

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS  
BENÉFICOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DOMÉSTICAS EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL”**

Presentada por:

**MIKI ANDREA SEGAMI SHIGYO**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Lima – Perú

2018

## *Agradecimientos*

*A la Doctora Carmen Felipe Morales por darme la oportunidad de desarrollar el presente proyecto en Quebrada Verde y por su constante apoyo a lo largo de este.*

*Al Ingeniero Lawrence Quipuzco por sus enseñanzas y continuo asesoramiento sin los cuales el proyecto no se hubiera cumplido.*

*Al Sr. Melquiades Gutiérrez, la Sra. María y el Sr. Jacinto Mendoza, y todos los miembros de la comunidad del Circuito Ecoturístico Lomas de Lúcumo por recibirme calurosamente en Quebrada Verde y hacer posible la construcción de los humedales artificiales.*

*A mis amigas, mis amigos, Keimi, Ryuji y Eri por hacerme sonreír cuando más lo necesito.*

*A mi papá y mamá, a los cuales les debo más de lo que puedo imaginar.*

## ÍNDICE GENERAL

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> . . . . .	1
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
2.1.	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	3
2.1.1.	PARÁMETROS FÍSICOS.....	3
2.1.2.	PARÁMETROS QUÍMICOS.....	4
2.1.3.	PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.....	6
2.1.4.	REÚSO DE AGUAS RESIDUALES.....	8
2.2.	HUMEDALES ARTIFICIALES.....	10
2.2.1.	HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL.....	10
2.2.2.	COMPONENTES DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES.....	12
2.2.3.	MECANISMOS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES.....	14
2.3.	MICROORGANISMOS BENÉFICOS.....	15
2.3.1.	COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES.....	15
2.3.2.	APLICACIONES.....	20
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	22
3.1.	CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR DE EXPERIMENTACIÓN.....	22
3.1.1.	CONSUMO DE AGUA.....	22
3.2.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	23
3.2.1.	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	23
3.2.2.	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	24
3.2.3.	SELECCIÓN DE PLANTAS MACRÓFITAS.....	24
3.3.	CULTIVO Y APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICO.....	24
3.3.1.	CULTIVO DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS.....	24

3.3.2. ACTIVACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS.....	25
3.3.3. APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS.....	26
3.4. MONITOREO DEL DESEMPEÑO.....	29
3.5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	32
3.5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	32
3.5.2. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS TRATAMIENTOS.....	32
3.5.3. CÁLCULO DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS HUMEDALES.....	32
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>
4.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	34
4.1.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	34
4.1.2. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	44
4.1.3. SIEMBRA DE PLANTAS MACRÓFITAS.....	50
4.2. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS.....	52
4.3. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL TRATADA... ..	53
4.3.1. PARÁMETROS FÍSICOS.....	55
4.3.2. PARÁMETROS QUÍMICOS.....	58
4.3.3. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.....	62
4.4. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE HUMEDALES... ..	66
4.4.1. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO.....	66
4.5. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS.....	67
4.5.1. DESARROLLO DE LAS PLANTAS MACRÓFITAS.....	67
4.5.2. ANÁLISIS DEL MÉTODO DE APLICACIÓN.....	67

4.5.2. EFECTIVIDAD DE LOS MICROORGANISMOS BENÉFICOS .....	69
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>74</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1. Características epidemiológicas de los patógenos excretados.....	7
Tabla N°2. Directrices de calidad microbiológica recomendada para el empleo de agua residual en agricultura.....	9
Tabla N°3. Mecanismos de remoción en los sistemas de tratamiento basados en plantas macrófitas .....	14
Tabla N°4. Concentración de principales especies en varios productos de EM.....	16
Tabla N°5. Volúmenes parciales por recolectar para muestreo compuesto.....	30
Tabla N°6. Parámetros de calidad de agua monitoreados en cada punto de muestreo y sus métodos de conservación y análisis.....	31
Tabla N°7. Datos iniciales usados en el diseño del tanque séptico.....	34
Tabla N°8. Resultados de los cálculos para el diseño del tanque séptico.....	35
Tabla N°9. Datos iniciales usados en el diseño de la trampa de grasas.....	36
Tabla N°10. Resultados de los cálculos para el diseño de la trampa de grasas.....	36
Tabla N°11. Dimensiones finales de los humedales artificiales.....	37
Tabla N°12. Características de la trampa de grasas y el tanque séptico.....	46
Tabla N°13. Comportamiento de pH del cultivo de microorganismos benéficos.....	52
Tabla N°14. Características del líquido madre de microorganismos benéficos.....	52
Tabla N°15. Valores promedio de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos analizados en el agua residual tratada.....	54
Tabla N°16. Porcentajes de remoción de sólidos suspendidos totales en los humedales artificiales control y experimental con MOB.....	59
Tabla N°17. Porcentajes de remoción de la DBO5 en los humedales artificiales control y experimental con MOB.....	60
Tabla N°18. Porcentajes de remoción de la demanda química de oxígeno en los humedales artificiales control y experimental con MOB.....	62
Tabla N°19. Porcentajes de remoción de coliformes fecales en los humedales artificiales control y experimental con MOB.....	63
Tabla N°20. Porcentajes de remoción de larvas y huevos de helmintos en los humedales artificiales control y experimental con MOB.....	65

Tabla N°21. Parámetros de funcionamiento de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.....	66
Tabla N°22. Concentración de <i>Lactobacillus sp.</i> al final del monitoreo en las bolas de barro de MOB enterradas.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N °1. Humedal subsuperficial de flujo horizontal.....	11
Figura N °2. Humedal subsuperficial de flujo vertical.....	12
Figura N °3. Mezcla para cultivar MOB cubierto de plástico adherente.....	25
Figura N °4. Líquido activado de MOB al 10 por ciento.....	26
Figura N °5. Preparación de bolas de barro con microorganismos benéficos.....	27
Figura N °6. Humedales artificiales con achiras de dos meses de sembradas.....	27
Figura N °7. Bola de barro con microorganismos benéficos y su hoyo de entierro entre las achiras del humedal artificial experimental .....	28
Figura N °8. Ubicación de los puntos de muestreo de agua en el sistema de tratamiento	29
Figura N °9. Plano de la trampa de grasas.....	38
Figura N °10. Plano del tanque séptico .....	40
Figura N °11. Plano de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal...	42
Figura N °12. Excavación para la construcción del tanque séptico.....	44
Figura N °13. División de una roca con el equipo lanzallamas.....	44
Figura N °14. Proceso de construcción del tanque séptico.....	45
Figura N °15. Tubo de PVC de 2” de diámetro unido a un niple cubierto de cinta teflón y con una contratuerca y una empaquetadura ya enroscadas.....	47
Figura N °16. Tubos de PVC con tapa en sólo uno de los extremos y con agujeros de 1 cm espaciados cada 10 cm.....	47
Figura N °17. Construcción del reservorio final de agua tratada.....	48
Figura N °18. Proceso de construcción de los humedales artificiales.....	49
Figura N °19. Tallo de achira cortado a 20 cm por encima del bulbo.....	50
Figura N °20. Siembra del tallo colocando el bulbo en contacto con el agua.....	50
Figura N °21. Desarrollo de las achiras en los humedales artificiales desde la siembra y durante el periodo de monitoreo.....	51
Figura N °22. Variación de la temperatura del afluente, del efluente experimental y del efluente control durante el periodo de monitoreo.....	55
Figura N °23. Variación de la conductividad eléctrica del afluente, del efluente experimental y del efluente control durante el periodo de monitoreo.....	56



Figura N °24. Variación del pH del afluente, del efluente experimental y del efluente control durante el periodo de monitoreo.....	57
Figura N °25. Variación de sólidos suspendidos totales en el afluente, el efluente experimental y el efluente control durante el periodo de monitoreo.....	58
Figura N °26. Variación de la DBO5 en el afluente, efluente experimental y el efluente control durante el periodo de monitoreo.....	59
Figura N °27. Variación de la demanda química de oxígeno en el afluente, el efluente experimental y el efluente control durante el periodo de monitoreo.....	61
Figura N °28. Variación de los coliformes fecales en el afluente, el efluente experimental y el efluente control durante el periodo de monitoreo.....	63
Figura N °29. Variación de larvas y huevos de helmintos en el afluente, el efluente experimental y el efluente control durante el periodo de monitoreo.....	64

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS DE CAUDAL DEL AFLUENTE MEDIDOS EN EL PREMONITOREO.....	76
ANEXO 2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).....	77
ANEXO 3. INFORMES DE LABORATORIO.....	79

## RESUMEN

Los humedales artificiales son una tecnología para el tratamiento de aguas residuales idónea para zonas rurales, sin embargo, los valores habituales de remoción de coliformes fecales se encuentra entre 1 y 2 logaritmos, los cuales no son suficientes para satisfacer los estándares de calidad de agua para reúso en riego. Los microorganismos benéficos son un agente natural que potencia el proceso natural de degradación y, por ende, poseen potencial para el tratamiento de las aguas residuales. Este consorcio microbiano es liderado por las bacterias ácido lácticas que condicionan un pH menor a cuatro, lo que podría favorecer la eliminación de coliformes fecales y otros patógenos en las aguas residuales. La presente investigación pretende evaluar el efecto de la aplicación de los microorganismos benéficos en humedales artificiales para la remoción de coliformes fecales en las aguas residuales domésticas. Para esto, se implementó un sistema de tratamiento con dos humedales artificiales en paralelo, uno de control y otro con microorganismos benéficos, en el ingreso al Circuito Ecoturístico Lomas de Lúcumo en el Centro Poblado Rural Quebrada Verde, en Pachacámac, Lima. La aplicación de los microorganismos benéficos se realizó mediante bolas de barro, y luego de un monitoreo de la calidad del afluente y los efluentes durante siete semanas, se comparó la eficiencia de remoción de coliformes fecales, larvas y huevos de helmintos, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales entre los dos humedales. Se condujo un Análisis de Varianzas con un nivel de significancia del 95 por ciento; no se obtuvieron diferencias significativas ( $p=0.05$ ) entre los dos tratamientos, excepto con el parámetro de sólidos suspendidos totales. Si bien existieron resultados aislados de aparente mejora en el humedal experimental, la aplicación de microorganismos benéficos en bolas de barro no incrementó significativamente la eficiencia de remoción de los parámetros microbiológicos; por lo tanto, el efluente no era apto para reúso en riego.

**Palabras Clave:** aguas residuales domésticas, bolas de barro, coliformes fecales, humedales artificiales, microorganismos benéficos, reúso en riego.

## **ABSTRACT**

Constructed wetlands are a wastewater treatment technology suitable for rural areas, however, the usual values of fecal coliform bacteria removal are between 1 and 2 logarithms, which are not sufficient to meet the water quality standards for reuse in irrigation. The beneficial microorganisms are a natural agent that enhances the natural process of degradation and, therefore, have potential for wastewater treatment. This microbial consortium is led by lactic acid bacteria that condition a pH of less than four, which could favor the elimination of fecal coliforms and other pathogens in wastewater. The present research aims to evaluate the effect of the application of beneficial microorganisms in constructed wetlands for the removal of fecal coliforms in domestic wastewater. For this, a treatment system was implemented with two artificial wetlands in parallel, one of control and another with beneficial microorganisms, at the entrance to the Lomas de Lúcumo Ecotourism Circuit in Quebrada Verde Rural Village, in Pachacámac, Lima. The application of the beneficial microorganisms was done via mud balls, and after monitoring the water quality in the inlet and the outlets for seven weeks, the efficiency of removal of fecal coliforms, larvae and helminth eggs, biological oxygen demand, chemical oxygen demand, and total suspended solids was compared between the two wetlands. An Analysis of Variances was conducted with a level of significance of 95 percent; no significant differences were obtained ( $p = 0.05$ ) between the two treatments, except for the parameter of total suspended solids. Although there were isolated results of apparent improvement in the experimental wetland, the application of beneficial microorganisms via mud balls did not significantly increase the efficiency of removal of the microbiological parameters; therefore, the effluent was not suitable for irrigation reuse.

**Keywords:** beneficial microorganisms, constructed wetlands, domestic wastewater, fecal coliforms, irrigation reuse, mud balls.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde sus orígenes en 1950, los humedales artificiales han surgido como una tecnología de tratamiento de aguas residuales idónea para las zonas rurales de bajos recursos económicos que carecen de un sistema de alcantarillado (Coleman et al., Karathanasis et al., Regelsberger et al., citados por Calheiros, 2015). Sin embargo, debido a la complejidad de la interacción de los componentes abióticos y bióticos en ellos, los conocimientos para la remoción de contaminantes biológicos aún son precarios (Wu et al., 2015). Actualmente, mientras que los humedales artificiales poseen una buena eficiencia de remoción del 85 al 95 por ciento de sólidos suspendidos y alrededor del 85 por ciento de la DBO<sub>5</sub>, los valores habituales de eliminación de coliformes fecales se encuentran entre 1 y 2 logaritmos, los cuales, no son suficientes para satisfacer los estándares de calidad de agua para reúso en riego usualmente (Morato et al., 2005; Wu et al. 2015).

Por otro lado, desde los años 80, la tecnología de los microorganismos benéficos (MOB) se ha difundido como un agente natural para el tratamiento de olores, agua residual y otros problemas ambientales. Su potencial para el tratamiento de aguas residuales yace en su capacidad para potenciar el proceso natural de depuración (Higa y Chinen, 1998). Este consorcio microbiano es liderado por las bacterias ácido lácticas, las cuales secretan ácidos orgánicos que condicionan un pH menor a cuatro. Esto podría resultar en una rápida extinción de los coliformes fecales en las aguas residuales, ya que estos sobreviven mejor a valores de pH entre 5.5 y 7.5 (McFeters y Stuart, Solic y Krstulovic, citados por Wu et al. 2015).

La presente investigación pretende evaluar el efecto que podría tener la aplicación de la tecnología de los microorganismos benéficos en la remoción de coliformes fecales de las aguas residuales domésticas tratadas en humedales artificiales. De esta manera, se implementó un sistema de tratamiento con dos humedales artificiales dispuestos en paralelo, uno de control y otro con microorganismos benéficos. Dicho sistema, se construyó en el ingreso al Circuito Ecoturístico Lomas de Lúcumo en el Centro Poblado Rural (C.P.R.) Quebrada Verde, en Pachacámac, Lima. Al humedal experimental, se aplicaron los microorganismos benéficos en bolas de barro, y luego de un monitoreo de siete semanas, se comparó la eficiencia de remoción de coliformes fecales, larvas y huevos de helmintos, demanda biológica de oxígeno ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST) entre los dos humedales. Para esto, se realizó un análisis ANOVA con un nivel de significancia del 95 por ciento. Al final de la evaluación, no se obtuvieron diferencias significativas ( $p=0.05$ ) entre los dos tratamientos, excepto con el parámetro de sólidos suspendidos totales. Finalmente, si bien la remoción de coliformes fecales fue mejor en el experimental que en el control, la aplicación de microorganismos benéficos en bolas de barro no demostró mejoras significativas.

Los objetivos de esta investigación fueron: 1) Implementar un sistema de humedales artificiales en paralelo en el Centro Poblado Rural (C.P.R.) Quebrada Verde, en Pachacámac, Lima, y 2) Evaluar la eficiencia de remoción de coliformes fecales, huevos y larvas de helmintos,  $DBO_5$ , DQO y SST en un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con microorganismos benéficos en bolas de barro.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

Las aguas residuales domésticas son producto del uso del agua en las diversas actividades domésticas, como las propias de la cocina, de la limpieza o del uso de las instalaciones de aseo personal y evacuación de desechos (Madigan et al. 2004). Generalmente, se componen de materia fecal de los servicios higiénicos, aceites y grasas de la cocina y otros residuos orgánicos de la preparación de alimentos. Por lo tanto, dado su origen, son aguas residuales que poseen una alta carga de materia orgánica (alta DBO<sub>5</sub> y alta concentración de sólidos) y una alta concentración de contaminantes biológicos (patógenos entéricos de los desechos humanos principalmente).

Estos efluentes son caracterizados según diversos parámetros clasificados en tres tipos: físicos, químicos y biológicos. Dichos factores permiten evaluar su carga contaminante y así establecer una meta de tratamiento antes de su descarga en el ambiente.

#### **2.1.1. Parámetros físicos**

##### **a. Temperatura**

La temperatura del agua residual doméstica es mayor que la temperatura de agua para abastecimiento como consecuencia del calentamiento del agua durante su empleo. Este parámetro es de suma importancia pues determina el desarrollo de la actividad bacteriana, cuyo rango óptimo se encuentra entre los 25°C y 35°C (Delgadillo et al. 2010).

## **b. Olor**

El olor de las aguas residuales es un aspecto especialmente relevante cuando las instalaciones de tratamiento se encuentran próximas a centros poblados. Si el proceso de degradación de contaminantes se realiza en condiciones anaerobias, se genera una amplia gama de olores desagradables que son liberados y que pueden generar malestar a la población cercana (Delgadillo et al. 2010).

## **c. Conductividad eléctrica**

Se define como la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, la cual será mayor al aumentar la concentración de iones. Es usado para estimar la concentración de sólidos disueltos totales (Crites y Tchobanoglous, citados por Delgadillo et al. 2010).

## **d. Sólidos totales**

Se dividen en sólidos suspendidos y sólidos filtrables. Los sólidos suspendidos son aquellos que quedan retenidos por un filtro de membrana con un tamaño de poro de 1,2 micras, y se dividen a su vez en sólidos sedimentables y no sedimentables (Mendoza, citado por Delgadillo et al. 2010). Mientras que los primeros se pueden remover mediante simple sedimentación, los segundos sólo pueden ser retirados mediante una barrera física como un filtro (Da Cámara et al. citado por Delgadillo et al. 2010). Por otro lado, los sólidos filtrables son aquellos iones en disolución y compuestos orgánicos e inorgánicos que sí pasan a través de un filtro de poro de 1,2 micras, y se dividen a su vez en sólidos coloidales y sólidos disueltos. Para remover los coloides es necesaria una oxidación biológica (Delgadillo et al. 2010).

### **2.1.2. Parámetros químicos**

#### **a. pH**

El pH es una medida de la concentración de iones hidrógeno o protones en una disolución acuosa. La escala de pH varía entre 0 y 14, siendo el pH 7 indicador de una disolución neutra. A mayores valores será indicador de una disolución alcalina, mientras que, a menores, se



tratará de una disolución ácida (Seoáñez y Gutiérrez, 1999). Este condiciona la ocurrencia de los diferentes procesos biológicos como el crecimiento de hongos sobre las bacterias, o la nitrificación y desnitrificación.

**b. Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno es un gas de baja solubilidad en el agua cuya baja disponibilidad limita la capacidad autodepuradora de los cuerpos de agua. Todo proceso aerobio requiere una concentración mínima mayor a 0.5 mg/L (Romero, 1999).

**c. Demanda biológica de oxígeno (DBO)**

Es una medida de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar (estabilizar) la materia orgánica, en condiciones aerobias. Este comprende la oxidación de la materia orgánica, nitritos y sales amoniacales, así como el consumo de oxígeno para la formación de nuevas células. Este es el parámetro más usado para medir la calidad de las aguas residuales y evaluar los procesos de tratamiento, pues en la práctica permite apreciar la carga del agua en materias putrescibles y su poder autodepurador, y, por tanto, deducir la carga máxima aceptable (Romero, 1999; Seoáñez y Gutiérrez, 1999).

**d. Demanda química de oxígeno (DQO)**

La medida de la demanda química de oxígeno es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, de origen orgánico o mineral (hierro ferroso, nitritos, amoniacal, sulfuros y cloruros) (Seoáñez y Gutiérrez, 1999). Representa a las sustancias químicas reductoras que consumen oxígeno disuelto en el agua. Los efluentes residuales domésticos crudos contienen una DQO promedio de 250 a 1000 mg/L, con relaciones de DQO/DBO<sub>5</sub> que varían entre 1,2 y 2,5 generalmente (Romero, 1999).

**e. Nitrógeno**

Nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas. En las aguas residuales se presenta en forma de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos; todas estas son formas interconvertibles bioquímicamente. En las aguas residuales domésticas frescas,

la forma predominante es el nitrógeno orgánico, el cual es descompuesto rápidamente por las bacterias en nitrógeno amoniacal, y si el medio es aerobio, en nitritos y nitratos. En este sentido, la presencia predominante de nitratos indica la estabilización con respecto a su DBO. Estos son fácilmente utilizados por las algas y otros organismos acuáticos para formar proteínas (Romero, 1999).

**f. Fósforo**

Nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas. En aguas residuales domésticas, su contenido varía entre 6 y 20 mg/L, y suele presentarse en forma de ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos. Los primeros son aptos para el metabolismo biológico; los segundos se hidrolizan lentamente y se degradan en forma de ortofosfatos, y los últimos son usualmente de importancia secundaria en las aguas residuales domésticas (Romero, 1999).

