEA DEL TREN  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS** : 2016-05-31 / 2016-06-04/11/18/25  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYOS** : 2016-05-31 / 2016-06-04/11/18/25  
**MUESTREADO POR** : EL CLIENTE

### I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Sólidos suspendidos totales (TSS)	SM 2540 D. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.	3.00	mg/L

L.C.: límite de cuantificación.

### II. RESULTADOS

Producto declarado	Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Matriz analizada	Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo	2016-05-31	2016-05-31	2016-06-04	2016-06-04
Hora de inicio de muestreo (h)	15:00	15:15	15:00	15:15
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada
Código del Cliente	M4	M5	M4	M5
Código del Laboratorio	16053042	16053043	1606472	1606473
Ensayo	unidades	Resultados		
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	7.00	15.50	11.61 22.4

Producto declarado	Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Matriz analizada	Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo	2016-05-31	2016-05-31	2016-06-04	2016-06-04
Hora de inicio de muestreo (h)	15:00	15:15	15:00	15:15
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada
Código del Cliente	M4	M5	M4	M5
Código del Laboratorio	16053042	16053043	1606472	1606473
Ensayo	unidades	Resultados		
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	7.00	15.50	11.61 22.4

Producto declarado	Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Matriz analizada	Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo	2016-05-31	2016-05-31	2016-06-04	2016-06-04
Hora de inicio de muestreo (h)	15:00	15:15	15:00	15:15
Condiciones de la muestra	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada
Código del Cliente	M4	M5	M4	M5
Código del Laboratorio	16053042	16053043	1606472	1606473
Ensayo	unidades	Resultados		
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	7.00	15.50	11.61 22.4

## INFORME DE ENSAYO N° 103349-2016 CON VALOR OFICIAL

### II. RESULTADOS

Producto declarado		Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Matriz analizada		Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo		2016-06-11	2016-06-11	2016-06-18	2016-06-18
Hora de inicio de muestreo (h)		15:45	16:00	14:15	14:20
Condiciones de la muestra		Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada
Código del Cliente		M4	M5	M4	M5
Código del Laboratorio		16061029	16061030	16061635	16061636
Ensayo	unidades	Resultados			
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	4.90	8.94	11.6	8.33
Producto declarado		Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Matriz analizada		Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo		2016-06-25	2016-06-25	2016-06-25	2016-06-25
Hora de inicio de muestreo (h)		15:50	15:50	15:50	15:50
Condiciones de la muestra		Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada
Código del Cliente		M1	M2	M3	M4
Código del Laboratorio		16062610	16062611	16062607	16062608
Ensayo	unidades	Resultados			
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	132.17	5.73	12.82	4.50
Producto declarado		Agua residual			
Matriz analizada		Agua residual			
Fecha de muestreo		2016-06-25			
Hora de inicio de muestreo (h)		15:50			
Condiciones de la muestra		Refrigerada			
Código del Cliente		M5			
Código del Laboratorio		16062609			
Ensayo	unidades	Resultados			
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	8.12			

Lima, 06 de Julio del 2016

**ANEXO N°2:  
ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN MINITAB 17

### DBO5 – Sistema de biofiltro A (SBA)

#### Estadísticos descriptivos: M1; M2; M4

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
M1	132.58	7.36	54.15	5.55	122.80	132.30	140.70
M2	18.54	2.89	8.33	15.57	15.30	18.38	22.10
M4	11.13	6.91	47.73	62.05	4.94	7.92	19.38

### DBO5 – Sistema de biofiltro B (SBB)

#### Estadísticos descriptivos: M1; M3; M5

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
M1	132.58	7.36	54.15	5.55	122.80	132.30	140.70
M3	24.64	4.88	23.83	19.82	19.50	23.10	32.40
M5	11.36	5.84	34.09	51.39	5.66	10.49	19.20

### Solidos Suspendidos totales (SST) – Sistema de biofiltro A (SBA)

#### Estadísticos descriptivos: M1; M2; M4

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
M1	133.23	14.42	208.02	10.83	112.40	132.17	149.70
M2	7.13	3.16	10.02	44.41	3.80	5.73	10.80
M4	5.722	1.463	2.141	25.57	4.500	4.900	7.600

### Solidos Suspendidos totales (SST) – Sistema de biofiltro B (SBB)

#### Estadísticos descriptivos: M1; M3; M5

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
M1	133.23	14.42	208.02	10.83	112.40	132.17	149.70
M3	12.80	2.45	6.01	19.14	10.70	12.80	16.80
M5	12.66	6.25	39.03	49.36	8.12	8.94	22.40