**g. Aceite y grasas**

Son aquellos compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua residual, recubren las superficies de contacto, causan iridiscencia e interfieren con la actividad biológica por su difícil biodegradación. Además, pueden generar problemas de mantenimiento. Generalmente, provienen de mantequillas, aceites vegetales y carnes (Romero, 1999).

**2.1.3. Parámetros microbiológicos**

Un gran grupo de los microorganismos presentes en las aguas residuales domésticas son agentes patógenos debido a que provienen de las excretas y otros desechos de personas enfermas y/o animales huéspedes (García, citado por Delgadillo et al. 2010). En la Tabla N°1, se presentan los diferentes microorganismos existentes en las aguas residuales y sus características epidemiológicas más importantes, incluyendo las ambientales.

**Tabla N°1. Características epidemiológicas de los patógenos excretados**

<b>Microorganismos</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>Persistencia en el Medio Ambiente (20-30°C)</b>	<b>Resistencia a la desinfección con Cloro</b>	<b>Multiplicación fuera del huésped Humano</b>
Bacteria	0.001-0.005	1-3 meses	No	No
Protozoos	0.005-0.01	<30 días	Sí	No
Virus	0.00001-0.0003	Meses	Sí	No
Helmintos	-	*	-	Sí

\*Los huevos de Helmintos pueden llegar a sobrevivir fuera del huésped humano durante varios meses (en las aguas y suelos).

FUENTE: Adaptado de Oakley, citado por Delgadillo et al. 2010

Debido a la diversidad de bacterias, protozoos y virus que existen, el evaluar la presencia de todos los potenciales microorganismos patógenos en el efluente sería demasiado costoso. Además, tomando en consideración que su concentración en las aguas residuales es a veces más baja que los niveles de detección, se requerirían elaborados métodos de detección aún no desarrollados. Por estos motivos, la evaluación de microorganismos patógenos en el agua se realiza empleando típicamente como indicadores a la *Escherichia coli*, los coliformes fecales (CF), los coliformes totales (CT) y los estreptococos fecales (Wu et al. 2015).

Generalmente, se emplea únicamente a los coliformes como indicadores de bacterias patógenas, pues su presencia se asume como indicador de contaminación fecal, y, además, puede detectarse con facilidad y utilizarse como norma de control sanitario. Se tratan de bacterias en forma de varilla (bacilos), no esporuladas, gram-negativas, aeróbicas o anaeróbicas facultativas, que fermentan lactosa con producción de gas cuando se incuban a 35°C durante 48 horas. Esta definición no es taxonómica por lo que dentro de ella se incluyen una diversidad de microorganismos, siendo la mayoría pertenecientes al grupo de bacterias entéricas (Madigan et al. 2004).

Se cuantifican en unidades logarítmicas de base 10 debido a que se considera que la eliminación de microorganismos está en función del tiempo de exposición y de la muerte en

un 90 por ciento (Marçay y Folch, citado por Delgadillo et al. 2010), como se observa en la siguiente ecuación:

$$C = C_0 * 10^{\frac{t}{T_{90}}}$$

Donde:

- $C$  es la concentración final de coliformes.
- $C_0$  es la concentración inicial de coliformes. Se expresa en Unidades Formadoras de Colonias (UFC/ 100 mL) o en Número Más Probable (NMP/ 100 mL).
- $t$  es el tiempo de retención en horas
- $T_{90}$  es el tiempo de retención para que muera el 90 por ciento de las bacterias.

#### **2.1.4. Reúso de aguas residuales**

Para posibilitar el reúso de las aguas residuales de cualquier actividad, estas deben ser tratadas hasta cumplir con los niveles de calidad especificados para el nuevo uso. Por lo tanto, la calidad del agua residual tratada es de gran importancia para garantizar su posibilidad de reúso. Por ejemplo, para la protección de la salud, se exigirá que previamente las aguas residuales hayan recibido algún tratamiento destinado a eliminar los microorganismos patógenos.

Existe una amplia variedad de patógenos, pero entre estos, los helmintos son de especial interés, ya que los principales riesgos reales para la salud en muchos países en desarrollo guardan relación con la helmintiasis. En este sentido, la FAO (1987) recomienda que <<se debería eliminar un 99.9 por ciento de los huevos de helmintos mediante procesos de tratamiento apropiados en las zonas donde la helmintiasis es endémica y presentan riesgos tangibles para la salud>>.

Según la guía <<Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura>> de la Organización Mundial de la Salud (1989), los huevos de helmintos deben encontrarse en una concentración menor igual a 1 huevo/L, y los coliformes, en una concentración menor igual a 1000 UFC/100 mL para el caso en que el reúso se trate de la irrigación de cultivos que se consumen crudos, campos deportivos y parques públicos (ver Tabla N°2).

**Tabla N°2. Directrices de calidad microbiológica recomendada  
para el empleo de agua residual en agricultura**

<b>Categoría</b>	<b>Condiciones de reúso</b>	<b>Grupo expuesto</b>	<b>Helmintos intestinales<sup>b)</sup> (huevos/L<sup>c)</sup>)</b>	<b>Coliformes (promedio por 100mL<sup>c)</sup>)</b>	<b>Tratamiento de aguas residuales</b>
A	Riego de cultivos que se consumen crudos, campos deportivos y parques públicos <sup>d)</sup>	Trabajadores, consumidores, público	≤ 1	≤ 1000 <sup>d)</sup>	Lagunas de estabilización en serie diseñadas para lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento similar
B	Riego de cereales, cultivos industriales, forrajes y árboles <sup>e)</sup>	Trabajadores	≤ 1	No hay estándar de calidad recomendado	Retención en lagunas de estabilización entre 8 y 10 días o remoción equivalente de helmintos y coliformes fecales
C	Riego de cultivos de la categoría B, si no hay exposición de trabajadores y del público	Ninguno	No aplicable	No aplicable	Tratamiento preliminar según el requerimiento de la tecnología de riego, pero no menor que la sedimentación primaria

a) En casos particulares, factores epidemiológicos, socioculturales, medioambientales y los lineamientos modificados, respectivamente.

b) Especies de áscaris, Trichuris y anquilostoma.

c) Durante el tiempo de riego.

d) Para césped de frutales donde puede existir contacto directo para el público se recomiendan valores más estrictos (≤200 coliformes fecales/ 100mL).

e) En el caso de frutales, el riego debería ser paralizado dos semanas antes de la cosecha y las frutas no deberían ser recogidas del suelo. No se debería usar riego por aspersión.

FUENTE: Tomado de la Organización Mundial de la Salud, 1989

## **2.2. HUMEDALES ARTIFICIALES**

Los humedales artificiales son sistemas diseñados, construidos y operados por el hombre para simular las funciones de un humedal natural con el fin de remover contaminantes de las aguas residuales (Hammer, citado por Sim, 2003; Wu et al., 2014). En otras palabras, son ecosistemas ingenieros para actuar como biofiltros que eliminan nutrientes, microorganismos patógenos y otros elementos traza de efluentes industriales y/o domésticos, en un ambiente semicontrolado (Kadlec y Knight, Brix, Maine et al., Vymazal et al., Marchand et al., Zhi y Ji, citados por Vergeles et al. 2015). Son capaces de tratar efluentes de una población de hasta 2000 habitantes equivalentes (Carballeira et al. 2016). Se trata de una alternativa tecnológica que, gracias a su bajo costo y pocos requerimientos de operación y mantenimiento, se perfila como una elección lógica para el tratamiento de las aguas residuales de regiones en desarrollo (Rai et al., citado por Wu et al. 2014).

Estos se clasifican en dos principales tipos: los humedales de flujo superficial y los de flujo subsuperficial. En el caso del tratamiento de aguas residuales domésticas, se emplea preferentemente el sistema de flujo subsuperficial debido a que la alta carga orgánica y el alto contenido de coliformes pueden convertir al humedal en un foco infeccioso.

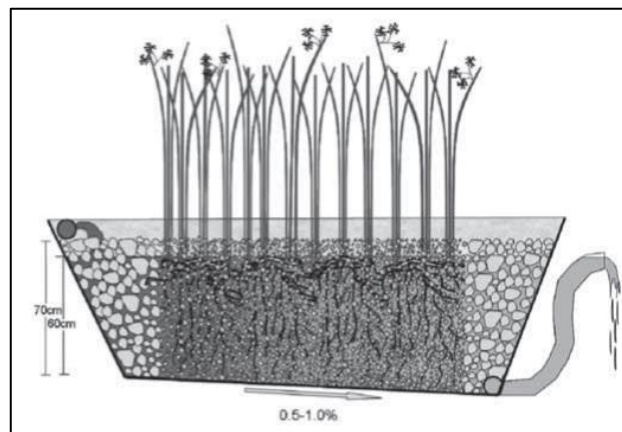
### **2.2.1. Humedales de flujo subsuperficial**

Un humedal de flujo subsuperficial se caracteriza por una circulación completa del agua a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0.6m. Así, el agua residual se tratará a medida que fluye y entra en contacto con rizomas y raíces de plantas emergentes enraizadas. Su diseño consiste en una fosa recubierta por membrana impermeable, en el fondo y las paredes (para evitar filtraciones al suelo), que es rellena con tierra, arena y/o grava, y plantada con macrófitos acuáticos. En la mayoría de los casos, se planta caña común o carrizo (*Phragmites australis*) (Brix en Kolb, citado por Delgadillo et al. 2010).

Existen dos subtipos de humedales de flujo subsuperficial según el sentido del flujo:

**a. Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal**

El agua ingresa en forma permanente; esta es aplicada en la parte superior de un extremo y recolectada por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior (ver Figura N°1). La profundidad del lecho varía entre 0.45 a 1 metro y tiene una pendiente de entre 0.5 a 1 por ciento. Cabe resaltar que el agua residual primero ingresa a una zona de amortiguación formada por grava de mayor tamaño, la misma que se emplea para rodear el sistema de recolección. El diámetro de dicha grava oscila entre los 50 a 100 milímetros. Es de suma importancia que el agua residual se mantenga en un nivel inferior a la superficie (5 a 10 centímetros de profundidad) lo cual se logra regulando el nivel del dispositivo de salida (Delgadillo et al. 2010).

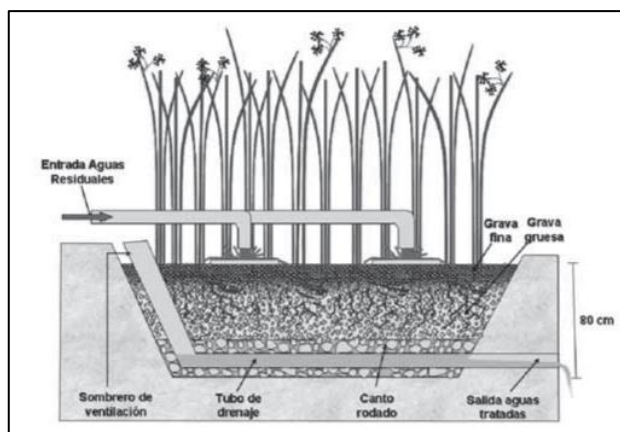


**Figura N°1. Humedal subsuperficial de flujo horizontal (vista corte sección)**

FUENTE: Tomado de Delgadillo et al. 2010

**b. Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical**

El agua ingresa de manera intermitente; como consecuencia, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por periodos de insaturación, estimulando el suministro de oxígeno (condiciones aerobias). Las aguas infiltran verticalmente de arriba hacia abajo a través de un sustrato inerte y se recogen una red de drenaje en el fondo del humedal (ver Figura N°2). Para favorecer las condiciones aerobias del medio poroso, se suele colocar un sistema de aireación con chimeneas (Delgadillo et al. 2010).



**Figura N°2. Humedal subsuperficial de flujo vertical (vista corte sección)**

FUENTE: Tomado de Delgadillo et al. 2010

Ambas configuraciones poseen un sistema de recogida consistente en un tubo o tubos de drenaje cribado, rodeado con grava de igual tamaño que la utilizada al inicio de los humedales de flujo horizontal. El diámetro de dicha grava oscila entre los 50 a 100 mm (Delgadillo et al. 2010).

### 2.2.2. Componentes de los humedales artificiales

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial se componen de tres elementos en permanente interacción: el sustrato, las plantas macrófitas y los microorganismos.

#### a. Sustrato

Se encuentra formado por capas de grava, gravilla, arena, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico. Este cumple las funciones de (i) soportar a los organismos vivientes en el humedal (plantas y microorganismos), (ii) filtrar y (iii) almacenar los contaminantes. En este sentido, es el medio donde las sustancias contaminantes son extraídas y transformadas mediante las interacciones físicas y químicas y la actividad biodegradadora. El tamaño (diámetro) del medio granular determina la conductividad hidráulica dentro del humedal y, por ende, el caudal de agua a tratar. Así también, este afecta directamente la capacidad de adsorción de contaminantes; si el sustrato se compone de arena y grava, se obtendrá una menor filtración a comparación de un lecho de arcilla y limo (Delgadillo et al. 2010).



## **b. Plantas macrófitas**

Las plantas cumplen un rol vital en la remoción y retención de nutrientes, así, ayudan a prevenir la eutrofización de los humedales. La parte más importante de los macrófitos es la biomasa que yace bajo la superficie; los tejidos crecen horizontal y verticalmente y crean una gran matriz que une las partículas del sustrato y mejora su capacidad de adsorción de los contaminantes (Sim, 2003). Las raíces cumplen las funciones de (i) estabilizar el sustrato, (ii) disminuir el flujo de agua mejorando la filtración y sedimentación, (iii) transferir oxígeno desde la atmósfera hacia el sustrato adyacente al rizoma, (iv) liberar/absorber nutrientes y componentes orgánicos, y (v) albergar en su superficie a los microorganismos responsables de la biodegradación y la nitrificación (Sim, 2003; Delgadillo et al. 2010). Algunas plantas además funcionan como bioacumuladoras de metales pesados.

La biomasa que crece sobre la superficie cumple un rol menor. Esta funciona como un aislante, por lo cual provee de protección contra posibles altas o bajas temperaturas (Carballeira et al. 2016). Además, las hojas y flores de las plantas proporcionan un valor agregado a nivel local ya que se transforman en hábitat de diversos organismos (insectos, caracoles, etc.) y proveen una vista estéticamente agradable (Sim, 2003).

## **c. Microorganismos**

Se encargan de realizar las transformaciones biológicas de la materia orgánica y la desinfección. En la zona superior, cerca al rizoma, predominan las colonias de microorganismos aeróbicos; en cambio, en la parte inferior del lecho, predominan los microorganismos anaeróbicos. Así, ellas forman una capa llamada *biopelícula*, que cubre las raíces y el sustrato. La biopelícula se compone de bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. Todos ellos degradan la materia orgánica, transforman un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas (alterando el pH y liberando gases a la atmósfera) y finalmente, consumen el carbono y los nutrientes en el medio (Delgadillo et al. 2010). Además, esta película mejora la filtración ya que sobre ella se adhiere fácilmente los contaminantes y nutrientes.

### 2.2.3. Mecanismos de remoción de contaminantes

En los humedales artificiales ocurren diversos procesos simultáneos de remoción que forman una red compleja de interacciones entre elementos bióticos y abióticos. En la Tabla N°3, se muestran los principales mecanismos de remoción según el parámetro en evaluación.

**Tabla N°3. Mecanismos de remoción en los sistemas de tratamiento basados en plantas macrófitas**

Parámetro evaluado	Mecanismos de remoción
Sólidos suspendidos	-Sedimentación/filtración.
DBO	-Degradación microbiana (aeróbica y anaeróbica). -Sedimentación (Acumulación de materia orgánica /lodo en la superficie del sedimento).
Nitrógeno Amoniacal	-Amonificación seguida por nitrificación y denitrificación amoniacal. -Captación por la planta.
Patógenos	-Sedimentación/filtración. -Declinación. -Radiación ultravioleta. -Excreción de antibióticos por las raíces de los macrófitos.

FUENTE: Tomado de Kolb, citado por Delgadillo et al. 2010

A continuación, se detalla los mecanismos según el parámetro sobre el que actúa:

- Sólidos suspendidos: mediante filtración y sedimentación de los remanentes de sólidos que no fueron removidos en el tratamiento preliminar. Esto es posible gracias a las raíces de los macrófitos y el sustrato, que son las que reducen la velocidad del agua y favorecen ambos procesos (Delgadillo et al. 2010).
- Materia orgánica o DBO: mediante filtración, sedimentación y principalmente, biodegradación aeróbica y/o anaeróbica, realizada por microorganismos adheridos a las raíces y los sedimentos (biopelícula o *biofilm*) (Brix en Kolb, citado por Delgadillo et al. 2010). Dependiendo de la presencia de oxígeno disuelto, se generará una degradación aeróbica o anaeróbica. En la degradación aeróbica actúan dos tipos de microorganismos: los quimioheterótrofos, que oxidan compuestos orgánicos liberando amonio, y los

quimioautótrofos, que oxidan nitrógeno amoniacal a nitrito y nitrato (nitrificación). Los microorganismos aeróbicos son responsables principales de la degradación de la materia orgánica, por lo que el oxígeno disuelto es un factor limitante importante. La degradación anaeróbica es realizada por heterótrofos anaeróbicos y genera alcohol, ácidos orgánicos, y gases (como metano, ácido sulfhídrico, amoníaco, etc.) (Delgadillo et al. 2010). Finalmente, los productos de esta degradación son empleados por las plantas y los mismos microorganismos, que juntos forman un consorcio simbiótico (Vergeles et al. 2015).

- Bacterias: mediante procesos físicos como filtración, sedimentación y agregación; procesos biológicos como predación y ataque por bacteriófagos (nemátodos y protistas), actividad de bacterias y virus líticos, competencia por nutrientes y la muerte natural; y procesos químicos como oxidación, adsorción, y exposición a toxinas fijadas por otros microorganismos y exudadas por las raíces de las plantas. Cuanto mayor sea el tiempo de retención hidráulica, se obtendrán mejores eficiencias de remoción (Delgadillo et al. 2010; Wu et al. 2015).

### **2.3. MICROORGANISMOS BENÉFICOS**

Los microorganismos benéficos (MOB) son un multicultivo de diferentes grupos de microorganismos anaeróbicos y aeróbicos en coexistencia sinérgica (EM Trading, citado por Szymanski y Patterson, 2003). Estos fueron desarrollados en 1980 por el Dr. Teruo Higa de la Universidad de las Ryukyus en Okinawa, Japón, quien los llamó *Effective Microorganism* o *EM* (Zakaria et al. 2010). Los MOB inducen a que la materia orgánica se descomponga rápidamente por la vía de la fermentación y no de la putrefacción (BID, 2009). Son inocuos para el ambiente y las personas, pues sencillamente mejoran el proceso natural de limpieza (Higa y Chinen, 1998).

#### **2.3.1. Composición y propiedades**

Las principales especies incluidas como MOB son las siguientes:

- Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus plantarum*, *L. casei*, *Streptococcus lactis*)
- Bacterias fotosintéticas (*Rhodospseudomonas palustris*, *Rhodobacter spaeroides*)

- Levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*)
- Actinomicetos (*Streptomyces albus*, *S. griseus*)
- Hongos fermentativos (*Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis*) (Diver, citado por Szymanski y Patterson, 2003).

Este consorcio microbiológico es liderado por las bacterias ácido lácticas, las cuales condicionan el pH del medio a menor o igual a cuatro (Meza, 2015). La concentración de cada uno de los diferentes microorganismos varía según el objetivo para el cual se preparó el cultivo. En la Tabla N°4 se muestra algunos ejemplos de las concentraciones de bacterias ácido lácticas, fototrópicas y levaduras en cultivos de MOB con diferentes propósitos.

**Tabla N°4. Concentración de principales especies en varios productos de EM®**

<b>Producto</b>	<b>Bacterias lácticas (UFC/mL)</b>	<b>Bacterias fotosintéticas (UFC/mL)</b>	<b>Levaduras (UFC/mL)</b>
EM-Crop	1 x 10 <sup>6</sup>	1 x 10 <sup>6</sup>	1 x 10 <sup>6</sup>
EM-1	1 x 10 <sup>4</sup>	1 x 10 <sup>6</sup>	1 x 10 <sup>3</sup>
EM-Integrado	1 x 10 <sup>4</sup>	1 x 10 <sup>4</sup>	1 x 10 <sup>4</sup>
EM ® Tratamiento de agua residual	1 x 10 <sup>4</sup>	1 x 10 <sup>4</sup>	1 x 10 <sup>4</sup>

FUENTE: Adaptado de Cárdenas, 2012

El cultivo de MOB contiene varios ácidos orgánicos, enzimas, antioxidantes y quelatos metálicos, secretados por los mismos microorganismos. Cuando son aplicados al medio, estos comienzan a dominarlo gracias a los microorganismos de tipo fermentativo que detienen el proceso de putrefacción y lo convierten en un proceso fermentativo. Además, los compuestos secretados generan un medio antioxidante en el que se acentúa la separación sólido-líquido (mediante sedimentación), el cual es el principio básico para la limpieza del agua (Higa y Chinen, 1998).

### a. Bacterias ácido lácticas

Las bacterias ácido lácticas son un grupo de bacterias que reúnen un variado número de géneros que se caracterizan por su capacidad de fermentar los glúcidos produciendo ácido láctico. Son bacterias anaerobias facultativas: microaerófilas, capaces de fermentar tanto en aerobiosis como en anaerobiosis. Los principales géneros de estas bacterias son *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. Los tres primeros géneros contienen especies con fermentación homoláctica; por otro lado, el género *Lactobacillus* posee especies con fermentación homoláctica y heteroláctica, mientras que las especies del género *Bifidobacterium* realizan fermentación acética y láctica (Leveau et al. 2000).

Los *Lactobacillus* son un género de bacterias gram-positivas, anaerobias facultativas, denominadas así debido a que la mayoría de sus miembros convierte lactosa y otros monosacáridos en ácido láctico. Normalmente son benignas e incluso necesarias, pues habitan en el cuerpo humano y en otros animales. Asimismo, muchas especies son importantes en la descomposición de material vegetal, como la lignina o la celulosa. La producción de ácido láctico hace que su ambiente sea ácido, lo cual inhibe el crecimiento de nemátodos y bacterias patógenas (Correa, 1999).

Por ejemplo, en un estudio publicado en Food Research International, Collado et al. (2007) da cuenta de los beneficios en la salud y en algunos productos alimenticios que supone la combinación de bacterias ácido lácticas probióticas, conocidas también como las «bacterias buenas», para inhibir bacterias patógenas, como *Escherichia coli* y *Salmonella*, dos bacterias conocidas por su potencial para causar diarreas infecciosas.

En la actualidad se sabe que especies de *Lactobacillus* participan activamente como parte de la microflora de autopurificación como, por ejemplo, en humedales (Seoáñez y Gutiérrez, 1999). Asimismo, se ha encontrado especies de *Lactobaccillus* en los desagües municipales, lo que no es raro ya que forma parte de la flora intestinal del hombre (Sneath et al. 1986).

## **b. Bacterias fotosintéticas**

Las bacterias fotosintéticas son un grupo de microorganismos autótrofos que, empleando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía, producen sustancias útiles a partir de las secreciones de las raíces, materia orgánica y/o gases nocivos como el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno. Los productos incluyen aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, los cuales promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas (Eco Tecnologías, 2016). Además, al crecer las bacterias fotosintéticas en los suelos aumenta la cantidad de otros microorganismos benéficos (Higa y Parr citado por Cárdenas, 2012).

En ambientes sin luz, como un biodigestor, las bacterias fototrópicas tienen una relación sinérgica con las bacterias productoras de ácidos orgánicos (levaduras y ácido lácticas). Estas dos clases de bacterias proveen de alimento a las fotosintéticas, explicando así porqué los MOB son eficientes incluso en ambientes sin luz (Fioravanti y Vega citado por Rojas, 2014).

## **c. Levaduras**

Las levaduras son hongos unicelulares, ovales, esféricas o casi cilíndricas, de tamaño más grande que las bacterias (Madigan et al. 2004). Según Eco Tecnologías (2016), estos microorganismos utilizan aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fotosintéticas, así como los de las raíces de plantas y de la materia orgánica, para sintetizar sustancias microbianas, hormonas y enzimas que promueven el crecimiento de las plantas (incremento de la actividad celular y el número de raíces). Estas secreciones también son útiles para ciertos microorganismos benéficos como las bacterias ácido lácticas y los actinomicetos (Miyashiro y Meggs, citados por Cárdenas, 2012). Además, debido a su metabolismo fermentativo, las levaduras producen etanol en relativamente altas concentraciones, la cual es una sustancia conocida por su propiedad antimicrobiana (Cardona y García citados por Cárdenas, 2012).

#### **d. Actinomicetos**

Los actinomicetos son un grupo de bacterias gram-positivas filamentosas. El término <<filamentoso>> hace referencia a su crecimiento en forma de red llamada micelio, aunque esta es de dimensiones más reducidas que el micelio de los hongos. La mayoría de los actinomicetos forman esporas para su reproducción (Madigan et al. 2004).

Los actinomicetos funcionan como antagonistas de muchas bacterias y hongos patógenos presentes en las plantas y en la materia orgánica en descomposición debido a que producen antibióticos de efectos biostáticos y biácidas (APNAN citado por Rojas, 2014). Además, pueden coexistir con las bacterias fotosintéticas, mejorando la calidad de los suelos y el crecimiento de las plantas a través del incremento de la actividad microbiana (Higa y Parr citados por Cárdenas, 2012).

El género más conocido es el *Streptomyces* cuya propiedad más sorprendente y extendida entre sus especies es su capacidad de producir antibióticos. Además, son nutricionalmente versátiles pues pueden utilizar una gran variedad de compuestos como azúcares, alcoholes, ácidos orgánicos, aminoácidos e incluso algunos compuestos aromáticos. La mayoría produce enzimas extracelulares que les permiten utilizar sustratos complejos como el almidón celulosa o hemicelulosa lignina o gomas. Los pHs alcalinos y neutros son más favorables para el desarrollo de los estreptomicetos (Madigan et al. 2004).

#### **e. Hongos fermentativos**

Los hongos fermentativos actúan descomponiendo rápidamente la materia orgánica para producir alcohol, esterres y sustancias antimicrobianas. Esto es lo que produce la desodorización, previene la aparición de insectos perjudiciales y reduce la presencia de agentes patógenos (APNAN citado por Rojas, 2014). El género *Aspergillus* se encuentra presente en varios ambientes gracias a su capacidad para crecer a diferentes temperaturas y sobre sustratos con diversos contenidos de humedad (Carrillo citado por Cárdenas, 2012).

### 2.3.2. Aplicaciones

Los microorganismos benéficos (MOB) han sido ampliamente utilizados en el sector agropecuario, tanto en suelos para el aumento de la productividad, como en cultivos para la reducción de plagas. Asimismo, han sido utilizados para el tratamiento de residuos orgánicos y aguas servidas, y para la eliminación de olores molestos producidos por la descomposición de excretas y orinas (Eco Tecnologías, 2016).

Los MOB han sido empleados en diferentes oportunidades para la depuración de las aguas contaminadas gracias a su efectividad para la descomposición de bacterias dañinas. En regiones del Asia, estos se han convertido en una herramienta exitosa para la remediación de ríos y lagos contaminados por la rápida industrialización. Por ejemplo, en Malasia desde el año 2008, se les ha empleado en varias campañas para la recuperación de sus ríos. En este caso, los MOB fueron mezclados con tierra para formar <<bolas de barro>> (*mudballs*), una forma de aplicación que sirve de medio de inmovilización y se transforma en su hábitat. Estas bolas fueron preparadas y lanzadas a los ríos con ayuda de cientos de voluntarios y luego de seis meses, se comprobó una mejora en la calidad del agua, la eliminación de olores y la reducción del lodo en el agua. En el 2010, se utilizó el mismo mecanismo para recuperar tres lagos en el zoológico nacional de Malasia. De la misma manera, se afirma que han sido exitosamente empleados en la recuperación de hasta 150 ríos en Japón (STAR Online, citado por Zakaria et al. 2010).

En el campo del tratamiento de las aguas residuales, los MOB han demostrado reducir significativamente la concentración de DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos, nitrógeno y fósforo (Okuda y Higa, 1999). De acuerdo con el estudio de Kannan y Kumar (2012) realizado en un sistema de tratamiento de efluentes domésticos, el empleo de MOB demostró un profundo efecto en la reducción de los tóxicos niveles de los parámetros de calidad de agua analizados: acidez, alcalinidad, dureza total, sólidos suspendidos y DBO, los cuales fueron reducidos en más del 40 por ciento. En este estudio se mezcló los MOB con zeolita para formar bolas de 100 gramos que luego se agregaron una por día al tanque de colección del efluente doméstico.

Asimismo, Da Silva et al. (2016) realizó un experimento en laboratorio y otro en campo en los que demostró el potencial de los MOB para mejorar la efectividad y la eficiencia en el



proceso de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales domésticas. En esta investigación, se agregó pequeñas dosis de MOB cada día al reservorio de aguas residuales a una dilución de 1:10,000.

Sin embargo, en un estudio de Szymanski y Patterson (2003), no se encontró reducciones apreciables de la concentración de sólidos suspendidos en tanques sépticos, pero sí indicios de que estos afectan el pH, la alcalinidad y la conductividad eléctrica. Para este caso, se agregó una dosis inicial de seis litros de MOB activado en la caja de entrada al tanque séptico. Una semana después, se añadió tres litros, y las siguientes tres semanas, se añadió dosis de 350 mililitros una vez a la semana.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR DE EXPERIMENTACIÓN**

La fase experimental se desarrolló en el Centro Poblado Rural (C.P.R.) Quebrada Verde, en el distrito de Pachacámac, en la provincia de Lima. Este centro poblado limita con el ecosistema natural de las <<Lomas de Lúcumo>> y alberga la entrada al circuito ecoturístico. Antes del inicio del circuito, el lugar cuenta con un centro de facilidades turísticas, es decir, un conjunto de instalaciones destinadas a facilitar la alimentación y otros servicios complementarios para el turista; este se compone de un centro de interpretación, una biblioteca, una cocina, salones, almacenes y servicios higiénicos. Anteriormente, las aguas residuales generadas en la cocina y los servicios higiénicos se conducían directamente a un pozo de infiltración; sin embargo, durante la época de invierno, que es la temporada de mayor afluencia de turistas, este se rebasaba y se generaban malos olores.

##### **3.1.1. Consumo de agua**

El agua de consumo que abastece a la cocina y los servicios higiénicos de las facilidades turísticas es de origen subterráneo, extraído mediante un pozo manejado por la junta del Centro Poblado Rural Quebrada Verde. El agua, una vez transportada al centro de facilidades turísticas, es almacenada en dos tanques de polietileno de 1100 litros de capacidad cada uno, los cuales se ubican en el techo del edificio. El consumo de agua en los servicios higiénicos y la cocina depende estrictamente de la afluencia de turistas. La temporada alta de turistas es durante el invierno, mientras que la baja, durante el verano.

- Cantidad de turistas en temporada alta: entre 200 a 250 personas/día.
- Consumo de agua en meses de temporada alta: hasta 4400 L/día.
- Consumo de agua en meses de temporada baja: hasta 157 L/día.

El consumo de agua durante la temporada baja depende, en primer lugar, de la cantidad de alumnos que vienen a las clases de verano del centro de facilidades turísticas, y en segundo plano, de la menor cantidad de turistas.

### **3.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

El sistema de tratamiento de las aguas residuales de la cocina y los servicios higiénicos se ubica en las áreas libres adyacentes al centro de facilidades turísticas. La implementación, es decir, la construcción y puesta en marcha, se extendió por un periodo de siete meses en total, desde la última semana de setiembre del 2016 hasta la última semana de febrero del 2017.

#### **3.2.1. Diseño del sistema de tratamiento**

El sistema de tratamiento se diseñó para tratar aguas residuales domésticas. El tratamiento preliminar consta de una trampa de grasas; el tratamiento primario, de un tanque séptico; y el tratamiento secundario, de dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal dispuestos en paralelo. Uno de estos fue el humedal control y el otro, el humedal experimental, ya que en él se aplicaron los microorganismos benéficos.

El tanque séptico y la trampa de grasas fueron diseñados de acuerdo con la <<Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización>> del CEPIS (2005), y se consideró el caudal máximo (el de la temporada de invierno) como parámetro de diseño. Por otro lado, los humedales artificiales se diseñaron de acuerdo con el área máxima disponible en el lugar: un terreno de 2.8 x 9.3 metros. En otras palabras, los humedales no se encuentran diseñados para tratar el caudal máximo propio de la temporada de invierno debido a la limitación del espacio. En este sentido, se diseñó un *bypass* ubicado antes de los humedales para desviar el caudal excedente hacia un pozo de infiltración preexistente.

### **3.2.2. Construcción del sistema de tratamiento**

Se subcontrató a un maestro albañil de la localidad y su equipo para realizar las excavaciones y construcciones necesarias. Durante la construcción del tanque séptico y la trampa de grasas, se dispuso de cuatro obreros en total, y se realizó un continuo acompañamiento e inspección sobre el acabado de las obras. Para la construcción de los humedales, se dispuso de dos obreros y de la misma manera, se dirigió y se inspeccionaron los detalles de la instalación periódicamente.

### **3.2.3. Selección de plantas macrófitas**

Debido a que se trata de un lugar turístico, se decidió plantar achiras (*Canna Indica*) por su valor ornamental, su origen nativo y su gran espectro de adaptabilidad. *Canna Indica* es una planta perenne de origen andino que se encuentra presente en el distrito de Pachacámac. Plantas de la misma familia han sido empleadas anteriormente en diversos humedales artificiales en China (Zhang et al. 2014).

## **3.3. CULTIVO Y APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS**

### **3.3.1. Cultivo de microorganismos benéficos**

Según la metodología de Meza (2016) en el <<Curso de producción de abonos orgánicos>>, los microorganismos benéficos (de ahora en adelante MOB) se pueden cultivar a partir de hortalizas como la col. De acuerdo con este, se utilizaron los siguientes insumos en las proporciones peso/peso indicadas a continuación:

- Col y apio
  - Agua que no contiene cloro
- Estos dos ingredientes en proporción 1:1
- Hígado cocido al 20 por ciento
  - Azúcar rubia al 20 por ciento
  - Sal al 10 por ciento

Para comenzar, se picó la col, el apio y el hígado. Luego, se pesó 3 kilogramos de col y apio, 0.6 kilogramos de hígado, 0.6 kilogramos de azúcar rubia y 0.3 kilogramos de sal. Todos estos insumos fueron vertidos a un balde de plástico con caño de capacidad de 5 litros; finalmente, se agregó 3 litros de agua y se mezcló. Terminada la preparación, se midió el pH con un pHímetro y se cubrió la mezcla con plástico adherente para evitar el contacto con el aire (ver Figura N°3).



**Figura N°3. Mezcla para cultivar MOB cubierto de plástico adherente**

El cultivo estuvo listo al alcanzar un pH menor a cuatro, por lo que se monitoreó el pH en los sucesivos días. Una vez alcanzado un pH menor a cuatro, este se considera un líquido madre de microorganismos benéficos por lo que se extrajo sólo la parte líquida del cultivo y se almacenó por separado. Posteriormente, se tomaron muestras para un análisis de recuento de *Lactobacillus* en el Laboratorio Marino Tabusso y para un análisis de macro y micronutrientes en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía.

### **3.3.2. Activación de microorganismos benéficos**

Se prepararon 2 litros de líquido activado de MOB al 10 por ciento. Para esto, se empleó el líquido madre obtenido al 10 por ciento, azúcar rubia al 10 por ciento, y agua sin cloro. Se disolvieron 200 gramos de azúcar rubia en 0.2 litros de agua recién hervida (a 40°C aprox.) y esto se agregó a 1.6 litros de agua sin cloro. La solución de azúcar se mezcló con 0.2 litros de líquido madre. Esta mezcla se almacenó en condiciones anaeróbicas hasta que se notó una efervescencia, signo de actividad de los MOB (ver Figura N°4).



**Figura N°4. Líquido activado de MOB al 10 por ciento**

### **3.3.3. Aplicación de microorganismos benéficos**

La aplicación consistió en la preparación de bolas de barro (*mudballs*) con microorganismos benéficos y el entierro de estas bolas en uno de los humedales (el humedal experimental). Se utilizó como guía el <<Manual Práctico de Uso de EM>> (*Effective Microorganism*) del BID (2009).

Para la preparación de las bolas de barro, se utilizaron los siguientes insumos en las cantidades indicadas a continuación:

- 4 kg de Tierra preparada del centro de ventas de la UNALM
- 2 kg de Afrecho de trigo
- 0.1 kg de Azúcar rubia
- 2 L de Líquido activado de MOB
- 5 L de Agua sin cloro

Se mezclaron todos los insumos formando una masa, tal y como se muestra en la Figura N°5. Luego, se moldeó la masa obtenida en forma de bolas con ayuda de las palmas de las manos en forma de cuenca; se las dejó secar durante tres días, hasta que se recubrieron de un moho blanco. Más tarde, se escogieron las bolas que tuvieran pesos similares (un peso alrededor de 235 gramos), y estas fueron las que se transportaron a Quebrada Verde para ser enterradas en el humedal experimental.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura N°5. Preparación de bolas de barro con microorganismos benéficos**

(a) Mezcla seca de afrecho, tierra y azúcar

(b) Adición de líquido activado de MOB

(c) Mezcla húmeda completa

(d) Bola de barro lista de 9 cm de diámetro

Se enterraron un total de ocho bolas de barro de MOB en el humedal experimental, dos entre cada fila de plantas, a los 2 meses de sembradas (ver Figuras N°6 y N°7). Al final del monitoreo, se recolectaron las bolas de barro de dos filas formando dos muestras (una de cada fila) para realizarles un recuento de *Lactobacillus* en el Laboratorio Marino Tabusso.



**Figura N°6. Humedales artificiales con achiras de dos meses de sembradas**

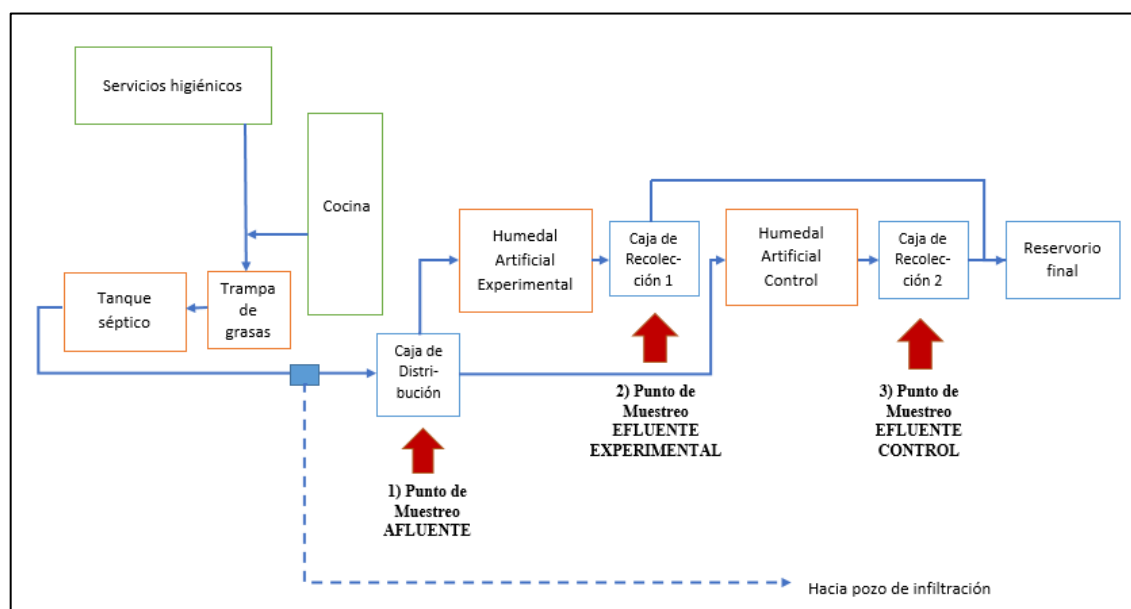


**Figura N°7. Bola de barro con microorganismos benéficos y su hoyo de entierro entre las achiras del humedal artificial experimental (en contacto con el agua)**



### 3.4. MONITOREO DEL DESEMPEÑO

El monitoreo del desempeño consistió en la recolección y análisis de muestras simples y compuestas de agua en tres puntos: el afluente común, el efluente del humedal control y el efluente del humedal experimental con MOB (ver Figura N°8). El muestreo se realizó durante siete semanas, cada domingo, con el objetivo de evaluar los siguientes parámetros: pH, conductividad, temperatura, sólidos suspendidos totales (SST), demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), coliformes fecales/ termotolerantes y larvas y huevos de helmintos. Cabe señalar que durante el monitoreo solo se encontraba en funcionamiento los servicios higiénicos, mas no la cocina.



**Figura N°8. Ubicación de los puntos de muestreo de agua en el sistema de tratamiento**

Inicialmente, se llevó a cabo un premonitoreo de caudal del afluente para determinar los volúmenes parciales y la frecuencia de recolección para conformar las muestras compuestas. En este monitoreo se midió el tiempo que se demoraba en llenar una vasija de 0.4 L cada 30 minutos, desde las 9:30 de la mañana hasta las 15:30 de la tarde (ver resultados en el Anexo 1). De esta pre-evaluación, se determinó que se recolectaría muestras parciales cada hora, desde las 10:30 hasta las 14:30, y de los volúmenes indicados en la Tabla N°5.