### Nitratos – Sistema de biofiltro A (SBA)

#### Estadísticos descriptivos: M1; M2; M4

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
M1	3.370	0.363	0.132	10.78	2.800	3.400	3.800
M2	0.747	0.471	0.222	63.04	0.200	0.605	1.400
M4	1.626	1.108	1.229	68.16	0.699	1.191	3.435

### Nitratos – Sistema de biofiltro B (SBB)

#### Estadísticos descriptivos: M1; M3; M5

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
M1	3.370	0.363	0.132	10.78	2.800	3.400	3.800
M3	11.958	1.820	3.313	15.22	9.400	12.500	13.688
M5	2.254	1.267	1.605	56.21	1.184	1.977	4.293

## Nitritos – Sistema de biofiltro A (SBA)

### Estadísticos descriptivos: M1; M2; M4

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
M1	0.003400	0.000548	0.000000	16.11	0.003000	0.003000	0.004000
M2	0.2038	0.1581	0.0250	77.60	0.0040	0.2340	0.3710
M4	0.648	0.845	0.713	130.25	0.004	0.099	1.887

## Nitritos – Sistema de biofiltro B (SBB)

### Estadísticos descriptivos: M1; M3; M5

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
M1	0.003400	0.000548	0.000000	16.11	0.003000	0.003000	0.004000
M3	1.380	0.818	0.669	59.26	0.780	0.850	2.632
M5	0.483	0.613	0.376	126.90	0.065	0.183	1.534

## Fosfatos – Sistema de biofiltro A (SBA)

### Estadísticos descriptivos: M1; M2; M4

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
M1	23.357	2.006	4.024	8.59	19.800	24.300	24.484
M2	2.528	1.784	3.182	70.55	1.400	1.842	5.700
M4	1.701	1.315	1.729	77.31	0.914	1.220	4.032

## Fosfatos – Sistema de biofiltro B (SBB)

### Estadísticos descriptivos: M1; M3; M5

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
M1	23.357	2.006	4.024	8.59	19.800	24.300	24.484
M3	2.496	1.165	1.358	46.69	1.400	2.200	4.400
M5	1.310	1.085	1.177	82.80	0.589	0.759	3.150

## Coliformes Termotolerantes – Sistema de biofiltro A (SBA)

### Estadísticos descriptivos: M1; M2; M4

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
M1	4898000	2286814	5.22952E+12	46.69	990000	5800000	6800000
M2	81400	9127	83300000	11.21	69000	80000	94000
M4	6398	7980	63674520	124.72	490	800	17000

## Coliformes Termotolerantes – Sistema de biofiltro B (SBB)

### Estadísticos descriptivos: M1; M3; M5

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
M1	4898000	2286814	5.22952E+12	46.69	990000	5800000	6800000
M3	252000	158335	25070000000	62.83	90000	220000	450000
M5	32098	55141	3040526520	171.79	790	11000	130000

### Sistema de biofiltro A (SBA)

**Correlación: DBO5; SST; Nitratos; Nitritos; Fosfatos; Coliformes Termotolerantes**

	DBO5	SST	Nitratos
Nitritos			
SST	0.993		
Nitratos	0.605	0.593	
Nitritos	-0.322	-0.312	0.336
Fosfatos	0.979	0.990	0.571
-0.337			
Coliformes Termo	0.992	1.000	0.586
-0.311			
	Fosfatos		
Coliformes Termo	0.992		

Contenido de la celda: Correlación de Pearson

### Sistema de biofiltro B (SBB)

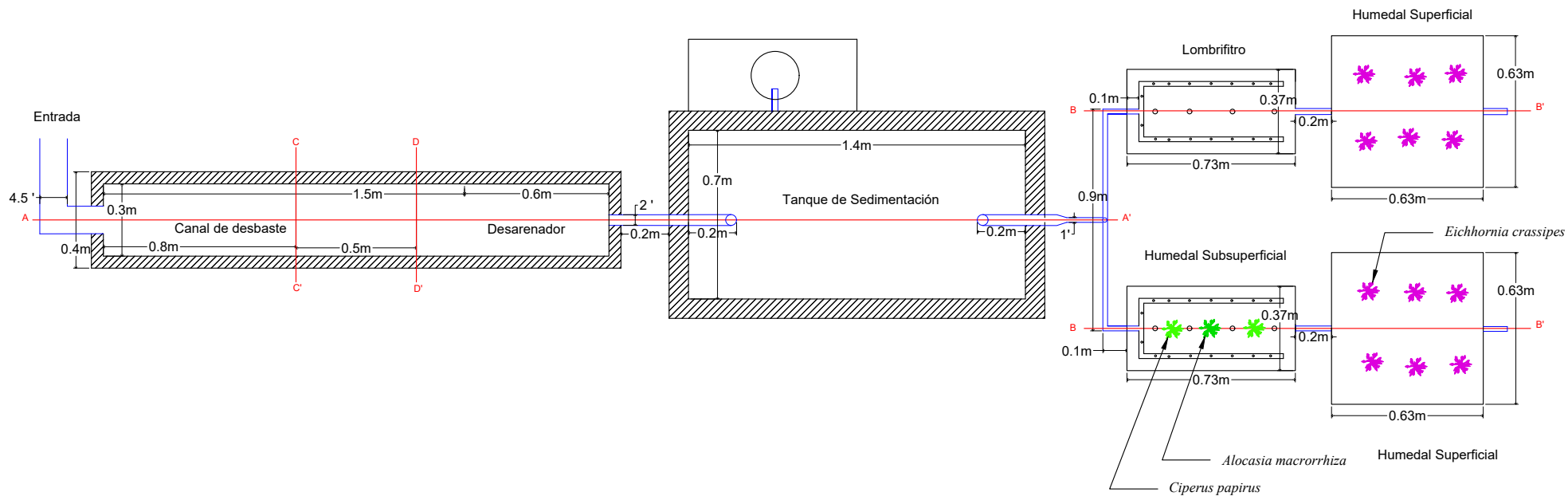
**Correlación: DBO5; SST; Nitratos; Nitritos; Fosfatos; Coliformes Termotolerantes**