**Tabla N°5. Volúmenes parciales por recolectar para muestreo compuesto**

<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>
10:30	1.3
11:30	1.2
12:30	1.2
13:30	1.5
14:30	0.8
TOTAL	6

Luego, se realizó el monitoreo semanal de la calidad del agua durante siete semanas desde el Domingo 7 de mayo hasta el Domingo 18 de junio del 2017. Cabe señalar que el primer día de monitoreo fue el mismo día del entierro de las bolas de barro con MOB en el humedal experimental. Cada día de monitoreo consistió en la medición de caudal por horas, la recolección de muestras simples para la medición in situ de las variables pH, conductividad y temperatura del agua, y la conformación de muestras compuestas del afluente común y los dos efluentes de los humedales, en un balde diferente cada uno. Se emplearon los siguientes materiales y equipos:

- 3 baldes de 10 litros con tapa
- Jarrones
- Probeta
- Vaso precipitado
- Pipeta con agua destilada
- Equipo multiparámetro WTW modelo Multi 340i
- Guantes
- Mascarillas
- Mandil
- Frascos y botellas de plástico de 0.5, 1 y 2.5 litros
- Solución de ácido sulfúrico
- Marcadores de tinta indeleble
- Etiquetas
- *Coolers*
- Bolsas de gel refrigerante

Al final del día de monitoreo, las muestras compuestas fueron embotelladas según las especificaciones de conservación como se indica en la Tabla N°6. Estas fueron transportadas al Laboratorio Envirolab para el análisis de las variables DBO<sub>5</sub> y DQO, al Laboratorio Marino Tabusso para los coliformes fecales/termotolerantes y larvas y huevos de helmintos, y al Laboratorio de Ingeniería Ambiental para los sólidos suspendidos totales.

**Tabla N°6. Parámetros de calidad de agua monitoreados en cada punto de muestreo y sus métodos de conservación y análisis**

Lugar de medición	Parámetro	N° de muestras	Tipo de recipiente	Técnica de conservación	Equipo/Método de análisis
In situ	pH	7	No aplica	No aplica	Multiparámetro WTW modelo Multi 340i
	Conductividad eléctrica	7	No aplica	No aplica	Multiparámetro WTW modelo Multi 340i
	Temperatura	7	No aplica	No aplica	Multiparámetro WTW modelo Multi 340i
Laboratorio Envirolab	DBO <sub>5</sub>	7	Frasco de plástico de 1 litro	Llenado completo sin aire y Refrigeración	EPA Methods
	DQO	7	Frasco de plástico de 0.5 litro	Refrigeración y Acidificación con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	EPA Methods
Laboratorio Marino Tabusso	Coliformes Fecales	7	2 botellas de plástico de 2.5 litros	Llenado 2/3 dejando aire y Refrigeración.	APHA Standard Methods
	Larvas y huevos de helmintos	7	2 botellas de plástico de 2.5 litros	Llenado 2/3 dejando aire y Refrigeración	APHA Standard Methods
Laboratorio de Ingeniería Ambiental	Sólidos suspendidos totales	7	Frasco de plástico de 1 litro	Refrigeración	APHA Standard Methods

### **3.5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

#### **3.5.1. Caracterización de la calidad del agua**

Debido a que en la actualidad no existe una norma nacional que regule la calidad del agua residual tratada para reúso en riego, el análisis de resultados se realizó utilizando como referencia la guía de la OMS (1989) titulada <<Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura>>. De esta guía, sólo se usaron los límites recomendados para calidad microbiológica (coliformes fecales y helmintos) ya que el resto de valores recomendados corresponde a parámetros que no se monitorearon en la presente investigación.

#### **3.5.2. Comparación estadística de los tratamientos**

Se comparó estadísticamente los resultados utilizando un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), compuesto de dos tratamientos (humedal control sin MOB y humedal experimental con MOB) y siete bloques (número de semanas transcurridas). Las comparaciones de promedios se realizaron mediante un Análisis de Varianzas (ANOVA) considerando un *p valor* menor a 0.05 (nivel de significancia del 95 por ciento). Se empleó los *softwares Microsoft Excel y MiniTAB 18*.

#### **3.5.3. Cálculo de parámetros de funcionamiento de los humedales**

##### **a. Carga hidráulica (CH) en m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.día**

$$CH = \frac{\text{Caudal}}{\text{Área}}$$

En un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, la carga hidráulica no debe ser mayor a 0.05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.día (Metcalf y Eddy, citados por Miglio, 2003).

**b. Carga orgánica (CO) en g/m<sup>2</sup>.día**

$$CO = \frac{Caudal * (DBO_O - DBO_E)}{\text{Área}}$$

En un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, la carga orgánica no debe exceder los 8 g/m<sup>2</sup>.día (Delgadillo et al. 2010). Sin embargo existen experiencias donde este valor alcanzaba los 18 g/m<sup>2</sup>.día (UTEP y EPA, citados por Miglio, 2003).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

#### 4.1.1. Diseño del sistema de tratamiento

Los datos iniciales empleados y los resultados de los cálculos realizados durante el proceso de diseño del tanque séptico se muestran en las Tablas N°7 y N°8, respectivamente.

**Tabla N°7. Datos iniciales usados en el diseño del tanque séptico**

Dato inicial	Símbolo	Unidad	Valor
Maximo de Personas	P	hab	250
Dotación	D	L/día	4400
Factor de agua residual/dotación	k	-	0.8
Caudal de aguas residuales	Q	L/día	3520
Intervalo de remoción de lodos	N	año	1
Tasa de acumulación	ta	L/hab*año	40
Largo del tanque séptico	l	m	3
Ancho del tanque séptico	a	m	1.5
Área superficial del tanque séptico	A	m <sup>2</sup>	4.5

**Tabla N°8. Resultados de los cálculos para el diseño del tanque séptico**

Variable	Símbolo	Unidad	Ecuación	Resultado
Tiempo de retención hidráulica	PR	día	$PR=1.5-0.3*\text{Log}(Q)$	0.4
Volumen para la sedimentación	Vs	m <sup>3</sup>	$V_s = 10^{-3}*Q*PR$	1.5
Volumen de digestión y almacenamiento de lodos	Vd	m <sup>3</sup>	$V_d = t_a*10^{-3}*P*N$	10.0
Profundidad máxima de espuma sumergida	He	m	$He=0.7/A$	0.2
Profundidad libre de lodo	Ho	m	$Ho = 0,82 - 0,26*A$	-0.4
Profundidad mínima para la sedimentación	Hs	m	$H_s=V_s/A$	0.3
Profundidad de espacio libre	HI	m	se escoge el mayor entre Hs y (Ho+0.1)	0.3
Profundidad de lodos	Hd	m	$H_d=V_d/A$	2.2
Profundidad total	Ht	m	$H_t= He+HI+H_d$	2.7

De igual manera, los datos iniciales empleados y los resultados de los cálculos realizados durante el proceso de diseño de la trampa de grasas se muestran en las Tablas N°9 y N°10, respectivamente.

**Tabla N°9. Datos iniciales usados en el diseño de la trampa de grasas**

Dato inicial	Símbolo	Unidad	Valor
Total de unidades de gasto	p	-	8
Periodo de retención	t	min	13
Profundidad de espacio libre	df	m	0.3
Profundidad inferior	di	m	0.2
Talud del fondo	$\alpha$	grado sexagesimal	45
Largo de la trampa de grasas	l	m	1.2
Ancho de la trampa de grasas	a	m	0.6
Área superficial de la trampa de grasas	A	m <sup>2</sup>	0.72

**Tabla N°10. Resultados de los cálculos para el diseño de la trampa de grasas**

Variable	Símbolo	Unidad	Ecuación	Resultado
Caudal	Q	L/s	$Q=0.3*(p)^{0.5}$	0.85
Volumen sumergido	V	m <sup>3</sup>	$V=Q*t*60/1000$	0.66
Volumen inferior	vi	m <sup>3</sup>	$vi=(1-(di*tg\alpha/2))*a*di$	0.12
Profundidad superior	ds	m	$ds=(V-vi)/A$	0.75
Profundidad total	d	m	$d=di+ds+df$	1.25

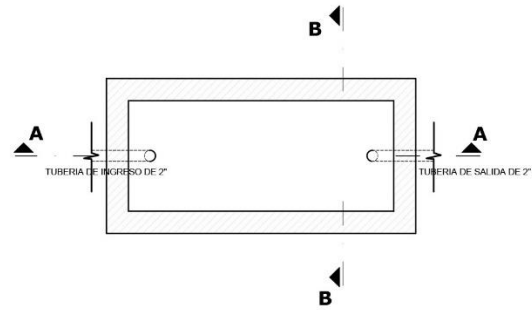


Por último, los resultados del proceso de diseño de los humedales artificiales, en otras palabras, las dimensiones de los humedales se muestran en la Tabla N°11.

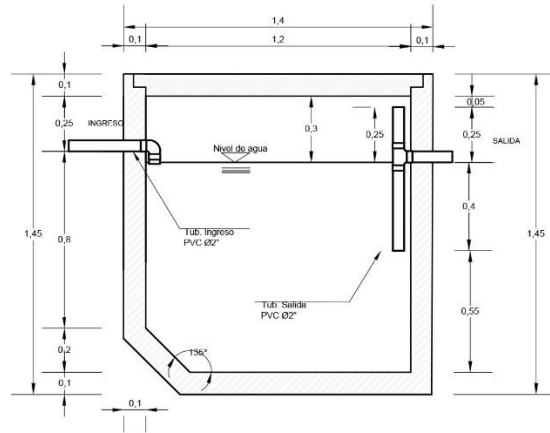
**Tabla N°11. Dimensiones finales de los humedales artificiales**

<b>Variable</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Numero de humedales	n	-	2
Largo del humedal	l	m	3.2
Ancho del humedal	a	m	1.8
Área superficial del humedal	A	m <sup>2</sup>	5.76
Talud de las paredes	t	-	0.5
Profundidad del humedal	d	m	0.5

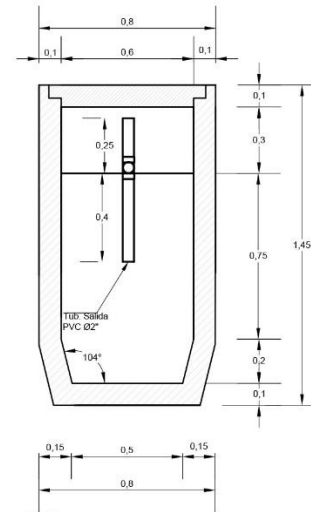
Los diseños finales de las unidades de tratamiento, es decir, trampa de grasas, tanque séptico y humedales artificiales, se muestran en las Figuras N°9, N°10 y N°11, respectivamente.



**VISTA EN PLANTA**  
ESCALA 1/25



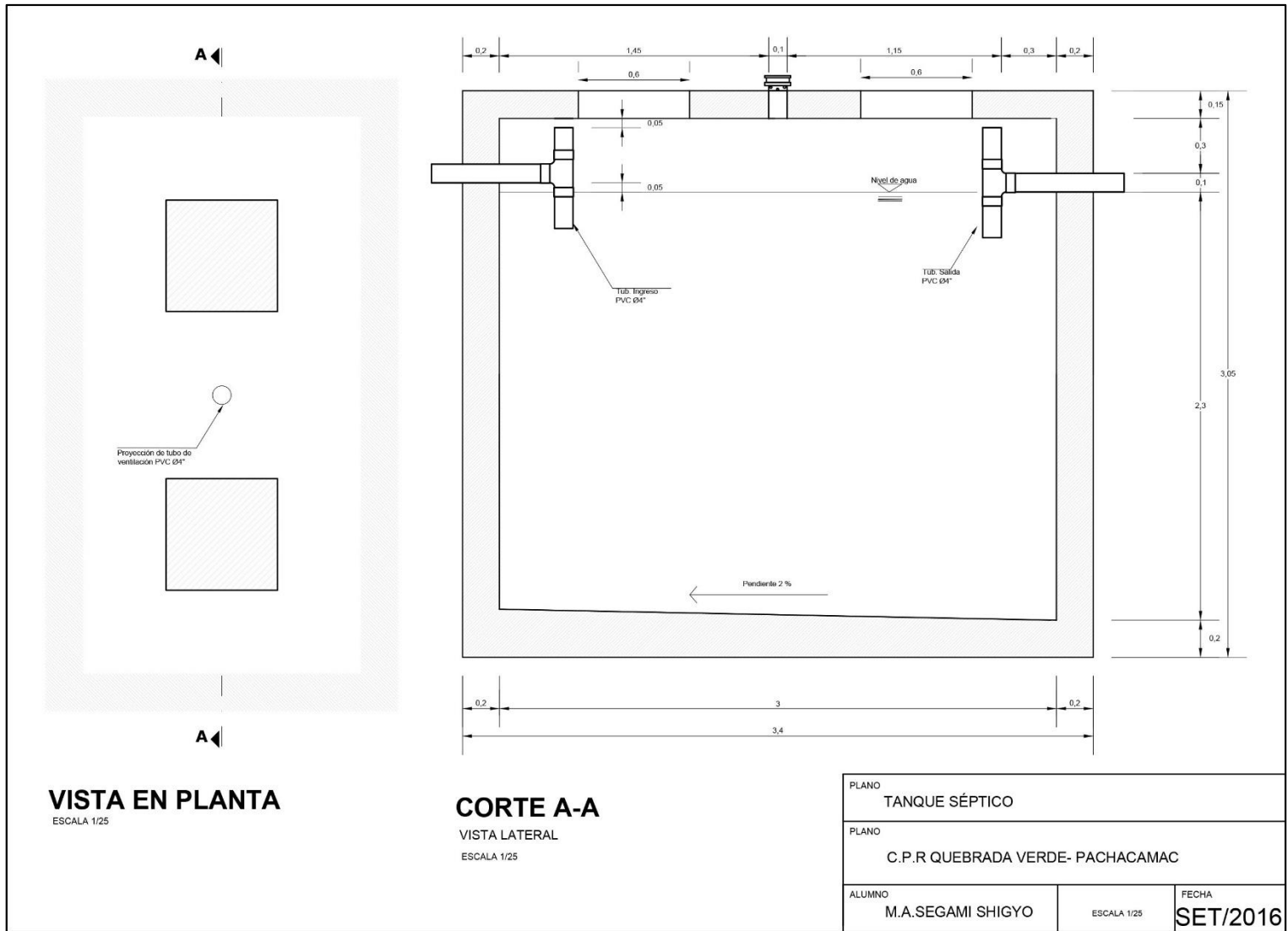
**CORTE A-A**  
VISTA LATERAL  
ESCALA 1/25



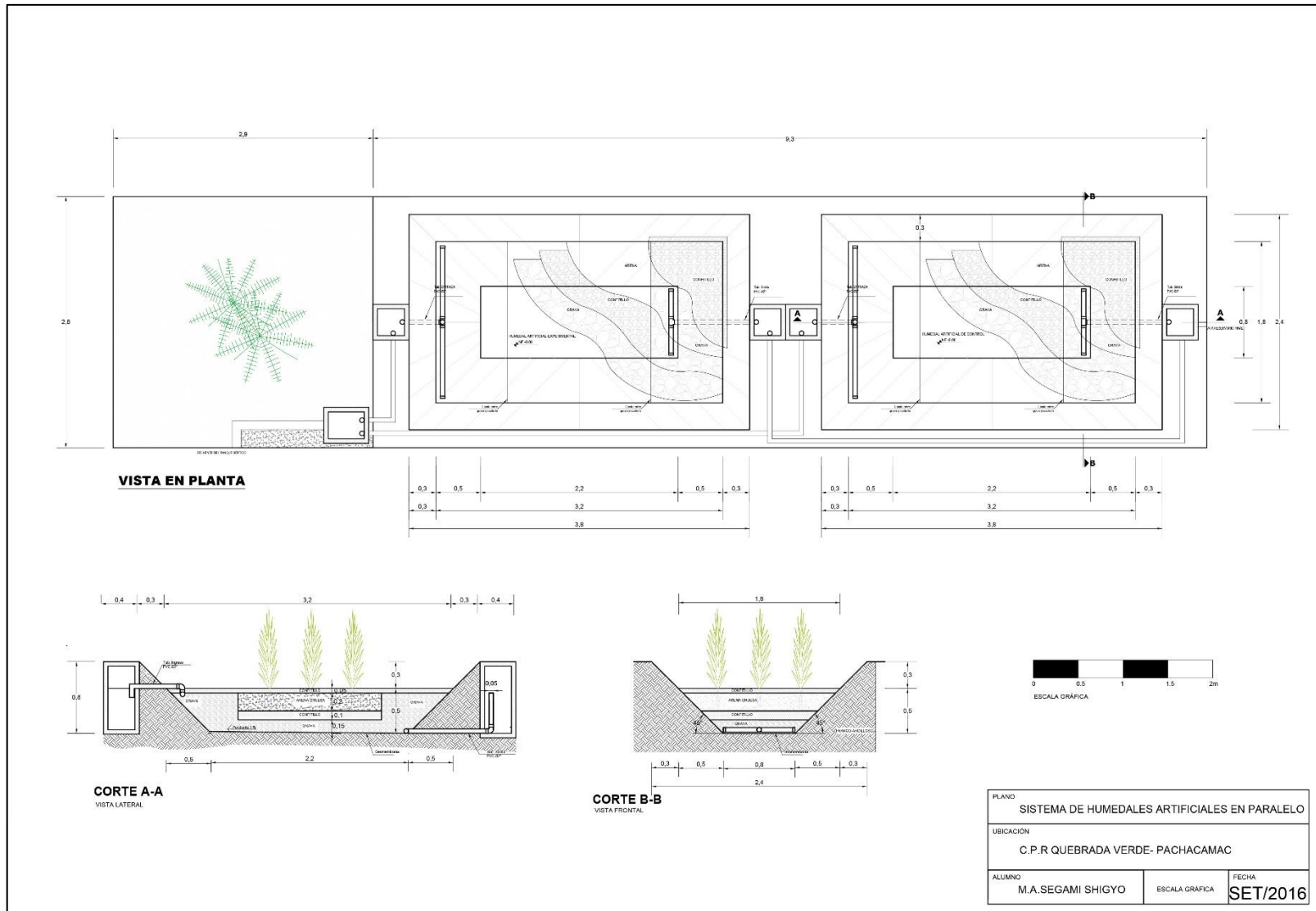
**CORTE B-B**  
VISTA DE SALIDA  
ESCALA 1/25

PLANO		
TRAMPA DE GRASA		
UBICACIÓN		
C. P. R QUEBRADA VERDE- PACHACAMAC		
ALUMNO	ESCALA 1/25	FECHA
M.A.SEGAMI SHIGYO		SET/2016

**Figura N°9. Plano de la trampa de grasas**



**Figura N°10. Plano del tanque séptico**



**Figura N°11. Plano de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal**

#### 4.1.2. Construcción del sistema de tratamiento

##### a. Tanque séptico y trampa de grasas

Para comenzar, se realizó la excavación de aproximadamente tres metros de profundidad para la construcción del tanque séptico (ver Figura N°12).