	DBO5	SST	Nitratos
Nitritos			
SST	0.978		
Nitratos	0.042	-0.086	
Nitritos	-0.234	-0.324	0.898
Fosfatos	0.988	0.983	0.006
-0.225			
Coliformes Termo	0.990	0.991	-0.031
-0.289			
	Fosfatos		
Coliformes Termo	0.994		

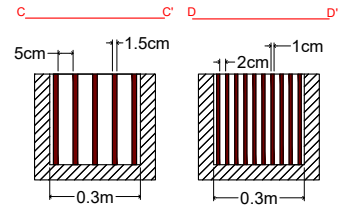
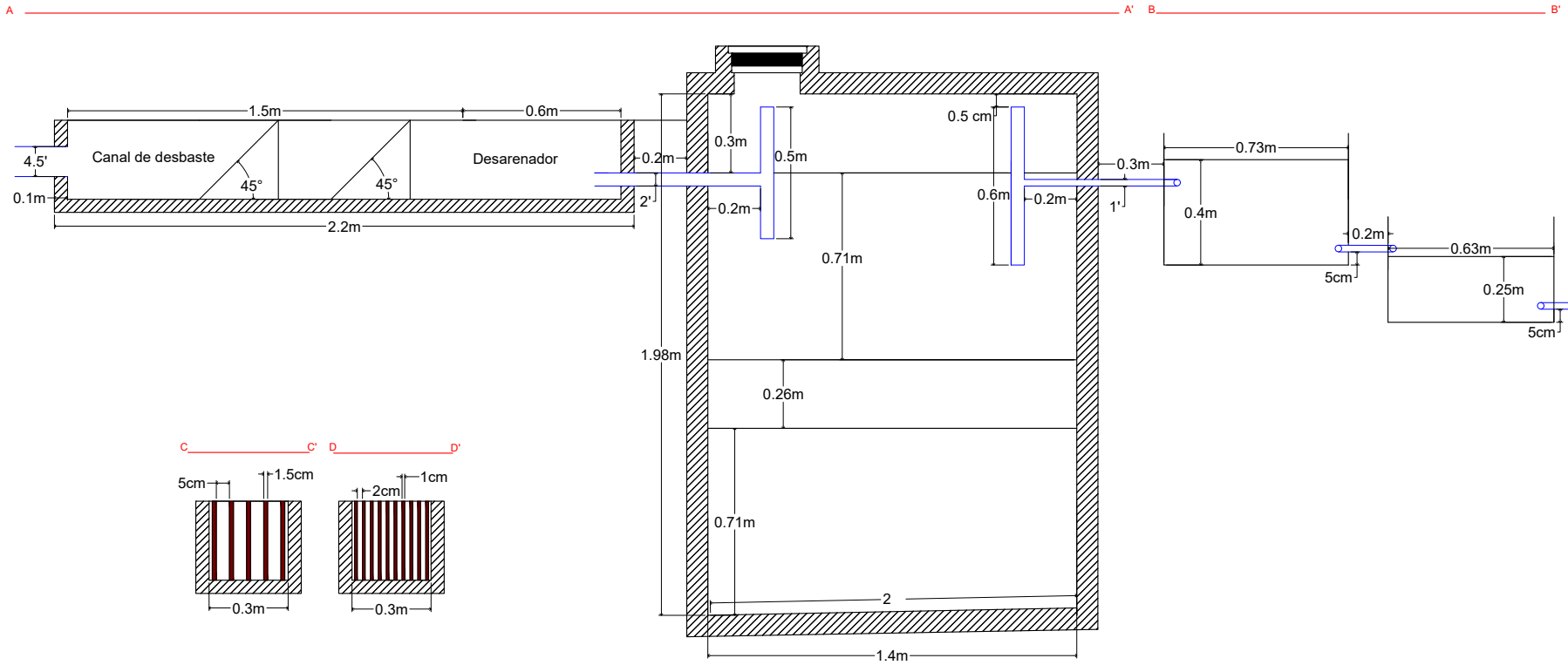
Contenido de la celda: Correlación de Pearson





**ANEXO N°3:  
PLANOS SB1 Y SB2 – PILOTO**



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL</b> Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental	
TESIS: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENTRE DOS SISTEMAS DE BIOFILTROS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA LOCALIDAD DE CARAPONGO, LURIGANCHO-CHOSICA		
<b>VISTA EN PLANTA DE LOS SISTEMAS DE BIOFILTROS</b>		
ELABORADO POR: Bach. Andrea Elizabeth Quispe Pulido	REVISADO POR: Dr. Walter Gomez Lora	PLANO N°: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">01</div>
FECHA: SETIEMBRE-2017	ESCALA: 1:25	REGIÓN: LIMA
DISTRITO: LURIGANCHO-CHOSICA		



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL</b> Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental	
TESIS: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENTRE DOS SISTEMAS DE BIOFILTROS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA LOCALIDAD DE CARAPONGO, LURIGANCHO-CHOSICA		
<b>VISTA DE PERFIL DE LOS SISTEMAS DE BIOFILTROS</b>		
ELABORADO POR: Bach. Andrea Elizabeth Quispe Pulido	REVISADO POR: Dr. Walter Gomez Lora	PLANO N°: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">02</div>
FECHA: SETIEMBRE-2017	ESCALA: 1:25	REGIÓN: LIMA
		DISTRITO: LURIGANCHO-CHOSICA

**ANEXO N°4:**  
**COSTO DE INSTALACIÓN, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN**  
**PILOTO Y PROPUESTA**

**PRESUPUESTO- PILOTO SB1 Y SB2**

<b>Canal de desbaste y Tanque séptico</b>				
<i>materiales</i>	<i>cantidad</i>	<i>unidad</i>	<i>precio</i>	<i>costo</i>
Ladrillos	190	und	S/.0.70	S/.133.00
Cemento	9	und	S/.20.00	S/.180.00
Arena fina	5	bolsas	S/.3.00	S/.15.00
Arena gruesa	1	m3	S/.65.00	S/.65.00
Piedra chancada	3	bolsas	S/.3.00	S/.9.00
Tubos de 2 "	2	und	S/.10.00	S/.20.00
Tubos de 4 "	2	und	S/.20.00	S/.40.00
Tubo "T" de 2"	2	und	S/.1.50	S/.3.00
Pegamento	1	und	S/.2.00	S/.2.00
Teflon	3	und	S/.1.00	S/.3.00
Superblue	2	und	S/.0.50	S/.1.00
Tapon 2"	1	und	S/.1.50	S/.1.50
Codos de 4"	2	und	S/.6.75	S/.13.50
Lampa	1	und	S/.40.00	S/.40.00
Pico	1	und	S/.40.00	S/.40.00
Flete (transporte)	1			S/.24.00
<b>Costo Parcial</b>				<b>S/.590.00</b>

<b>Otros materiales/equipos</b>				
<i>materiales</i>	<i>cantidad</i>	<i>unidad</i>	<i>precio</i>	<i>costo</i>
Guantes quirurgicos	2	caja	S/.8.00	S/.16.00
Mascarillas	1	caja	S/.12.00	S/.12.00
Jabon liquido	500	ml	S/.9.00	S/.9.00
Plastico	10	mt	S/.4.00	S/.40.00
Calculadora cientifica	1	und	S/.80.00	S/.80.00
Laptop	1	und	S/.1,800.00	S/.1,800.00
<b>Costo Parcial</b>				<b>S/.1,957.00</b>

<b>Análisis de Laboratorio</b>				
<i>parametros</i>	<i>cantidad</i>	<i>unidad</i>	<i>precio</i>	<i>costo</i>
DBO	24	muestras	S/.45.00	S/.1,080.00
PH	24	muestras	S/.10.50	S/.252.00
OD	24	muestras	S/.33.60	S/.806.40
Temperatura	24	muestras	S/.10.00	S/.240.00
SST	24	muestras	S/.27.00	S/.648.00
Nitratos	24	muestras	S/.32.40	S/.777.60
Fosfatos	24	muestras	S/.37.80	S/.907.20
Escherichia Coli	7	muestras	S/.67.50	S/.472.50
Coliformes termotolerantes	24	muestras	S/.43.20	S/.1,036.80
IGV 18%				S/.1,119.69
<b>Costo Parcial</b>				<b>S/.7,340.19</b>