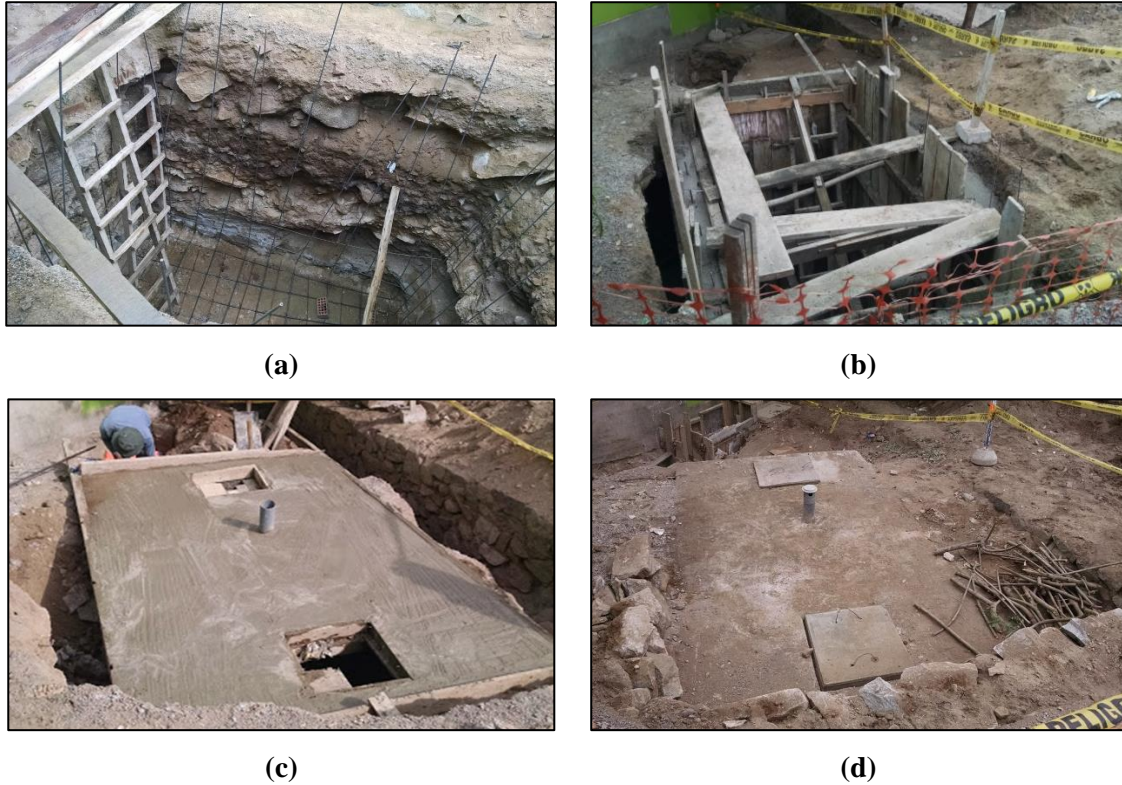
**Figura N°12. Excavación para la construcción del tanque séptico**

Durante la excavación, se encontraron numerosas rocas de gran tamaño que tuvieron que ser divididas con calor mediante un equipo lanzallamas (ver Figura N°13) para luego ser removidas del sitio.



**Figura N°13. División de una roca con el equipo lanzallamas**

Luego, se realizaron las excavaciones para la trampa de grasas y las conexiones de agua. Más tarde, se construyó el tanque séptico (ver Figura N°14) y la trampa de grasas con las características detalladas en la Tabla N°12. Finalmente, se instaló las conexiones de agua con tuberías de PVC de 4" de diámetro.



**Figura N°14. Proceso de construcción del tanque séptico**

**(a) Enmallado de fierro en forma de U**

**(b) Secado de la caja de concreto armado**

**(c) Secado del techo de concreto**

**(d) Tanque séptico completo con tapas y tubo de ventilación**

**Tabla N°12. Características de la trampa de grasas y el tanque séptico**

<b>Unidad</b>	<b>Superficie</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Material</b>	<b>Características complementarias</b>
Trampa de grasas	0.7 m x 1.4 m	1.45 m	Concreto armado y la tapa de concreto armado con fierro de ½” de diámetro.	Posee un tubo de entrada de PVC de 4” de diámetro y 0.4 m de longitud dispuesto verticalmente y un tubo de salida con las mismas características y posición.
Tanque séptico	1.9 m x 3.4 m	3.00 m	Concreto armado con enmallado de fierro de 3/8” y el techo de concreto armado con fierro de ½” de diámetro.	Posee tuberías de ingreso y salida de PVC de 4” de diámetro, dos tapas de registro y un tubo de ventilación de 6” de diámetro.

**b. Humedales artificiales**

Para comenzar, se retiró la vegetación superficial y se niveló el terreno de trabajo; luego, se procedió a excavar el terreno con la forma de los dos humedales. Cada uno tenía una superficie de 2.4 m x 3.8 m, una profundidad de 0.8 m, paredes de tierra compacta con 45° de inclinación y un fondo con pendiente descendente de uno por ciento en el sentido del flujo. Cabe señalar que, ya que el suelo del terreno era franco arcilloso, se pudo elegir un talud de 45° que permitió obtener el máximo volumen posible de los humedales artificiales. En simultáneo a la excavación, se construyeron las cajas de paso de concreto armado de 0.4 m x 0.4 m y 0.8 m de profundidad, y posteriormente, se instalaron las conexiones de tuberías de PVC de 2” de diámetro, por debajo del suelo.

Una vez terminadas las excavaciones y las cajas de agua, se procedió a instalar las geomembranas de PVC en los dos humedales. Para comenzar, se acomodó una manta de geomembrana sobre cada excavación formando pliegues en las esquinas. Los bordes de las geomembranas en el perímetro superficial se inmovilizaron colocando placas de cemento sobre estos. A cada geomembrana, en la ubicación de la entrada y de la salida del agua, se

realizó un agujero de 2" de diámetro a través de los cuales se introdujeron los tubos de PVC correspondientes; se unió la geomembrana a los tubos empleando cinta teflón, niples, contratuercas y empaquetaduras para asegurar la impermeabilidad (ver Figura N°15).



**Figura N°15. Tubo de PVC de 2" de diámetro unido a un niple cubierto de cinta teflón y con una contratuerca y una empaquetadura ya enroscadas**

Luego, se colocaron en los tubos de ingreso y de salida una unión en T de PVC. Además, se colocó, solamente a la unión del tubo de salida, un par de tubos de PVC con agujeros como se muestra en la Figura N°16.



**Figura N°16. Tubos de PVC con tapa en sólo uno de los extremos y con agujeros de 1 cm espaciados cada 10 cm**

Más tarde, se colocó el geotextil y se rellenaron las fosas con las siguientes capas de sustrato desde el fondo hacia arriba: 0.15 m de grava, 0.10 m de confitillo, 0.20 m de arena gruesa y 0.05 m de confitillo. Cabe señalar que la capa de grava en el fondo cumplió la función de facilitar el flujo del agua filtrada hacia el tubo de colección (tubo de salida). La superficie



final de la cama de sustrato corresponde a  $5.76 \text{ m}^2$  ( $1.8 \text{ m} \times 3.2 \text{ m}$ ), y la profundidad total del mismo a  $0.5 \text{ m}$ . Finalmente, se cortaron los bordes del geotextil al ras de la superficie del sustrato relleno.

En simultáneo, se construyó un reservorio cilíndrico cuya función fue el almacenamiento de las aguas tratadas. Este se construyó de concreto armado y posee  $1 \text{ m}$  de diámetro interno; puede almacenar hasta  $1.4 \text{ m}$  de altura de agua (ver Figura N°17). Una vez culminada la construcción, se procedió a poner en funcionamiento el sistema y se realizó una <<prueba de agua>> para verificar la impermeabilidad de las geomembranas instaladas. Esta consistió en introducir agua potable con una manguera a la caja en el inicio del sistema de humedales. Se llenaron ambos humedales de agua y se comprobó que, al suspender el suministro de agua, el nivel de agua no decayera.



**Figura N°17. Construcción del reservorio final de agua tratada**

El proceso de la construcción de los humedales artificiales se resume en la Figura N°18.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura N°18. Proceso de construcción de los humedales artificiales**

(a) Terreno despejado y nivelado

(b) Fosas y cajas de agua listas

(c) Humedal con geomembrana y tubos de ingreso y de salida instalados

(d) Geotextil colocado sobre la geomembrana

(e) Relleno con capas de sustrato

(f) Humedal relleno de sustrato y con el geotextil cortado al ras del sustrato

#### 4.1.3. Siembra de plantas macrófitas

Se adquirió achiras de flores rojas y amarillas en un vivero en Pachacámac. Para la siembra, se cortaron los tallos hasta una longitud de 20 cm por encima de los bulbos (Figura N°19). Se plantaron nueve tallos por humedal (1.5 plantas/m<sup>2</sup>) con una distribución de 3x3, ubicando los bulbos en contacto con el nivel de agua, sin sumergirlos (ver Figura N°20).



**Figura N°19. Tallo de achira cortado a 20 cm por encima del bulbo**



**Figura N°20. Siembra del tallo colocando el bulbo en contacto con el agua**

Se inspeccionó visualmente la adaptación y el crecimiento de las achiras durante toda la fase de experimentación, una vez por semana. Luego de un mes de sembradas, se removieron las plantas que no se adaptaron y se sembraron nuevas en su reemplazo. En la Figura N°21, se muestra el desarrollo de las plantas desde el primer día de siembra hasta el día final de monitoreo.



**Figura N°21. Desarrollo de las achiras en los humedales artificiales desde la siembra y durante el periodo de monitoreo**

- (a) Estado del desarrollo de las achiras con fecha del 2 de marzo
- (b) Estado del desarrollo de las achiras con fecha del 24 de marzo
- (c) Estado del desarrollo de las achiras con fecha del 7 de abril
- (d) Estado del desarrollo de las achiras con fecha del 21 de abril
- (e) Estado del desarrollo de las achiras con fecha del 7 de mayo
- (f) Estado del desarrollo de las achiras con fecha del 21 de mayo
- (g) Estado del desarrollo de las achiras con fecha del 4 de junio
- (h) Estado del desarrollo de las achiras con fecha del 18 de junio

#### 4.2. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS

En la Tabla N°13 se muestra los resultados del seguimiento del pH del cultivo de microorganismos benéficos luego de su preparación.

**Tabla N°13. Comportamiento de pH del cultivo de microorganismos benéficos**

Día	pH
23-Marzo-2017	6.20
24-Marzo-2017	4.67
27-Marzo-2017	3.51
07-Abril-2017	3.4

En la Tabla N°14 se muestra los resultados de los análisis realizados al líquido madre (pH<4) en el Laboratorio Marino Tabusso (recuento de *Lactobacillus*) y en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía (análisis de macro y micronutrientes).

**Tabla N°14. Características del líquido madre de microorganismos benéficos**

Característica	Parámetro	Unidad	Valor
Microbiológica	<i>Lactobacillus sp.</i>	UFC/mL	56 x 10 <sup>3</sup>
Fisicoquímica	pH	-	3.01
	Conductividad eléctrica	dS/m	39.00
	Sólidos totales g/L	g/L	124.72
	Materia orgánica en solución	g/L	89.88
	N total	mg/L	1428.00
	P total	mg/L	325.63
	K total	mg/L	909.00
	Ca total	mg/L	581.00
	Mg total	mg/L	121.00
	Na total	mg/L	46.10
	Fe total	mg/L	5.90
	Cu total	mg/L	1.58
	Zn total	mg/L	3.82
	Mn total	mg/L	0.94
B total	mg/L	0.83	

### **4.3. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL TRATADA**

Los resultados promedio de los diferentes parámetros analizados se encuentran en la Tabla N°15. Éste muestra que el afluente del sistema de humedales se trata de un agua residual doméstica de baja carga orgánica, pero de alta carga microbiológica. Por otro lado, los efluentes de los dos humedales presentan concentraciones promedio de pH, conductividad eléctrica, DBO<sub>5</sub> y DQO inocuas para el ambiente. En cambio, en los parámetros coliformes fecales y larvas y huevos de helmintos, sí se excede los valores recomendados por la OMS, los cuales son 1000 NMP/100 mL y 1 huevo/L, respectivamente.

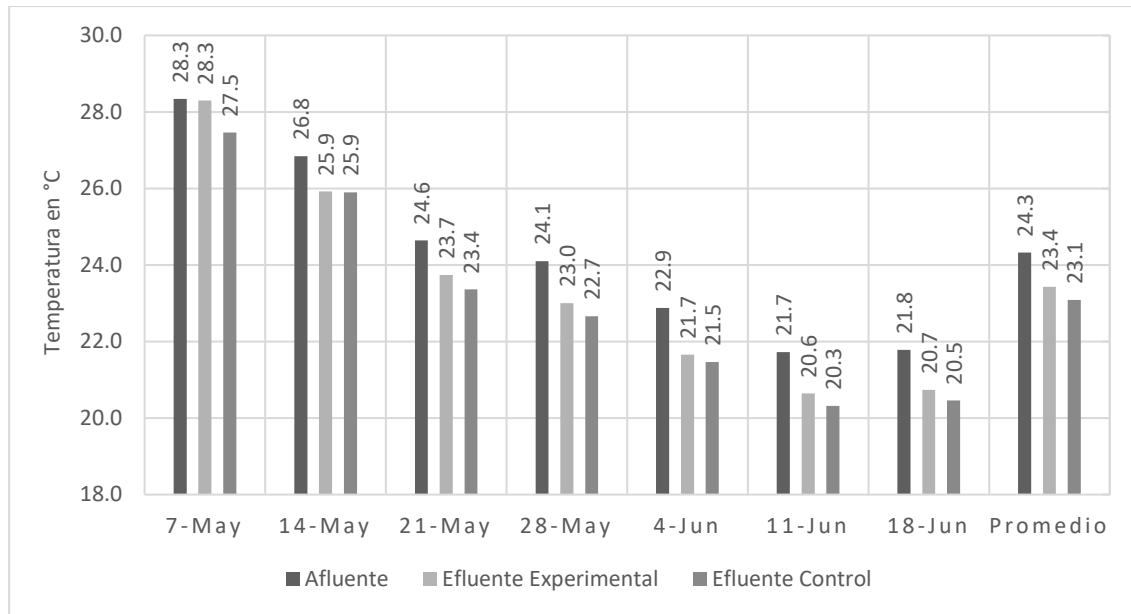
**Tabla N°15. Valores promedio de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos analizados en el agua residual tratada**

Parámetro	Unidad	Concentración en el afluente de los humedales	Concentración en el efluente		Porcentaje de remoción	
			Humedal control	Humedal con MOB	Humedal control	Humedal con MOB
Temperatura	°C	24.3	23.1	23.2	-	-
Conductividad eléctrica	uS/cm	1279	1272	1282	-	-
pH	-	8.31	8.11	8.13	-	-
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	17.71	3.89	5.22	78.05 %	70.55 %
DBO <sub>5</sub>	mg/L	12.86	8.57	11.00	33.33 %	14.44 %
DQO	mg/L	26.43	23.43	28.86	11.35 %	-9.19 %
Coliformes fecales	NMP/100 mL	9.87 x 10 <sup>5</sup>	5.29 x 10 <sup>5</sup>	2.26 x 10 <sup>5</sup>	46.44 %	77.06 %
Larvas y huevos de helmintos	N°/L	52.00	3.57	10.00	93.13 %	80.77 %

### 4.3.1. Parámetros físicos

#### a. Temperatura

En la Figura N°22, se observa la variación temporal de la temperatura promedio del agua medida in situ con el equipo multiparámetro durante el monitoreo.



**Figura N°22. Variación de la temperatura del afluyente, del efluente experimental y del efluente control durante el periodo de monitoreo**

En general, la temperatura del agua presentó un comportamiento decreciente con el paso de las semanas. Esto se debió al cambio de estación de otoño a invierno en el transcurso del mes de mayo. Cabe señalar que entre el 28 de mayo y el 4 de junio empezó la temporada de neblina en las lomas, lo cual es un indicador del decrecimiento de la temperatura del aire.

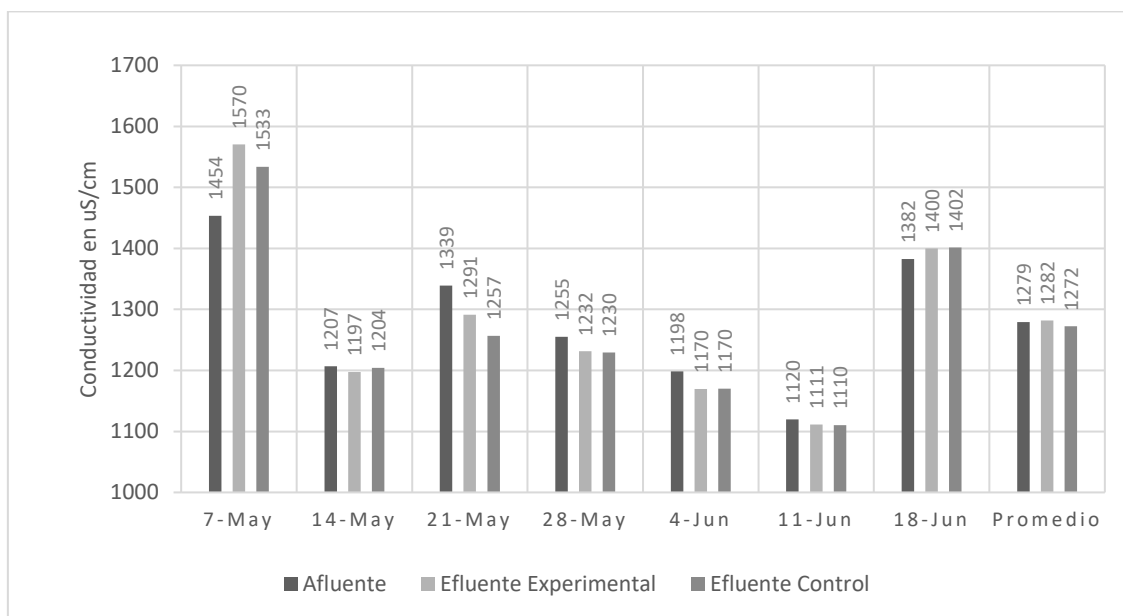
Las temperaturas obtenidas entre 25°C y 29°C se encuentran dentro del rango óptimo de desarrollo de los microorganismos (Delgadillo et al. 2010), sin embargo, desde el 21 de mayo se obtuvieron temperaturas menores, por lo que es un factor que podría haber ralentizado la actividad microbiana en los humedales.

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.



## b. Conductividad eléctrica

En la Figura N°23 se muestra la variación temporal de la conductividad eléctrica promedio del agua medida in situ durante el periodo de monitoreo.



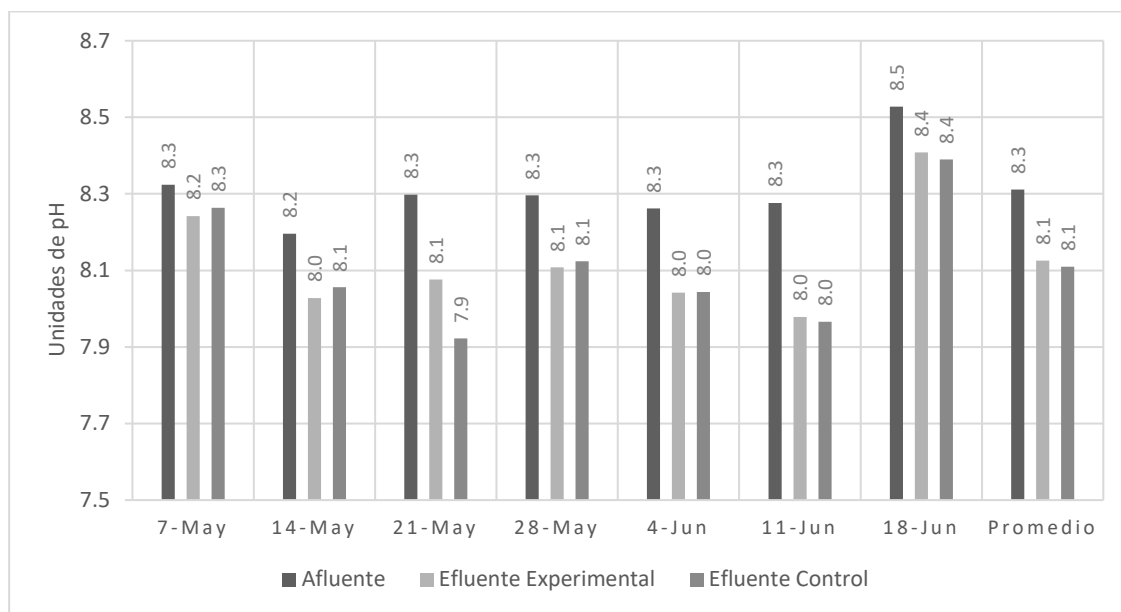
**Figura N°23. Variación de la conductividad eléctrica del afluente, del efluente experimental y del efluente control durante el periodo de monitoreo**

La conductividad eléctrica promedio obtenida en el afluente y los dos efluentes se diferencian entre 3-7 uS/cm, un rango que demuestra que el tratamiento de los humedales sobre la concentración de sólidos disueltos ha sido casi nulo. Esto se debe a que los humedales no se caracterizan por remover las sales solubles del afluente (Delgadillo et al. 2010). A pesar de esto, por tratarse de un afluente con un valor promedio de 1279 uS/cm, son aguas con bajas concentraciones de sales y, por tanto, aptas para riego.

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

### c. pH

En la Figura N°24 se observa los valores promedio de pH del afluente y los efluentes medidos in situ durante el periodo de monitoreo.