<b>Sistema de biofiltros</b>				
<i>materiales</i>	<i>cantidad</i>	<i>unidad</i>	<i>precio</i>	<i>costo</i>
Cyperus papyrus	2	und	S/.2.50	S/.5.00
Alocasia macrorrhiza	2	und	S/.2.50	S/.5.00
Eisenia foetida	0.5	kg	S/.30.00	S/.15.00
Confitillo	5	bolsas	S/.3.00	S/.15.00
Arena gruesa	2	bolsas	S/.3.00	S/.6.00
Arena fina	2	bolsas	S/.3.00	S/.6.00
Turba	2	bolsas	S/.3.00	S/.6.00
Tanque de vidrio de 70x35x40	2	und	S/.120.00	S/.240.00
Tanque de vidrio de 50x50x40	2	und	S/.90.00	S/.180.00
Caños plasticos	5	und	S/.3.00	S/.15.00
Tubo de 1/2	2	und	S/.5.00	S/.10.00
Reduccion de 2-1	1	und	S/.1.00	S/.1.00
Tubo "T" de 1"	1	und	S/.1.00	S/.1.00
Tubo adaptador con rosca de 2"	1	und	S/.2.00	S/.2.00
Tapon con rosca de 2"	1	und	S/.3.00	S/.3.00
Llave de 1"	1	und	S/.7.00	S/.7.00
Teflon	3	und	S/.1.00	S/.3.00
Codo de 1/2	8	und	S/.0.50	S/.4.00
Tubo "T" de 1/2	3	und	S/.0.50	S/.1.50
Tapon de 1/2	4	und	S/.0.50	S/.2.00
Union de 1/2	1	und	S/.0.70	S/.0.70
Pegamento	1	und	S/.2.00	S/.2.00
Reduccion de 3/4 -1/2	2	und	S/.1.00	S/.2.00
Union mixto de 1/2	1	und	S/.1.00	S/.1.00
Soldimix	1	und	S/.5.00	S/.5.00
Moldimix	3	und	S/.5.00	S/.15.00
Flete (transporte)				S/.50.00
<b>Costo Parcial</b>				<b>S/.553.20</b>

<b>Otros servicios</b>				
<i>servicios</i>	<i>cantidad</i>	<i>unidad</i>	<i>precio</i>	<i>costo</i>
Pasajes (transporte de muestras y monitoreo)	5	meses	S/.160.00	S/.800.00
Albañil y ayudante	7	dias	S/.120.00	S/.840.00
<b>Costo Parcial</b>				<b>S/.1,640.00</b>

Canal de desbaste y Tanque séptico				S/.590.00
Sistema de biofiltros				S/.553.20
Otros materiales/equipos				S/.1,957.00
Análisis de Laboratorio				S/.7,340.19
Otros servicios				S/.1,640.00
<b>Costo total</b>				<b>S/.12,080.39</b>

**PRESUPUESTO- PROPUESTA SB1**

<b>Canal de desbaste y Tanque séptico</b>				
<i>materiales</i>	<i>cantidad</i>	<i>unidad</i>	<i>precio</i>	<i>costo</i>
Ladrillos	500	und	S/.0.70	S/.350.00
Cemento	50	und	S/.20.00	S/.1,000.00
Arena fina	1	m3	S/.10.00	S/.10.00
Arena gruesa	1	m3	S/.65.00	S/.65.00
Piedra chancada	1	m3	S/.15.00	S/.15.00
Varilla de acero 3/8	22	und	S/.4.00	S/.88.00
Varilla de acero 1/4	2	und	S/.2.00	S/.4.00
Alambre de #16	4	kg	S/.15.00	S/.60.00
Tubos de 4 "	1	und	S/.20.00	S/.20.00
Tubo "T" de 4"	2	und	S/.2.50	S/.5.00
Pegamento	3	und	S/.2.00	S/.6.00
Teflon	4	und	S/.1.00	S/.4.00
Tapon 4"	1	und	S/.3.00	S/.3.00
Reduccion de 4 a 2	1	und	S/.5.00	S/.5.00
Codos de 4"	1	und	S/.6.75	S/.6.75
Flete (transporte)	1			S/.30.00
<b>Costo Parcial</b>				<b>S/.1,671.75</b>

<b>Humedales</b>				
<i>materiales</i>	<i>cantidad</i>	<i>unidad</i>	<i>precio</i>	<i>costo</i>
<i>Cyperus papyrus</i>	19	und	S/.1.00	S/.19.00
<i>Alocasia macrorrhiza</i>	19	und	S/.1.00	S/.19.00
<i>Eichhornia crassipes</i>	50	und	S/.1.00	S/.50.00
Geomembrana HS	90	m2	S/.150.00	S/.13,500.00
Geomembrana HS	75	m2	S/.150.00	S/.11,250.00
Piedra chancada 1/2	35	m3	S/.20.00	S/.700.00
Arena gruesa	30	m3	S/.40.00	S/.1,200.00
Tubo de agua de 2" (5m)	8	und	S/.7.00	S/.56.00
Tubo de desague de 4" (3m)	6	und	S/.8.00	S/.48.00
Tee de agua de 2"	4	und	S/.4.00	S/.16.00
Codo de 90° de 2"	3	und	S/.3.00	S/.9.00
Valvula 2"	2	und	S/.10.00	S/.20.00
Tubo "T" de 1"	1	und	S/.1.00	S/.1.00
Teflon	3	und	S/.1.00	S/.3.00
Pegamento	1	und	S/.4.00	S/.4.00
Flete (transporte)				S/.50.00
<b>Costo Parcial</b>				<b>S/.26,895.00</b>

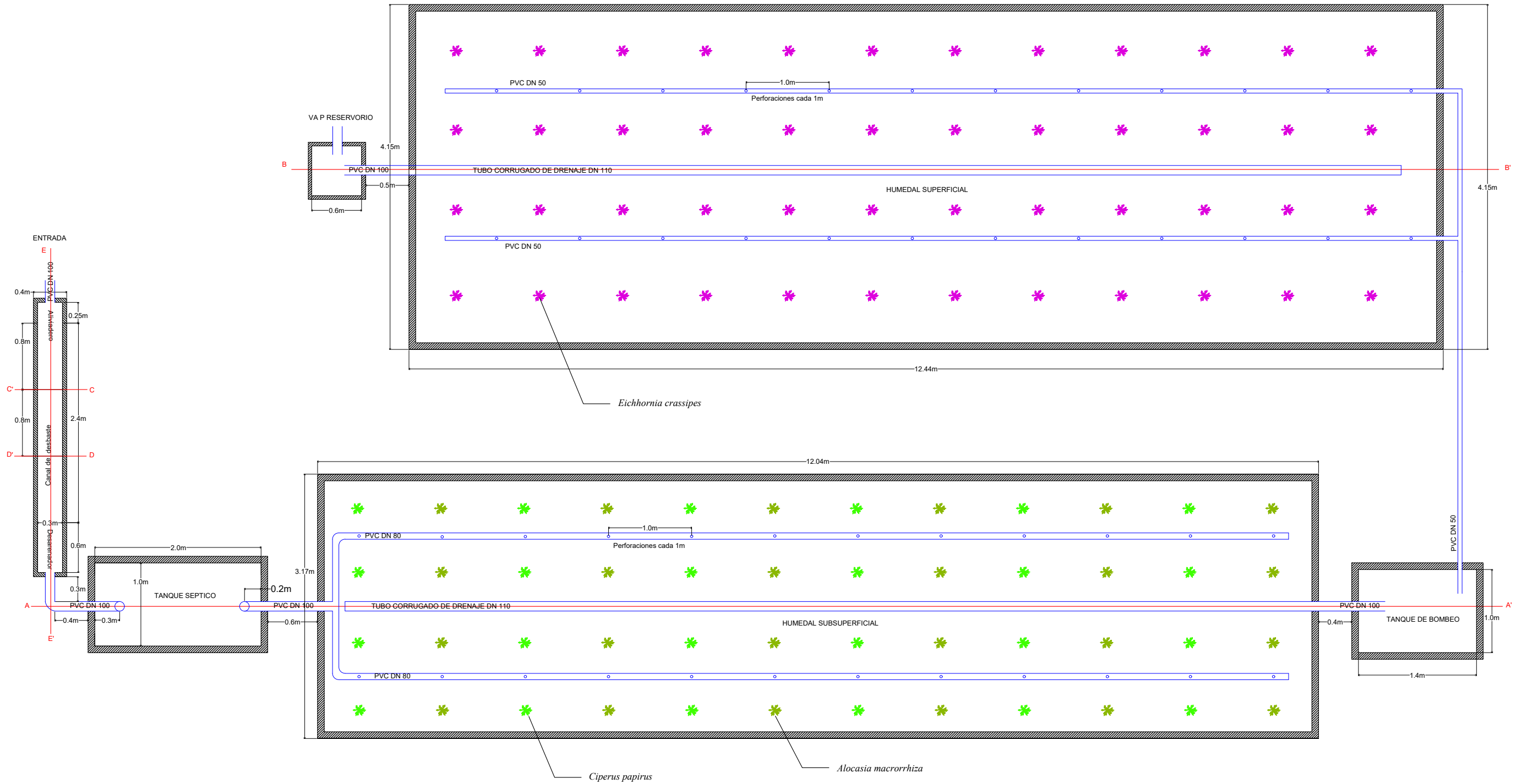
<b>Instalaciones eléctricas</b>				
<i>materiales</i>	<i>cantidad</i>	<i>unidad</i>	<i>precio</i>	<i>costo</i>
Bomba sumergible de 0.75 HP	1	und	S/.1,000.00	S/.1,000.00
Cable eléctrico	50	m	S/.0.60	S/.30.00
Tubería de luz	20	m	S/.1.50	S/.30.00
Plástico	10	mt	S/.4.00	S/.40.00
Accesorios	1	-	S/.280.00	S/.280.00
<b>Costo Parcial</b>				<b>S/.1,380.00</b>