**Figura N°24. Variación del pH del afluente, del efluente experimental y del efluente control durante el periodo de monitoreo**

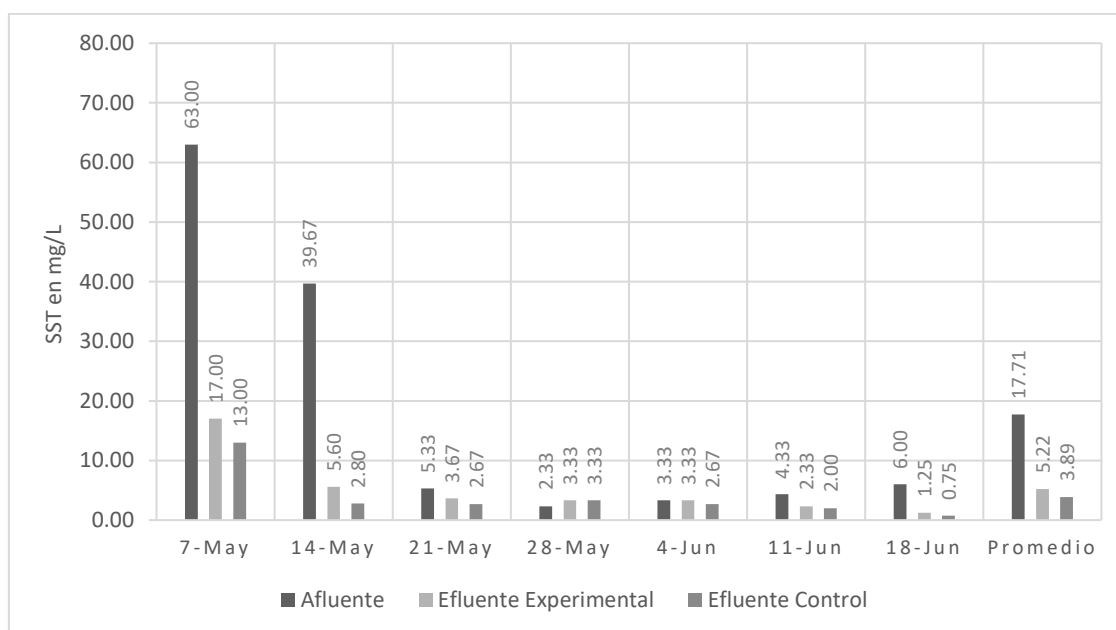
De manera general, los valores de pH en el afluente y los efluentes han se han mantenido homogéneos durante el monitoreo. El afluente, con un valor promedio de 8.3, se trata de un agua típicamente urbana (Delgadillo et al. 2010); además el valor alcalino puede deberse a que el agua de consumo en los servicios higiénicos es de origen subterráneo. Entre el afluente y los efluentes existe una baja disminución de pH de 0.2 en promedio, indicando una baja actividad degradadora y nitrificadora de los microorganismos en el humedal (Delgadillo et al. 2010). Esto se debe a que se trata de humedales recientemente implementados, con 2-3 meses de funcionamiento.

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

### 4.3.2. Parámetros químicos

#### a. Sólidos suspendidos totales (SST)

En la Figura N°25 se muestra los valores de la concentración de sólidos suspendidos totales en el afluente y los efluentes control y experimental.



**Figura N°25. Variación de sólidos suspendidos totales en el afluente, el efluente experimental y el efluente control durante el periodo de monitoreo**

La alta concentración de SST en el afluente del 7 y 14 de mayo se debe a una errónea toma de muestra que luego fue corregida. Exceptuando esos valores, se observa que los valores del afluente son casi homogéneos pues poseen diferencias despreciables. Las bajas concentraciones promedio de los efluentes (3.89 y 5.22 mg/L) indican que se trata de un agua apta para riego.

La Tabla N°16 muestra los porcentajes de remoción de SST de cada humedal para cada fecha del periodo de monitoreo. El 28 de mayo se obtuvo remociones negativas en ambos humedales, lo cual indica un aumento de SST en los efluentes, posiblemente debido al desprendimiento de materia previamente retenida en el sustrato del humedal. La remoción promedio de SST fue de 78.05 por ciento en el humedal control y de 70.55 por ciento en el humedal experimental con MOB.

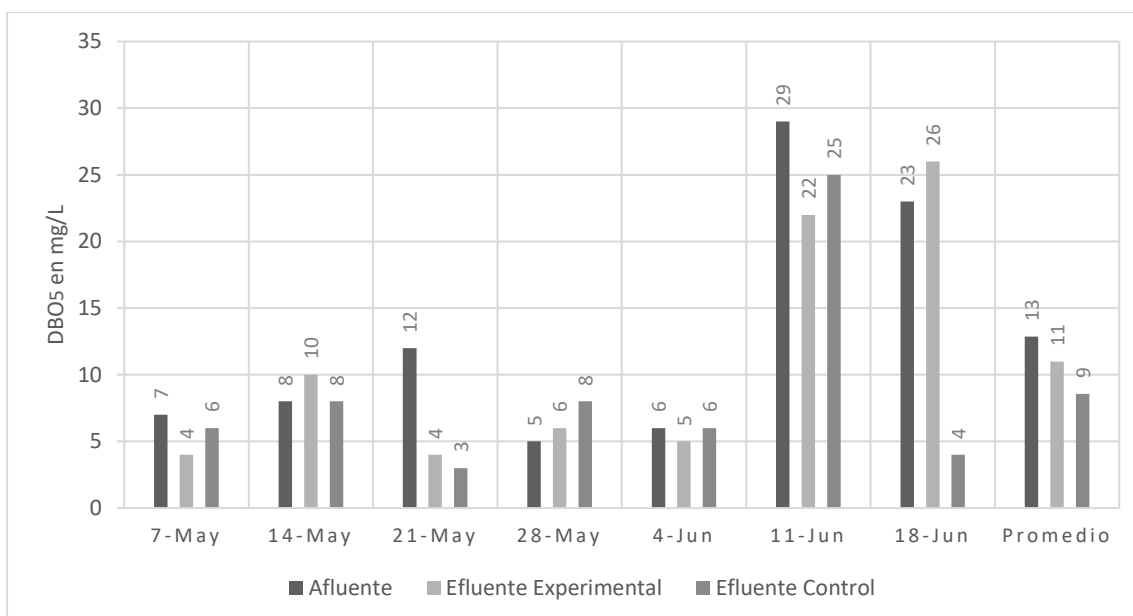
El análisis estadístico muestra que la diferencia de remoción entre tratamientos es significativa al 95 por ciento (ver Anexo 2).

**Tabla N°16. Porcentajes de remoción de sólidos suspendidos totales en los humedales artificiales control y experimental con MOB**

Fecha	Humedal control	Humedal con MOB
7-May	79.37 %	73.02 %
14-May	92.94 %	85.88 %
21-May	50.00 %	31.25 %
28-May	-42.86 %	-42.86 %
4-Jun	20.00 %	0.00 %
11-Jun	53.85 %	46.15 %
18-Jun	87.50 %	79.17 %
PROMEDIO	78.05 %	70.55 %

**b. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

En la Figura N°26, se observa los valores promedio del parámetro demanda biológica de oxígeno o DBO<sub>5</sub>.



**Figura N°26. Variación de la DBO<sub>5</sub> en el afluente, efluente experimental y el efluente control durante el periodo de monitoreo**

La variación temporal de la demanda biológica de oxígeno en el afluente muestra como la carga orgánica depende del día de monitoreo, lo cual deja inferir que está sujeto a la afluencia de turistas que usan los servicios higiénicos. Además, el afluente contenía bajas concentraciones de DBO<sub>5</sub> en las primeras cinco fechas, por lo que esto no proveía suficiente alimento para la proliferación de los microorganismos degradadores en el humedal. Por otro lado, las bajas concentraciones promedio de los efluentes (11 y 9 mg/L) indican que se trata de un agua apta para riego.

La Tabla N°17 muestra los porcentajes de remoción de la DBO<sub>5</sub> de los dos humedales para cada fecha de monitoreo. En el humedal con MOB, los días 14 de mayo y 18 de junio se obtuvieron remociones de -25 y -13.04 por ciento respectivamente, es decir, se dieron aumentos de carga orgánica en el efluente, lo cual pudo deberse a la liberación de materia proveniente de las bolas de barro. Por otro lado, el 28 de mayo se obtuvieron valores negativos de remoción en ambos humedales, los cuales pudieron deberse al desprendimiento de materia previamente retenida en el sustrato, al igual que sucedió con los SST (ver 4.3.2.a). La remoción promedio de la DBO fue de 33.33 por ciento en el humedal control y de 14.44 por ciento en el humedal experimental con MOB.

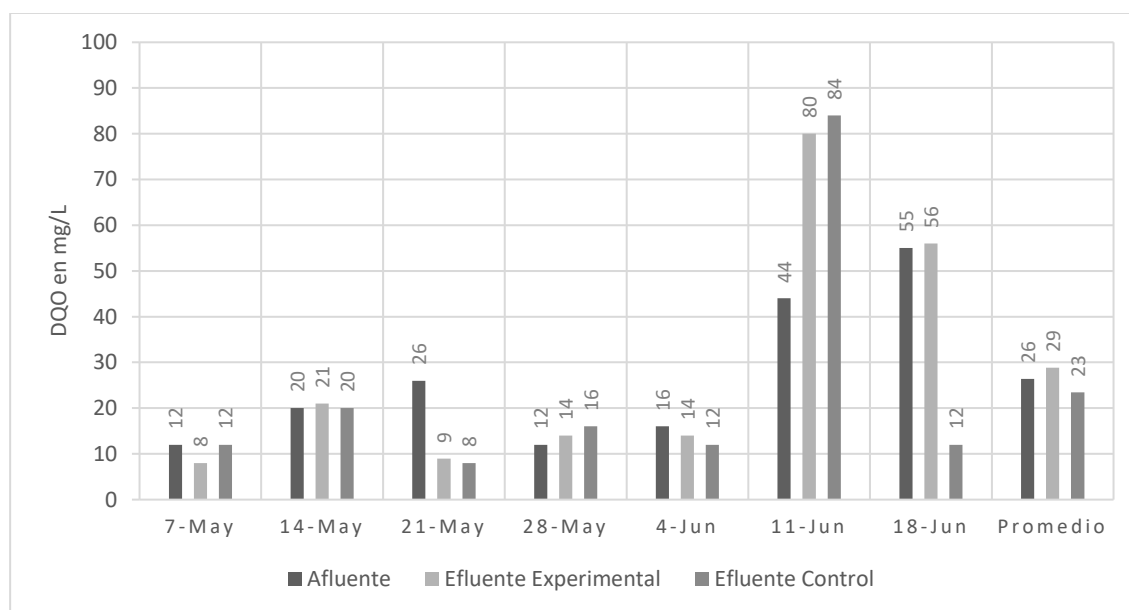
El análisis estadístico muestra que no se encontraron diferencias significativas de remoción entre los tratamientos (ver Anexo 2).

**Tabla N°17. Porcentajes de remoción de la DBO<sub>5</sub> en los humedales artificiales control y experimental con MOB**

<b>Fecha</b>	<b>Humedal control</b>	<b>Humedal con MOB</b>
7-May	14.29 %	42.86 %
14-May	0.00 %	-25.00 %
21-May	75.00 %	66.67 %
28-May	-60.00 %	-20.00 %
4-Jun	0.00 %	16.67 %
11-Jun	13.79 %	24.14 %
18-Jun	82.61 %	-13.04 %
<b>PROMEDIO</b>	<b>33.33 %</b>	<b>14.44 %</b>

### c. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la Figura N°27 se observa los valores promedio del parámetro demanda química de oxígeno o DQO. La variación temporal de la DQO en el afluente muestra como la carga orgánica depende del día de monitoreo, lo cual deja inferir que, como la DBO, está sujeto al uso de los servicios higiénicos por parte de los turistas. Las concentraciones promedio de los efluentes (23 y 29 mg/L) indican que se trata de un agua apta para riego.



**Figura N°27. Variación de la demanda química de oxígeno en el afluente, el efluente experimental y el efluente control durante el periodo de monitoreo**

La Tabla N°18 muestra los porcentajes de remoción de la DQO de ambos humedales para cada fecha de monitoreo. El 14 de mayo y el 18 de junio la remoción en el humedal con MOB fue negativa, lo cual pudo deberse al desprendimiento de materia de las bolas de barro, al igual que sucedió con la DBO<sub>5</sub> en las mismas fechas. El 28 de mayo se obtuvieron valores negativos de remoción en ambos humedales, lo cual, al igual que en la remoción de SST y la DBO<sub>5</sub> en dicha fecha, se debió posiblemente al desprendimiento de materia previamente retenida en el sustrato. Asimismo, el 11 de junio se obtuvieron remociones altamente negativas, las cuales pudieron deberse al desprendimiento de grandes cantidades de materia orgánica de difícil biodegradación contenidas en el sustrato de los humedales. La proporción DQO/DBO en ambos efluentes de aquella fecha es de 3.64 y 3.36, valores muy superiores al rango usual en aguas domesticas (1.2-2.5).

La remoción promedio de la DQO fue de 11.35 por ciento en el humedal control. En cambio, en el humedal experimental en promedio no existió remoción sino adición de DQO. Como se ha mencionado, esto pudo deberse a la incorporación de materia orgánica de difícil biodegradación, como materia lignificada, dentro del humedal.

El análisis estadístico muestra que no se encontraron diferencias significativas de remoción entre los tratamientos (ver Anexo 2).

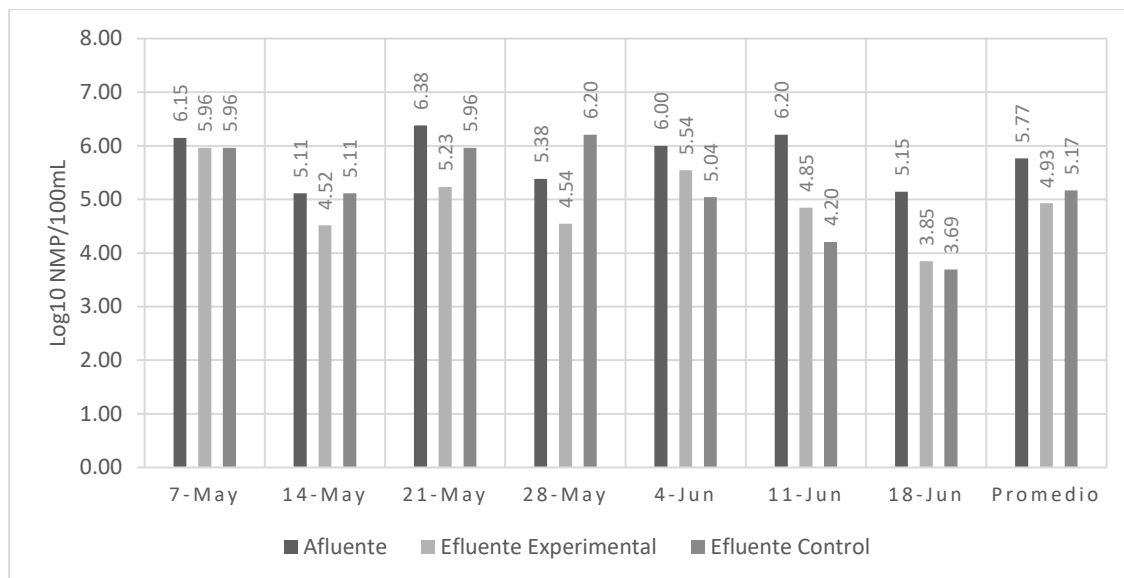
**Tabla N°18. Porcentajes de remoción de la demanda química de oxígeno en los humedales artificiales control y experimental con MOB**

<b>Fecha</b>	<b>Humedal control</b>	<b>Humedal con MOB</b>
7-May	0.00 %	33.33 %
14-May	0.00 %	-5.00 %
21-May	69.23 %	65.38 %
28-May	-33.33 %	-16.67 %
4-Jun	25.00 %	12.50 %
11-Jun	-90.91 %	-81.82 %
18-Jun	78.18 %	-1.82 %
PROMEDIO	11.35 %	-9.19 %

#### **4.3.3. Parámetros microbiológicos**

##### **a. Coliformes fecales**

En la Figura N°28 se observa los valores promedio del parámetro coliformes fecales en el afluente y los efluentes. La variación temporal de la concentración de coliformes fecales muestra como esta depende del uso de los servicios higiénicos, pues, así como en la DBO<sub>5</sub> y la DQO, existen picos de concentración del afluente el 21 de mayo y el 11 de junio. Las concentraciones promedio de los efluentes ( $5.29 \times 10^5$  y  $2.26 \times 10^5$  NMP/100mL) indican que se trata de un agua no apta para riego por superar el límite de 1000 NMP/100mL recomendado por la OMS.



**Figura N°28. Variación de los coliformes fecales en el afluyente, el efluente experimental y el efluente control durante el periodo de monitoreo**

La Tabla N°19 muestra los porcentajes de remoción de coliformes fecales de los humedales control y experimental con MOB para cada fecha de monitoreo. El 28 de mayo la remoción en el humedal control fue un valor altamente negativo (-566.67 por ciento), el cual es un valor atípico que pudo deberse a un error durante la toma de la muestra y/o al desprendimiento de materia previamente retenida en el humedal.

**Tabla N°19. Porcentajes de remoción de coliformes fecales en los humedales artificiales control y experimental con MOB**

Fecha	Humedal control	Humedal con MOB
7-May	34.29 %	34.29 %
14-May	0.00 %	74.62 %
21-May	61.67 %	92.92 %
28-May	-566.67 %	85.42 %
4-Jun	89.00 %	65.00 %
11-Jun	99.00 %	95.63 %
18-Jun	96.50 %	95.00 %
PROMEDIO	46.44 %	77.06 %

La remoción promedio de coliformes fue de 46.44 por ciento en el humedal control y de 77.06 por ciento en el humedal con MOB. Estos porcentajes se encuentran por debajo de los

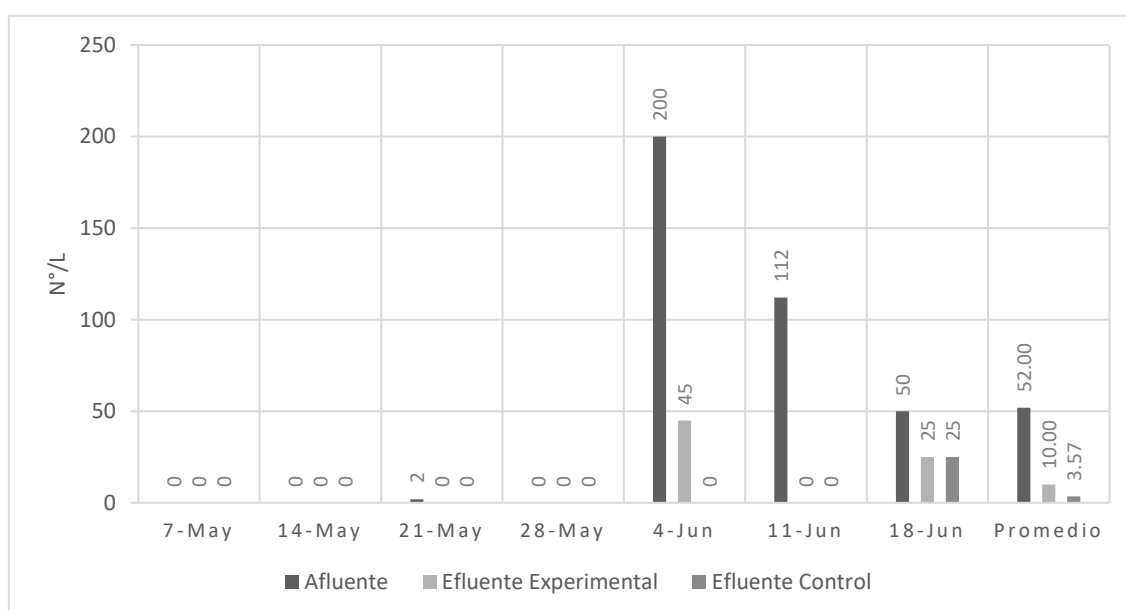


valores usuales de 90 a 99 por ciento para humedales artificiales (Wu et al. 2015), lo cual no permite alcanzar la calidad para reúso en riego.

El análisis estadístico muestra que no se encontraron diferencias significativas de remoción entre los tratamientos (ver Anexo 2).

### b. Larvas y huevos de helmintos

En la Figura N°29 se observa los valores promedio del parámetro larvas y huevos de helmintos en el afluente y los efluentes control y experimental.



**Figura N°29. Variación de larvas y huevos de helmintos en el afluente, el efluente experimental y el efluente control durante el periodo de monitoreo**

La variación temporal de la concentración de larvas y huevos de helmintos muestra que en las primeras cuatro fechas no existía dicho contaminante en el afluente y que este recién se presenta desde el monitoreo del 4 de junio. En dicha fecha y el 18 de junio, la remoción de helmintos no fue del 100 por ciento, valor esperado en humedales artificiales, lo cual pudo deberse a la configuración de las capas de sustrato, específicamente, el uso de grava en la capa más profunda, la cual no es efectiva para la remoción de estos patógenos. El 11 de junio también hubo presencia de helmintos en el afluente (112 N°/L) pero la remoción fue del 100 por ciento; ya que la carga de patógenos de ese día se encuentra entre las concentraciones del 4 y 18 de junio (valor máximo y mínimo registrado), se puede inferir que la carga

microbiológica no es un factor decisivo en la remoción. Finalmente, las concentraciones promedio de los efluentes (4 y 10 N°/L) indican que se trata de un agua no apta para riego por superar el límite de 1 N°/L recomendado por la OMS.