<b>Otros servicios</b>				
<i>servicios</i>	<i>cantidad</i>	<i>unidad</i>	<i>precio</i>	<i>costo</i>
Mano de obra	10	dias	S/.80.00	S/.800.00
<b>Costo Parcial</b>				<b>S/.800.00</b>

Canal de desbaste y Tanque séptico	S/.1,671.75			
Humedales	S/.26,895.00			
Instalaciones eléctricas	S/.1,380.00			
Otros servicios	S/.800.00			
<b>Costo total</b>	<b>S/.30,746.75</b>			



**ANEXO N°5:**  
**PLANOS SISTEMA DE BIOFILTRO SB1 - PROPUESTA**

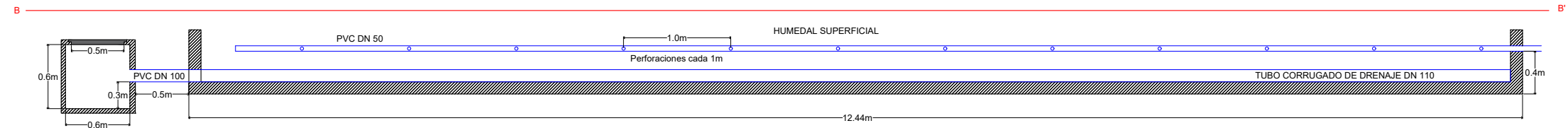
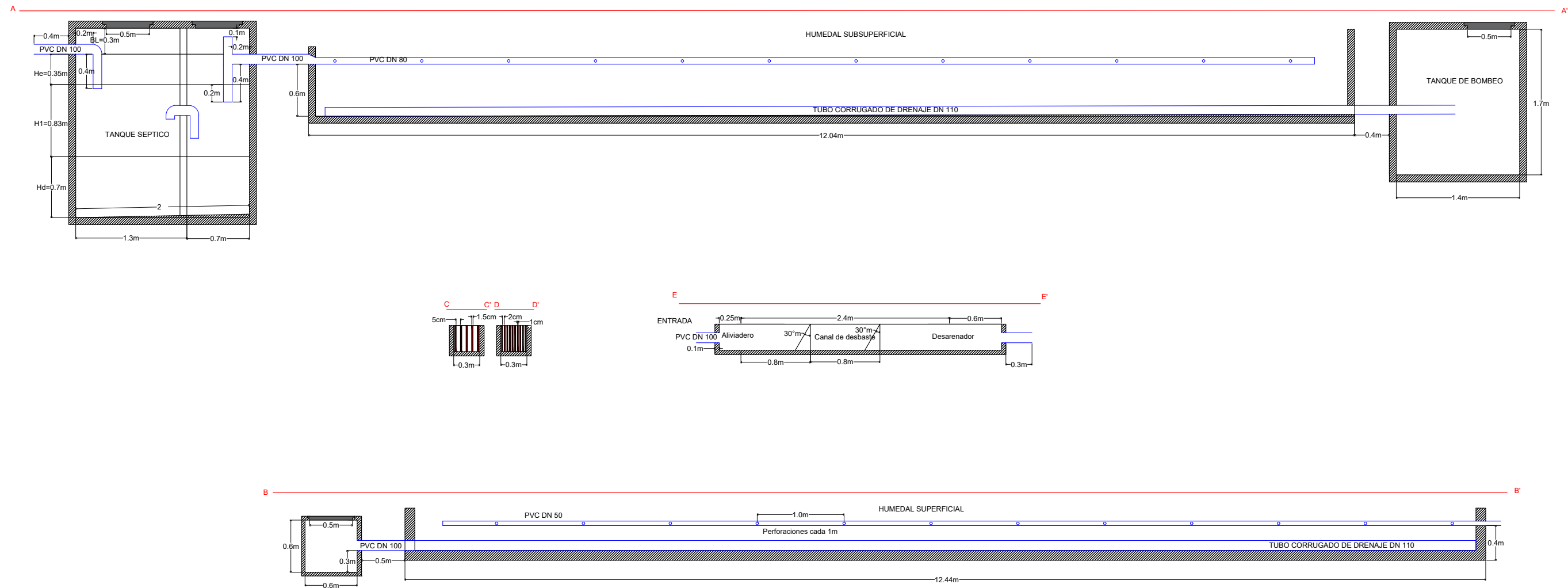