La Tabla N°20 muestra los porcentajes de remoción de larvas y huevos de helmintos para cada fecha de monitoreo. El 7 de mayo, el 14 de mayo y el 28 de mayo no había presencia de helmintos en las muestras, por lo que no se puede calcular la remoción. La remoción promedio de helmintos fue de 93.13 por ciento en el humedal control y de 80.77 por ciento en el humedal experimental.

**Tabla N°20. Porcentajes de remoción de larvas y huevos de helmintos en los humedales artificiales control y experimental con MOB**

<b>Fecha</b>	<b>Humedal control</b>	<b>Humedal con MOB</b>
7-May	-	-
14-May	-	-
21-May	100 %	100 %
28-May	-	-
4-Jun	100 %	78 %
11-Jun	100 %	100 %
18-Jun	50 %	50 %
<b>PROMEDIO</b>	<b>93.13 %</b>	<b>80.77 %</b>

#### 4.4. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE HUMEDALES

##### 4.4.1. Parámetros de funcionamiento

Las cargas hidráulicas y orgánicas aplicadas en superficie fueron iguales en ambos humedales artificiales. Dichos parámetros de funcionamiento se muestran en la Tabla N°21.

**Tabla N°21. Parámetros de funcionamiento de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal**

Fecha	Caudal total (L/s)	Carga hidráulica aplicada (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .día)	Carga orgánica aplicada (g/m <sup>2</sup> .día)
21-May	0.020	0.15	1.8
28-May	0.026	0.20	1.0
04-Jun	0.049	0.37	2.2
11-Jun	0.041	0.31	8.9
18-Jun	0.011	0.08	1.9
PROMEDIO	0.029	0.22	3.3

La carga orgánica aplicada en todas las fechas, excepto el 11 de junio, no superó la carga orgánica máxima recomendada de 8 g/m<sup>2</sup>.día. Por otro lado, la carga hidráulica aplicada en todas las fechas superó la carga hidráulica máxima recomendada de 0.05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.día. Esto afectó el rendimiento de los humedales y, por ende, la eficiencia de remoción de la DBO y la DQO, los cuales no alcanzaron los valores usuales de 80 a 90 por ciento característico de los humedales. Cabe recordar que los humedales no se pudieron diseñar según el caudal a tratar, sino según el área disponible para su construcción (lo cual era inamovible). Debido a esta limitante, el funcionamiento de los humedales no se encontró dentro de los valores recomendados. Para un futuro mejor rendimiento, se debe controlar efectivamente el caudal que ingresa a los humedales y derivar el exceso a través del *bypass* hacia el pozo de infiltración.

## **4.5. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS**

### **4.5.1. Desarrollo de las plantas macrófitas**

Las plantas achiras se adaptaron rápidamente a ambos humedales artificiales. Sin embargo, debido a que no se sembró bulbos con características homogéneas, cada una de las plantas se desarrolló a diferentes velocidades en los dos humedales: algunas lograron florecer antes que las otras. Así también, algunas priorizaron un crecimiento vertical, mientras que otras, un crecimiento horizontal, es decir, formaron nuevos brotes en los costados. En este sentido, no se puede considerar el desarrollo de las achiras como un factor de comparación entre los humedales sin y con MOB.

### **4.5.2. Análisis del método de aplicación**

En la Tabla N°22 se muestra la concentración de *Lactobacillus sp.* en las bolas de barro recolectadas al final del monitoreo. De estos resultados, se puede observar que las colonias de bacterias ácido lácticas se mantuvieron y no sufrieron por depredación, altas tasas de muerte natural o de lavado por la alta carga hidráulica. Esto demuestra que las bolas de barro fueron un buen medio de inmovilización para los MOB que además proveía materia orgánica y nutrientes para su desarrollo. Al momento de recogerlas, se observó que alrededor de ellas se había formado una capa de sustrato color negro, lo cual es el residuo de la actividad anaerobia (fermentativa y metanogénica). Sin embargo, el método de aplicación de bolas de barro no fue efectivo para la incorporación y proliferación de MOB en todo el humedal, como lo demuestra las comparaciones estadísticas de remoción de coliformes y otros parámetros (excepto SST). Esto pudo deberse al hecho de que las bolas contenían altas concentraciones de materia de fácil degradación (glucosa) con respecto al exterior (biomasa), lo cual quiere decir que las condiciones dentro de las bolas de barro eran más favorables para el desarrollo de los microorganismos a comparación de aquellas afuera. Como consecuencia, los microorganismos no encontraron necesidad de buscar nutrientes afuera de las bolas y no se efectuó la colonización del resto del sustrato en el humedal.

**Tabla N°22. Concentración de *Lactobacillus sp.* al final del monitoreo en las bolas de barro de MOB enterradas**

Especie	Unidad	Bolas de barro de MOB	
		Punto 1	Punto 2
<i>Lactobacillus sp.</i>	UFC/g	26 x 10 <sup>4</sup>	12 x 10 <sup>4</sup>

Cabe resaltar que la proporción usada para la aplicación de MOB mediante bolas de barro fue de 1.4 bolas por cada m<sup>2</sup> de la superficie (ocho bolas en 5.76 m<sup>2</sup>). Esto fue superior al dato del BID (2009) el cual aconseja 1 bola por m<sup>2</sup> de la superficie de un espejo de agua (no existe valor recomendado para el caso de humedales artificiales). A pesar de esto, la metodología con bolas de barro y la proporción usada fue insuficiente para incorporar los MOB efectivamente.

Para futuras investigaciones se aconseja evaluar la aplicación de mayores volúmenes de MOB por unidad de área, tomando en consideración, por ejemplo, el valor recomendado por el BID (2009) para el caso de tratamientos de pozos negros: 1 litro de MOB por cada m<sup>3</sup> de agua. Es importante mencionar que, para un tratamiento óptimo, la dosificación recomendada en las guías no es siempre la más adecuada ya que las características químicas, físicas y microbiológicas del agua residual y del concentrado de MOB varían (Rojas, 2012). Por este motivo, se recomienda realizar previamente experimentos a escala laboratorio para determinar la concentración más eficiente de microorganismos para tratar una muestra de agua residual específica y según el tipo de tratamiento a emplear.

Según Meng et al. (2014), la bioaugmentación o inoculación de microorganismos es una técnica aplicable para acelerar la biodegradación de contaminantes en las aguas residuales. Sin embargo, se requiere repetidas inoculaciones continuas para proveer suficiente biomasa microbiana a un humedal artificial, lo cual implica una operación más compleja y costosa (Singer et al. citado por Meng et al. 2014). Además, se debe tomar en consideración que los MOB necesariamente pasan por una fase de adaptación antes de comenzar a degradar la materia orgánica. Por este motivo, en varios estudios se recomienda filtrar y aislar comunidades de microorganismos autóctonos del medio donde se encuentre el agua residual ya que esto permitiría una mejor capacidad adaptativa y altas tasas de actividad metabólica

durante el tratamiento (Vymazal y Park et al. citado por Meng et al. 2014). De la misma manera, Mendoza y Ramírez (2016) recomiendan emplear un consorcio microbiano aislado del sedimento del agua residual a tratar, ya que así se logra una rápida adaptación al medio.

En vista de lo analizado, las bolas de barro no fueron un método adecuado para la aplicación efectiva de los MOB. Idealmente, el líquido madre de microorganismos benéficos debería prepararse a partir de un consorcio autóctono aislado de sedimentos del agua residual a tratar. Luego, para una óptima aplicación, se requiere realizar experimentos previos a escala laboratorio con el fin de hallar la dosis de líquido activado de MOB más eficiente para la remoción de coliformes. Más tarde, este resultado debe usarse para preparar inoculaciones constantes al afluente, lo cual permitirá una concentración y distribución óptima de MOB en todo el humedal artificial.

#### **4.5.3. Efectividad de los microorganismos benéficos**

Los MOB han sido sujeto de experimentación en diversas investigaciones para el mejoramiento del tratamiento de aguas residuales. Las primeras experimentaciones fueron desarrolladas por los desarrolladores de los EM, Okuda y Higa. En 1992, dichos investigadores decidieron probar la capacidad de los EM para optimizar un sistema de lodos activados que trataba las aguas residuales de una biblioteca. Con este fin, inicialmente se aplicó diez litros de EM1 y dos litros de EM2 y de EM3 al tanque. Posteriormente, cada tres meses se continuó aplicando dos litros de EM1 y 0.5 litros de EM2 y de EM3 al mismo tanque. Entre los años 1995 y 1997, se muestreó dos litros de agua tratada cada mes para analizar el contenido de DBO, DQO, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total. Finalmente, los investigadores concluyeron que los EM permitieron la reducción de DBO al 93 por ciento, de DQO al 20 por ciento, y de sólidos suspendidos al 94 por ciento gracias a la descomposición microbiana de la materia orgánica. Asimismo, concluyeron que conforme pasaban los meses desde la primera aplicación, la eficiencia de remoción incrementaba. (Higa y Okuda, 1999)

En Perú, también se han realizado experimentaciones con EM en el tratamiento de aguas residuales. En Trujillo, Rojas (2012) desarrolló un experimento a escala laboratorio en el que probó diferentes dosis de EM activado ( $1 \times 10^4$  UFC/mL) para tratar agua residual

doméstica de pozas oxidación empleando seis reactores batch idénticos. Para esto, se preparó un biorreactor testigo y a los otros cinco se aplicó 1500 mL de agua residual y 200 mL de EM activado en las siguientes concentraciones: 6.25, 12.5, 25.0, 50.0 y 100.0 por ciento. Luego de 25 días, se comprobó que a medida que incrementa la concentración de EM, mayor era la disminución de coliformes totales en el agua. Debido a que no se encontró diferencias significativas entre las dos mayores concentraciones (50 y 100 por ciento), se eligió la concentración del 50 por ciento como la más eficiente. Asimismo, se concluyó que la remoción aumentaba progresivamente con el tiempo de contacto entre el agua residual y los microorganismos. Mendoza y Ramírez (2016) obtuvieron resultados similares al tratar agua residual en biorreactores con concentraciones al 5, 10 y 15 por ciento de un consorcio microbiano nativo preparado, siendo la más alta concentración la más efectiva.

Por consiguiente, tanto el tiempo de contacto con el efluente como la concentración de MOB son de gran importancia pues permiten una mejor remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo y coliformes totales. Para lograr esto es necesario el hallazgo y empleo de la concentración más eficiente de MOB, y luego, la constante y permanente aplicación de MOB al sistema de tratamiento de aguas residuales, como se realizó en el estudio de Okuda y Higa en 1992.

## V. CONCLUSIONES

- La instalación del sistema de humedales artificiales en paralelo en el Centro Poblado Rural (C.P.R.) Quebrada Verde se culminó de acuerdo con el diseño planeado. Este sistema permite el tratamiento de las aguas residuales del centro de facilidades turísticas reemplazando al antiguo pozo de infiltración que generaba malos olores en la época de mayor turismo.
- La evaluación de la eficiencia de remoción de coliformes fecales, huevos y larvas de helmintos, DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en el humedal artificial con microorganismos benéficos (MOB) en bolas de barro se condujo efectivamente gracias a la configuración en paralelo de dos humedales iguales, uno de los cuales fue la unidad experimental de control.
- Los humedales artificiales operaron a un caudal superior a la capacidad recomendada para humedales de flujo subsuperficial horizontal, por lo que las eficiencias de remoción de carga orgánica y microbiológica fueron bajas. Como consecuencia, la calidad final del efluente de ambos humedales no es apta para reúso en riego debido a que supera el límite de coliformes fecales (1000 NMP/100mL) y el de larvas y huevos de helmintos (0 N°/L), valores recomendados por la OMS.
- Al comparar la calidad del agua residual tratada de los dos humedales (unidad de control y unidad con MOB), el único parámetro que presentó diferencias estadísticamente significativas fueron los sólidos suspendidos totales. Sin embargo, esto no proporciona ningún beneficio adicional para el potencial reúso de las aguas residuales tratadas ya que, para este fin, el principal parámetro a cumplir es la calidad microbiológica según la OMS.



- La aplicación de MOB mediante bolas de barro no generó diferencias estadísticamente significativas en el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal. Si bien existieron datos aislados de aparente mejora en la remoción de coliformes fecales, esto no se presentó en cada una de las muestras semanales. Por lo tanto, la aplicación de MOB mediante bolas de barro no incrementó la eficiencia de remoción de ningún parámetro relevante para el tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales.
  
- Las bolas de barro no fueron un método que permitiera la colonización del humedal por parte de los MOB debido a que las condiciones nutricionales eran más favorables dentro de las bolas. Dentro de las bolas, los MOB tenían a disposición alimento de fácil degradación (glucosa) mientras que fuera de ellas, el alimento disponible era biomasa de más compleja degradación (proteínas, grasas y carbohidratos complejos). Esto inhibió la proliferación de microorganismos benéficos fuera de las bolas y en todo el sustrato del humedal. En conclusión, el método de bolas de barro probó no ser adecuado para la aplicación de microorganismos benéficos en humedales artificiales.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar un monitoreo frecuente de los humedales en experimentación y durante más tiempo, mínimo un año, de manera que se pueda registrar la mejora en la remoción de los varios contaminantes conforme las plantas desarrollan las raíces, el cual es un factor crucial en la evolución de la eficiencia del tratamiento.
- Se recomienda realizar futuras investigaciones de aplicación de MOB en humedales artificiales a escala laboratorio para primero experimentar con diferentes concentraciones y determinar aquella óptima para tratar una muestra de agua residual en particular. Más tarde, se podría realizar investigaciones para determinar la frecuencia necesaria para una inoculación efectiva de líquido activado de MOB en los humedales. Luego de los experimentos a escala laboratorio, se debería aplicar los hallazgos en experimentos a escala piloto.

## VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2009. Manual Práctico de Uso de EM. 1 ed. Proyecto de Reducción de Pobreza y Mejora de las Condiciones Higiénicas de los Hogares de la Población Rural de Menores Recursos. BID-Fondo Especial de Japón.
2. Calheiros, Csc; Bessa, Vs; Mesquita, Rbr; Brix, H; Rangel, Aoss; Castro, Pml. 2015. Constructed wetland with a polyculture of ornamental plants for wastewater treatment at a rural tourism facility. Elsevier (Ecological Engineering) 79:1-7.
3. Carballeira, T; Ruiz, I; Soto, M. 2016. Effect of plants and Surface loading rate on the treatment efficiency of shallow subsurface constructed wetlands. Elsevier (Ecological Engineering) 90:203-214.
4. Cárdenas, J.C. 2012. Evaluación de la calidad de biogás y biol en biodigestores utilizando estiércol de vaca y residuos orgánicos del comedor pre-tratados con la técnica del bokashi en la UNALM. Tesis Ing. Amb. Lima, Perú, UNALM. 132 p.
5. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 2005. Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización. Lima.
6. Collado, M.C; Meriluoto, J; Selaminen, S. 2007. In vitro analysis of probiotic strain combinations to inhibit pathogen adhesion to human intestinal mucus. Food Research International.
7. Correa, M. 1999. (19-23 Abril). The impact of effective microorganisms (EM) in various farming systems. International Workshop on EM Technology. Bangkok. Tailandia, The Asian Pacific Nature Agriculture.

8. Da Silva, A.B; Da Silva, R.B; Sanches, A.B; Kinjo, S. 2016. Use of Effective Microorganisms for Treatment of Domestic Sewage by the Activated Sludge (en línea). Brasil. Mokichi Ohada Foundation. Consultado 7 set. 2016. Disponible en [http://www.infric.or.jp/english/KNF\\_Data\\_Base\\_Web/PDF%20KNF%20Conf%20Data/C4-9-153.pdf](http://www.infric.or.jp/english/KNF_Data_Base_Web/PDF%20KNF%20Conf%20Data/C4-9-153.pdf)
9. Delgadillo, O; Camacho, A; Pérez, L.F; Andrade, M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba, Bolivia, Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Proyecto HUMEDAL. Proyecto GOV-AGUA, Programa ALFA de la Unión Europea.
10. ECO TECNOLOGÍAS. 2016. Tecnología EM®- Microorganismos Eficaces (en línea). Cojodes, Venezuela. Consultado 12 set. 2016. Disponible en <http://www.ecotecnologias.com.ve/images/pdf/General.pdf>
11. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). 1987. La calidad de agua en la agricultura. Roma.
12. Higa, T; Chinen, N. 1998. EM treatments of odor, waste water and environmental problems. Okinawa, Japón, College of Agriculture, University of the Ryukyus.
13. Leveau, J.Y; Bouix, M. 2000. Microbiología Industrial: los microorganismos de interés industrial. Zaragoza, España, Editorial Acribia. 578 p.
14. Madigan, M.T; Martinko, J.M; Parker, J. 2004. Brock: biología de los microorganismos. 10 ed. Madrid, España, Pearson Educación. 1096 p.
15. Mendoza, L.H; Ramirez, J.L. 2016. Efecto de la concentración de un consorcio microbiano nativo en la degradación de materia orgánica de las aguas residuales del canal de regadío Santa Rosa – Distrito de Santa Rosa, provincia de Chepén, 2015. Tesis Blgo. Trujillo, Perú, Universidad Nacional de Trujillo. 83p.

16. Meng, P; Pei, H; Hu, W; Shao, Y; Li, Z. 2014. How to increase microbial degradation in constructed wetlands: influencing factors and improvements measures. Elsevier (Bioresource Technology) 157:316-326.
17. Meza, V. 2015. Producción de agentes microbianos eficientes autóctonos (diapositivas). Lima, Perú, UNALM. 41 diapositivas.
18. Miglio, R. 2003. Sistemas de tratamiento de aguas residuales con el uso de plantas acuáticas. Tesis MSc. Lima, Perú, UNALM. 86 p.
19. MINAM (Ministerio del Ambiente del Perú, Perú). 2015. Decreto supremo N° 015-2015-MINAM, Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación. Diario El Peruano. 19 dic.
20. Morato, J; Salcedo, I; Codony, F; Delgado, S; García, J; Bayona, J.M. 2005. Eliminación de microorganismos y dinámica del biofilm en humedales construidos de flujo subsuperficial. Lorca, España. Encuentro internacional en fitodepuración.
21. Kannan, D; Kumar, S.V. 2012. Effective Microorganisms Used in Domestic Effluent Treatment System. India, Department of Botany, Thiagarajar College.
22. Okuda, A; Higa, T. 1999. Purification of Waste Water with Effective Microorganisms and its Utilization in Agriculture. En Actas de la V Conferencia Internacional sobre Agricultura Natural Kyusei, Tailandia, 1998 Senanayake, Y D A y Sangakkara U R (Ed) APNAN, Tailandia: 246-253.
23. OMS (Organización Mundial de la Salud). 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura (en línea). Ginebra. Consultado 7 set. 2016. Disponible en <http://apps.who.int/iris/handle/10665/39333>
24. Rojas, H.R. 2014. Estudio del efecto de la aplicación de Microorganismos Efectivos (EM) en la calidad del biol en un proceso de biodigestión anaeróbica. Tesis Ing. Amb. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 77 p.

25. Rojas, M.I. 2012. Efecto de la concentración de los Microorganismos Eficaces (EM) en la degradación de materia orgánica de aguas residuales domésticas de las lagunas de oxidación del distrito de Moche - Región La Libertad. Tesis Blgo. Trujillo, Perú, Universidad Nacional de Trujillo. 81p.
26. Romero, J.A. 1999. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Bogotá, Colombia, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
27. Seoáñez, C.M; Gutiérrez, A. 1999. Aguas Residuales: Tratamiento por Humedales Artificiales. España, Editorial Mundi – Prensa.
28. Sneath, P; Holt, J; Krieg, N; Staley, J; Williams, S. 1986. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. 9 ed. Estados Unidos, Editorial Williams & Wilks. p. 1209-1234.
29. Sim, C.H. 2003. The use of constructed wetlands for wastewater treatment. 1 ed. Malasia, Wetlands International - Malaysia Office. 24 p.
30. Szymanski, N; Patterson, R.A. 2003. Effective microorganisms (EM) and wastewater systems. Australia, Lanfax Laboratories Armidale.
31. Vergeles, Y; Vystavna, Y; Ishchenko, A; Rybalka, I; Marchand, L; Stolberg, F. 2015. Assessment of treatment efficiency of constructed wetlands in East Ukraine. Elsevier (Ecological Engineering) 83:159-168.
32. Wu, H; Zhang, J; Ngo, H.H; Guo, W; Hu, Z; Liang, S; Fan, J; Liu, H. 2014. A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: design and operation. Elsevier (Bioresource Technology) 175:594-601.
33. Wu, S; Carvalho, P.N; Müller, J.A; Manoj, V.R; Dong, R. 2015. Sanitation in constructed wetlands: A review on the removal of human pathogens and fecal indicators. Elsevier (Science of the Total Environment) 541:8-22.