**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
 Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo  
 Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TESIS: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENTRE DOS SISTEMAS DE BIOFILTROS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA LOCALIDAD DE CARAPONGO, LURIGANCHO-CHOSICA

**VISTA EN PLANTA DEL SISTEMA DE BIOFILTRO SB1 - PROPUESTA**

ELABORADO POR: Bach. Andrea Elizabeth Quispe Pulido		REVISADO POR: Dr. Walter Gomez Lora		PLANO N°: <b>03</b>
FECHA: SEPTIEMBRE-2017	ESCALA: 1:50	REGIÓN: LIMA	DISTRITO: LURIGANCHO-CHOSICA	



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL</b> Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental		
TESIS: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENTRE DOS SISTEMAS DE BIOFILTROS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA LOCALIDAD DE CARAPONGO, LURIGANCHO-CHOSICA		
<b>VISTA PERFIL SISTEMA DE BIOFILTRO SB1 - PROPUESTA</b>		
ELABORADO POR: Bach. Andrea Elizabeth Quispe Pulido	REVISADO POR: Dr. Walter Gomez Lora	PLANO N°:
FECHA: SETIEMBRE-2017	ESCALA: 1:50	REGIÓN: LIMA
		DISTRITO: LURIGANCHO-CHOSICA
		04

**ANEXO N°6:  
MATRIZ DE CONSISTENCIA**

EVALUACION DE LA EFICIENCIA ENTRE DOS SISTEMAS DE BIOFILTROS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA LOCALIDAD DE CARAPONGO, LURIGANCHO-CHOSICA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA	TECNICAS E INSTRUMENTOS
<p><b>Problema principal</b> ¿Cuál de los dos sistemas pilotos de biofiltros es más eficiente para el tratamiento de las aguas residuales de la localidad de Carapongo-Lurigancho Chosica?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo se diseñará e implementará los dos sistemas pilotos de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales de la localidad de Carapongo-Lurigancho Chosica? 12</li> <li>• ¿De qué manera se analizará la calidad del agua residual y determinará su eficiencia entre los dos sistemas pilotos de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales de la localidad de Carapongo-Lurigancho Chosica?</li> <li>• ¿Cuáles serían las dimensiones y condiciones del sistema de biofiltros más eficiente a una mayor escala para la localidad de Carapongo?</li> </ul>	<p><b>Objetivo general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar la eficiencia entre dos sistemas pilotos de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales mediante el análisis de parámetros físico - químico y microbiológico a fin de mejorar su calidad en la localidad de Carapongo - Lurigancho Chosica.</li> </ul> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar e implementar los dos sistemas pilotos de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales de la localidad de Carapongo- Lurigancho Chosica.</li> <li>• Analizar la calidad del agua residual antes y después de su tratamiento en función de sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a fin de determinar la eficiencia en la remoción de la carga de contaminantes entre los dos sistemas pilotos de biofiltros.</li> <li>• Proponer el diseño del sistema de biofiltros más eficiente a una mayor escala considerando las condiciones de la localidad de Carapongo.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de biofiltro SB1 será más eficiente que el sistema de biofiltro SB2 para el tratamiento de las aguas residuales de la localidad de Carapongo- Lurigancho Chosica.</li> </ul>	<p><b>Variable dependiente</b> Tratamiento del agua residual doméstica.</p> <p><b>Variable independiente</b> Sistema de biofiltros</p>	<p><b>Diseño</b> Experimental – cuasi experimental</p> <p><b>Tipo:</b> Según la intervención del investigador, es del tipo experimental. Según la planificación de la toma de datos, es prospectivo. Según el número de ocasiones en que se mide la variable de estudio es del tipo longitudinal. Según el número de variables de interés es del tipo analítico.</p> <p><b>Población:</b> Localidad de Carapongo Lurigancho-Chosica.</p> <p><b>Muestra</b> Aguas Residuales Domesticas de una vivienda de Carapongo, Lurigancho.</p>	<p><b>Técnica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprueban el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR. Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA</li> <li>• Norma Técnica I.S. 020 - Tanques Sépticos.</li> <li>• Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial (García &amp; Corzo, 2008)</li> </ul>