34. Zakaria, Z; Gairola, S; Shariff, N.M. 2010. Effective Microorganism Technology for Water Quality Restoration and Potential for Sustainable Water Resources and Management. Malasia, Biology Programme, School of Distance Education.
  
35. Zhang, D.Q; Jinadasa, K.B.S.N; Gersberg, R.M; Liu, Y; Ng, WJ; Tan, S.K. 2014. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries: a review of recent developments (2000-2013). Elsevier (Journal of Environmental Management) 141:116-131.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1. RESULTADOS DE CAUDAL DEL AFLUENTE MEDIDOS EN EL PREMONITOREO

<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>
09:30	0.4	18	0.022
10:00	0.4	9	0.044
10:30	0.4	3	0.117
11:00	0.4	3	0.138
11:30	0.4	4	0.111
12:00	0.4	3	0.120
12:30	0.4	4	0.113
13:00	0.4	25	0.016
13:30	0.4	3	0.133
14:00	0.4	15	0.028
14:30	0.4	6	0.071
15:00	0.4	16	0.025
15:30	0.4	93	0.004



## ANEXO 2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA)

### Sólidos suspendidos totales

Modelo lineal general: %SST vs. Tratamiento, Semanas

#### Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

#### Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	2	HC, HE
Semanas	Fijo	6	1, 2, 3, 4, 5, 6

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	0.03186	0.031863	10.88	0.021
Semanas	5	2.43400	0.486800	166.28	0.000
Error	5	0.01464	0.002928		
Total	11	2.48050			

### Demanda biológica de oxígeno

Modelo lineal general: %DBO vs. Tratamiento, Semanas

#### Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

#### Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	2	HC, HE
Semanas	Fijo	6	1, 2, 3, 4, 5, 6

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	0.03201	0.03201	0.29	0.616
Semanas	5	1.46696	0.29339	2.62	0.157
Error	5	0.55942	0.11188		
Total	11	2.05839			

## **Demanda química de oxígeno**

Modelo lineal general: %DQO vs. Tratamiento, Semanas

### **Método**

Codificación de factores (-1, 0, +1)

### **Información del factor**

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	2	HC, HE
Semanas	Fijo	6	1, 2, 3, 4, 5, 6

### **Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	0.04761	0.04761	0.79	0.414
Semanas	5	2.88234	0.57647	9.60	0.013
Error	5	0.30021	0.06004		
Total	11	3.23017			

## **Coliformes fecales**

Modelo lineal general: %CF vs. Tratamiento, Semanas

### **Método**

Codificación de factores (-1, 0, +1)

### **Información del factor**

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	2	HC, HE
Semanas	Fijo	6	1, 2, 3, 4, 5, 6

### **Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	4.430	4.430	1.29	0.308
Semanas	5	17.275	3.455	1.01	0.498
Error	5	17.188	3.438		
Total	11	38.892			

### **ANEXO 3. INFORMES DE LABORATORIO**



## INFORME DE ENSAYO N° 1704185 - LMT

**SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA : FERMENTADO DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS  
1704185)**

PROCEDENCIA : UNALM  
TIPO DE ENVASE : Botella de Plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 200 mL. aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 04 - 18  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 04 - 18  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 04 - 19  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 04 - 21

### RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1704185
<sup>1</sup> Recuento de <i>Lactobacillus</i> sp. (UFC/mL)	56 x 10 <sup>3</sup>

#### **Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

#### **Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.



La Molina, 24 de abril de 2017

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274  
E-mail: [imt@lamolina.edu.pe](mailto:imt@lamolina.edu.pe)



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : MIKI ANDREA SEGAMI SHIGYO  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA  
MUESTRA DE : FERMENTADO DE ORGANISMOS BENEFICOS  
REFERENCIA : H.R. 58202  
FACTURA : 485  
FECHA : 02/05/17

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
228		3.01	39.00	124.72	89.88	1428.00	325.63	909.00

Nº LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
228		581.00	121.00	46.10

LAB	CLAVES	Fe Total mg/L	Cu Total mg/L	Zn Total mg/L	Mn Total mg/L	B Total mg/L
228		5.90	1.58	3.82	0.94	0.83

  
Dr. Sady García Bendezi  
Jefe de Laboratorio



## INFORME DE ENSAYO N° 1705237- LMT

SOLICITANTE MIKI SEGAMI SHIGYO  
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO  
MUESTRA : AGUA RESIDUAL  
1705237) INFLUENTE

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 05 - 07  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 05 - 08  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 08  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 16

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1705237
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	14 x 10 <sup>5</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y oquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.  
<sup>2</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 19 de mayo de 2017



*p. Doris Zúñiga Davila*

DRA. DORIS ZÚNIGA DAVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274  
E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)



## INFORME DE ENSAYO N° 1705238- LMT

SOLICITANTE MIKI SEGAMI SHIGYO

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA RESIDUAL  
1705238) EFLUENTE 1

PROCEDENCIA	: Pachacamac
TIPO DE ENVASE	: Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA	: 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN	: En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO	: 2017 - 05 - 07
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2017 - 05 - 08
FECHA DE INICIO DE ENSAYO	: 2017 - 05 - 08
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2017 - 05 - 16

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1705238
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	92 x 10 <sup>4</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y oquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>3</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 19 de mayo de 2017



DRA. DORIS ZUNIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [imt@lamolina.edu.pe](mailto:imt@lamolina.edu.pe)



## INFORME DE ENSAYO N° 1705239- LMT

SOLICITANTE MIKI SEGAMI SHIGYO

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA RESIDUAL  
1705239) EFLUENTE 2

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 05 - 07  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 05 - 08  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 08  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 16

### RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1705239
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	92 x 10 <sup>4</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

#### Metodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>2</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 19 de mayo de 2017



*Doris Zuniga Davila*

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [imt@lamolina.edu.pe](mailto:imt@lamolina.edu.pe)





## INFORME DE ENSAYO N° 1705277- LMT

SOLICITANTE MIKI SEGAMI SHIGYO

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA RESIDUAL  
1705277) INFLUENTE

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 05 - 15  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 05 - 15  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 15  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 18

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1705277
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	13 x 10 <sup>4</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y oquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>2</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 19 de mayo de 2017

DRA. DORIS ZÚÑIGA DAVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)





## INFORME DE ENSAYO N° 1705278- LMT

SOLICITANTE MIKI SEGAMI SHIGYO

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA RESIDUAL  
1705278) EFLUENTE 1

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 05 - 15  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 05 - 15  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 15  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 18

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1705278
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	33 x 10 <sup>3</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>2</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 19 de mayo de 2017



*Doris Zuñiga Dávila*

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)



**INFORME DE ENSAYO N° 1705279- LMT**

SOLICITANTE MIKI SEGAMI SHIGYO

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA RESIDUAL  
1705279) EFLUENTE 2

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 05 - 15  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 05 - 15  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 15  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 18

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA**

Análisis Microbiológico	Muestra 1705279
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	13 x 10 <sup>4</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.  
<sup>2</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 19 de mayo de 2017



DRA. DORIS ZUNIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274  
E-mail: [imt@lamolina.edu.pe](mailto:imt@lamolina.edu.pe)



## INFORME DE ENSAYO N° 1705300- LMT

SOLICITANTE MIKI SEGAMI SHIGYO

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA RESIDUAL  
1705300) INFLUENTE

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 05 - 21  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 05 - 21  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 21  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 25

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1705300
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	24 x 10 <sup>5</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y oocistos de protozoarios patógenos. (N°/L)	2

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>2</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 30 de mayo de 2017.

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)





## INFORME DE ENSAYO N° 1705301- LMT

SOLICITANTE MIKI SEGAMI SHIGYO

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA RESIDUAL  
1705301) EFLUENTE 1

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 05 - 21  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 05 - 21  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 21  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 25

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1705301
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	17 x 10 <sup>4</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>2</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 30 de mayo de 2017



*p. Doris Zúñiga Dávila*

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)



## INFORME DE ENSAYO N° 1705302- LMT

SOLICITANTE MIKI SEGAMI SHIGYO

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA RESIDUAL  
1705302) EFLUENTE 2

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 05 - 21  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 05 - 21  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 21  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 25

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1705302
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	92 x 10 <sup>4</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helminths, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>3</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 30 de mayo de 2017



DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)



## INFORME DE ENSAYO N° 1705337- LMT

**SOLICITANTE** MIKI SEGAMI SHIGYO

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA RESIDUAL  
1705337) INFLUENTE

**PROCEDENCIA** : Pachacamac  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2017 - 05 - 28  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2017 - 05 - 29  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2017 - 05 - 29  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2017 - 06 - 01

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1705337
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	24 x 10 <sup>4</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>3</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 07 de junio de 2017



DRA. DORIS ZÚNIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)



## INFORME DE ENSAYO N° 1705338- LMT

**SOLICITANTE** MIKI SEGAMI SHIGYO

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA RESIDUAL  
1705338) EFLUENTE 1

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 05 - 28  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 05 - 29  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 29  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 06 - 01

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1705338
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	35 x 10 <sup>3</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>3</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### **Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 07 de junio de 2017



DRA. DORIS ZÚNIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lm@lamolina.edu.pe](mailto:lm@lamolina.edu.pe)





## INFORME DE ENSAYO N° 1705339- LMT

**SOLICITANTE** MIKI SEGAMI SHIGYO

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA RESIDUAL  
1705339) EFLUENTE 2

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 05 - 28  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 05 - 29  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 05 - 29  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 06 - 01

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1705339
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	16 x 10 <sup>5</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helminths, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>3</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### **Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 07 de junio de 2017



*p. estudio*

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)



## INFORME DE ENSAYO N° 1706368- LMT

**SOLICITANTE** MIKI SEGAMI SHIGYO

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA RESIDUAL  
1706368) INFLUENTE

**PROCEDENCIA** : Pachacamac  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2017 - 06 - 04  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2017 - 06 - 05  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2017 - 06 - 05  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2017 - 06 - 12

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1706368
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	10 x 10 <sup>5</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	200

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>3</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### **Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 14 de junio de 2017



DRA. DORIS ZÚNIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274  
E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)



## INFORME DE ENSAYO N° 1706369- LMT

**SOLICITANTE** MIKI SEGAMI SHIGYO

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA RESIDUAL  
1706369) EFLUENTE 1

**PROCEDENCIA** : Pachacamac  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2017 - 06 - 04  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2017 - 06 - 05  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2017 - 06 - 05  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2017 - 06 - 12

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1706369
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	35 x 10 <sup>4</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y oocistos de protozoarios patógenos. (N°/L)	45

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.  
<sup>3</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 14 de junio de 2017



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lm@lamolina.edu.pe](mailto:lm@lamolina.edu.pe)



## INFORME DE ENSAYO N° 1706370- LMT

**SOLICITANTE** MIKI SEGAMI SHIGYO

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA RESIDUAL  
1706370) EFLUENTE 2

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 06 - 04  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 06 - 05  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 06 - 05  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 06 - 12

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1706370
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	11 x 10 <sup>4</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>3</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### **Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 14 de junio de 2017



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [imt@lamolina.edu.pe](mailto:imt@lamolina.edu.pe)



## INFORME DE ENSAYO N° 1706385- LMT

**SOLICITANTE** MIKI SEGAMI SHIGYO

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA RESIDUAL  
1706385) INFLUENTE

**PROCEDENCIA** : Pachacamac  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2017 - 06 - 11  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2017 - 06 - 12  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2017 - 06 - 12  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2017 - 06 - 15

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1706385
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	16 x 10 <sup>5</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helminths, quistes y oocistos de protozoarios patógenos. (N°/L)	112

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>2</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 03 de julio de 2017



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274  
E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



## INFORME DE ENSAYO N° 1706386- LMT

**SOLICITANTE** MIKI SEGAMI SHIGYO

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA RESIDUAL  
1706386) EFLUENTE 1

**PROCEDENCIA** : Pachacamac  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2017 - 06 - 11  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2017 - 06 - 12  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2017 - 06 - 12  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2017 - 06 - 15

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1706386
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	70 x 10 <sup>3</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helminths, quistes y oquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>3</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### **Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 03 de julio de 2017



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



## INFORME DE ENSAYO N° 1706387- LMT

**SOLICITANTE** MIKI SEGAMI SHIGYO

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA RESIDUAL  
1706387) EFLUENTE 2

**PROCEDENCIA** : Pachacamac  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2017 - 06 - 11  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2017 - 06 - 12  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2017 - 06 - 12  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2017 - 06 - 15

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1706387
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	16 x 10 <sup>3</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>3</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 03 de julio de 2017



DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)



## INFORME DE ENSAYO N° 1706390- LMT

**SOLICITANTE** MIKI SEGAMI SHIGYO

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA RESIDUAL  
1706390) INFLUENTE

**PROCEDENCIA** : Pachacamac  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2017 - 06 - 18  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2017 - 06 - 19  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2017 - 06 - 19  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2017 - 06 - 22

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1706390
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	14 x 10 <sup>4</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helminths, quistes y oocistos de protozoarios patógenos. (N°/L)	50

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>3</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 03 de julio de 2017



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lm@lamolina.edu.pe](mailto:lm@lamolina.edu.pe)





## INFORME DE ENSAYO N° 1706391- LMT

**SOLICITANTE** MIKI SEGAMI SHIGYO

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA RESIDUAL  
1706391) EFLUENTE 1

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 06 - 18  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 06 - 19  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 06 - 19  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 06 - 22

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1706391
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	70 x 10 <sup>2</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helminetos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	25

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>3</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### **Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 03 de julio de 2017

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)





## INFORME DE ENSAYO N° 1706392- LMT

**SOLICITANTE** MIKI SEGAMI SHIGYO

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA RESIDUAL  
1706392) EFLUENTE 2

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 3 000 ml aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 06 - 18  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 06 - 19  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 06 - 19  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 06 - 22

### RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1706392
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	49 x 10 <sup>2</sup>
<sup>2</sup> Conteo de larvas y huevos de Helminths, quistes y oquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	25

#### Métodos:

<sup>1</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

<sup>3</sup>SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 03 de julio de 2017



*p. Doris Zúñiga Dávila*

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274  
E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)

**Información General**

Matriz: Agua  
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 33765 (May-135)  
 Muestreado por: Cliente  
 Procedencia: Miki Andrea Segami Shigyo (Jr. Barajas 528 - San Borja)  
 Lugar de Muestreo: Pachacámac  
 Referencia: Lomas de Lúcumo

Identificación de Laboratorio: S-0001370690  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: I1  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-05-08  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-05-07 15:10

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-05-13		
DBO5		7	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-05-12		
DQO		12	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001370691  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: E1  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-05-08  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-05-07 15:26

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-05-13		
DBO5		4	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-05-12		
DQO		8	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001370692  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: E2  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-05-08  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-05-07 15:40

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-05-13		
DBO5		6	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-05-12		
DQO		12	mg/L

**Información General**

Matriz: Agua  
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 33765 (May-343)  
 Muestreado por: Cliente  
 Procedencia: Miki Andrea Segami Shigyo (Jr. Barajas N° 528 - San Borja)  
 Referencia: Pachacámac

Identificación de Laboratorio: S-0001374994  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: I1  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-05-15  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-05-14 15:00

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-05-20		
DBO5		8	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-05-17		
DQO		20	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001374995  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: E1  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-05-15  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-05-14 15:00

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-05-20		
DBO5		10	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-05-17		
DQO		21	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001374996  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: E2  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-05-15  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-05-14 15:00

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-05-20		
DBO5		8	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-05-17		
DQO		20	mg/L

**Información General**

Matriz: Agua  
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 33765 (May-574)  
 Muestreado por: Cliente  
 Procedencia: Miki Andrea Segami Shigyo (Jr. Barajas N° 528 - San Borja)  
 Referencia: Pachacámac

Identificación de Laboratorio: S-0001378183  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: I1  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-05-22  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-05-21 15:00

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-05-27		
DBO5		12	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-05-26		
DQO		26	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001378184  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: E1  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-05-22  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-05-21 15:00

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-05-27		
DBO5		4	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-05-26		
DQO		9	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001378185  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: E2  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-05-22  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-05-21 15:00

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-05-27		
DBO5		3	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-05-26		
DQO		8	mg/L



### Información General

Matriz: Agua  
Solicitud de Análisis: Cotización N° 33765 (May-757)  
Muestreado por: Cliente  
Procedencia: Miki Andrea Segami Shigyo (Jr. Barajas N° 528 - San Borja)  
Lugar de Muestreo: Pachacámac  
Referencia: Lomas de Lúcumo

Identificación de Laboratorio: S-0001381111  
Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
Identificación de Muestra: I1  
Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-05-29  
Fecha y hora de Muestreo: 2017-05-28 14:50

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-06-02		
DBO5		5	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-05-31		
DQO		12	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001381113  
Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
Identificación de Muestra: E1  
Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-05-29  
Fecha y hora de Muestreo: 2017-05-28 15:05

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-06-02		
DBO5		6	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-05-31		
DQO		14	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001381114  
Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
Identificación de Muestra: E2  
Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-05-29  
Fecha y hora de Muestreo: 2017-05-28 15:13

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-06-02		
DBO5		8	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-05-31		
DQO		16	mg/L

### Información General

Matriz: Agua  
 Solicitud de Análisis: Cadena de Custodia N° Jun-111  
 Muestreado por: Cliente  
 Procedencia: Miki Andrea Segami Shigyo (Jr. Barajas N° 528 - San Borja)  
 Lugar de Muestreo: Pachacámac  
 Referencia: Lomas de Lúcumo

Identificación de Laboratorio: S-0001391750  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: I1  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-06-05  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-06-04 15:00

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-06-10		
DBO5		6	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-06-08		
DQO		16	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001391751  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: E1  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-06-05  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-06-04 15:09

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-06-10		
DBO5		5	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-06-08		
DQO		14	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001391752  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: E2  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-06-05  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-06-04 15:19

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-06-10		
DBO5		6	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-06-08		
DQO		12	mg/L

**Información General**

Matriz: Agua  
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 33765 (Jun-418)  
 Muestreado por: Cliente  
 Procedencia: Miki Andrea Segami Shigyo (Jr. Barajas 528 - San Borja)  
 Lugar de Muestreo: Pachacámac  
 Referencia: Lomas de Lúcumo

Identificación de Laboratorio: S-0001387455  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: I1  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-06-12  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-06-11 15:00

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-06-17		
DBO5		29	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-06-13		
DQO		44	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001387457  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: E1  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-06-12  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-06-11 15:08

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-06-17		
DBO5		22	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-06-13		
DQO		80	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001387458  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: E2  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-06-12  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-06-11 15:16

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-06-17		
DBO5		25	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-06-13		
DQO		84	mg/L



**Información General**

Matriz: Agua  
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 33765 (Jun-703)  
 Muestreado por: Cliente  
 Procedencia: Miki Andrea Segami Shigyo (Jr. Barajas N° 528 - San Borja)  
 Lugar de Muestreo: Pachacámac  
 Referencia: Lomas de Lúcumo

Identificación de Laboratorio: S-0001389804  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: I1  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-06-19  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-06-18 15:00

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-06-24		
DBO5		23	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-06-20		
DQO		55	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001389805  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: E1  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-06-19  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-06-18 15:10

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-06-24		
DBO5		26	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-06-20		
DQO		56	mg/L

Identificación de Laboratorio: S-0001389807  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: E2  
 Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2017-06-19  
 Fecha y hora de Muestreo: 2017-06-18 15:20

Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>			
DBO5 en Aguas. EPA Method 405.1, Revised March 1983	2017-06-24		
DBO5		4	mg/L
DQO en Agua. EPA Method 410.1, Revised March 1983	2017-06-20		
DQO		12	mg/L



## INFORME DE ENSAYO N° 1707442- LMT

**SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA : LODO RESIDUAL  
1707442) PTO 1**

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Frasco de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 g. aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 07 - 06  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 07 - 06  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 07 - 06  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 07 - 11

### RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1707442
<sup>1</sup> Recuento de <i>Lactobacillus</i> sp. (UFC/g)	26 x 10 <sup>4</sup>

#### Métodos:

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 12 de julio de 2017

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)





## INFORME DE ENSAYO N° 1707443- LMT

**SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA : LODO RESIDUAL  
1707443) PTO 2**

PROCEDENCIA : Pachacamac  
TIPO DE ENVASE : Frasco de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 g. aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 07 - 06  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 07 - 06  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 07 - 06  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 07 - 11

### RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1707443
<sup>1</sup> Recuento de <i>Lactobacillus</i> sp. (UFC/g)	12 x 10 <sup>4</sup>

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 12 de julio de 2017

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)

