

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
GRISES CON HUMEDAL ARTIFICIAL EN UNA ASOCIACIÓN DE  
VIVIENDAS EN ATE VITARTE”**

Presentado por:

**Juan Gamarra Rojas**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Lima – Perú

2016



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
GRISES CON HUMEDAL ARTIFICIAL EN UNA ASOCIACIÓN DE  
VIVIENDAS EN ATE VITARTE”**

Presentado por:

**Juan Gamarra Rojas**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Sustentado y Aprobado por el siguiente jurado:

---

Dra. Rosemary Vela Cardich  
PRESIDENTE

---

Dra. Lía Ramos Fernández  
MIEMBRO

---

Mg. Sc. Wilfredo Baldeón Quispe  
MIEMBRO

---

Ing. Lawrence Quipuzco Ushñahua  
ASESOR





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL  
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL  
044/2016/FC**

Los Miembros del Jurado que suscriben, se han reunido en la Ceremonia de Sustentación de Tesis que presenta el señor **Juan Gamarra Rojas**, titulado: **“EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES CON HUMEDAL ARTIFICIAL EN UNA ASOCIACIÓN DE VIVIENDAS DE ATE VITARTE”**

Por lo consiguiente la declaramos:

APROBADA

con el calificativo de:

SOBRESALIENTE

y se acuerda que su redacción final sea publicada en una revista científica de importancia.

En consecuencia, queda en condiciones de ser calificado apta por el Consejo de Facultad y recibir el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

De conformidad con lo estipulado en el Art. 172° inciso “I” del Reglamento General de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

La Molina, 13 de Diciembre de 2016.

Dra. Rosemary Vela Cardich  
PRESIDENTE

Dra. Lía Ramos Fernández  
MIEMBRO

Mg.Sc. Wilfredo Baldeón Quispe  
MIEMBRO

Ing. Lawrence Quiroz Ushñahu  
ASESOR



**Dedicatoria:** A mi familia, en especial a mi madre  
por su apoyo y motivación constante.



## ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1.	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS .....	3
2.1.1.	DEFINICIÓN.....	3
2.1.2.	PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL .....	3
2.1.3.	AGUAS RESIDUALES BAJO EL ENFOQUE DEL SANEAMIENTO ECOLÓGICO .....	10
2.2.	AGUAS GRISES.....	12
2.2.1.	DEFINICIÓN Y CONSIDERACIONES GENERALES .....	12
2.2.2.	CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN TÍPICA DE LAS AGUAS GRISES .....	13
2.2.1.	ASPECTOS GENERALES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES .....	16
2.3.	HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	17
2.3.1.	DEFINICIÓN.....	17
2.3.2.	CLASIFICACIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES .....	17
2.3.3.	COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE HUMEDALES ARTIFICIALES .....	18
2.3.4.	PROCESOS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL .....	22
2.3.5.	DISEÑO DE HUMEDALES SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL .....	24
2.3.6.	SISTEMAS DE TRATAMIENTO CON USO DE HUMEDALES ARTIFICIALES.....	27
2.5.	CONSIDERACIONES PARA EL REÚSO DE AGUAS TRATADAS .....	29
2.6.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO CON HUMEDAL ARTIFICIAL .....	34
2.6.1.	ASPECTOS GENERALES.....	34
2.6.2.	DISEÑO DEL SISTEMA .....	35
2.6.3.	UNIDADES DEL SISTEMA.....	39
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	43
3.1.	ASPECTOS GENERALES.....	43
3.3.	MATERIALES.....	43
3.3.1.	MATERIALES.....	43
3.3.2.	EQUIPOS.....	44
3.4.	METODOLOGÍA.....	44
3.4.1	DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	44

3.4.2. DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	51
3.4.3. EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE CALIDAD DEL AGUA GRIS TRATADA CON FINES DE REUSO EN RIEGO DE ÁREAS VERDES.....	58
3.4.4. ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	58
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	58
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
4.1. EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO.....	60
4.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA GRIS CRUDA.....	60
4.1.2. CALIDAD DEL AGUA Y EFICIENCIAS DE REMOCIÓN.....	62
4.1.3. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA.....	64
4.1.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	76
4.2. PARÁMETROS OPERACIONALES Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	77
4.2.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES.....	77
4.2.2. CARACTERIZACIÓN DE LODOS.....	84
4.2.3. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO.....	85
4.2.4. EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.....	87
4.3. CUMPLIMIENTO DE CALIDAD DEL AGUA GRIS TRATADA CON FINES DE REUSO EN RIEGO DE ÁREAS VERDES.....	88
4.3.1. CUMPLIMIENTO DE LAS GUÍAS DE LA OMS.....	88
4.3.2. COMPARACIÓN REFERENCIAL CON LOS ECA - AGUA.....	91
4.4. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	91
4.4.1. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	92
4.4.2. PROPUESTA DE MEJORA.....	95
4.4.3. PROPUESTA DE ACTIVIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	98
V. CONCLUSIONES.....	101
VI. RECOMENDACIONES.....	103
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
VIII. ANEXOS.....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Clasificación de sólidos en el agua.....	5
Tabla 2 : Composición típica del agua gris.....	15
Tabla 3 : Características promedio de los sustratos.....	19
Tabla 4 : Procesos de remoción de contaminantes en humedales.....	23
Tabla 5 : Calidad microbiológica del agua de reúso para riego.....	30
Tabla 6 : Consideraciones para el reúso de agua residual tratada en agricultura.....	31
Tabla 7 : Reducción de patógenos por medidas de control.....	32
Tabla 8 : Estándares de calidad ambiental - Agua categoría 3.....	33
Tabla 9 : Parámetros generales de diseño.....	36
Tabla 10 : Parámetros de diseño del humedal artificial.....	37
Tabla 11 : Características del humedal artificial.....	41
Tabla 12 : Monitoreo de la calidad del agua.....	47
Tabla 13 : Indicaciones para la toma y preservación de muestras.....	49
Tabla 14 : Muestreo de lodos .....	55
Tabla 15 : Caracterización del agua gris cruda.....	60
Tabla 16 : Resultados de la calidad del agua y eficiencias de remoción.....	63
Tabla 17 : Parámetros operacionales del humedal artificial.....	79
Tabla 18 : Caracterización de lodos .....	85
Tabla 19 : Características del filtro del humedal.....	86
Tabla 20 : Crecimiento de la vegetación del humedal.....	87
Tabla 21 : Cumplimiento de las directrices de la OMS (1989) .....	89
Tabla 22 : Cumplimiento de las directrices de la OMS (2006) .....	90
Tabla 23 : Comparación con los ECAs.....	91

Tabla 24 : Propuesta de mejoras del sistema de tratamiento.....	95
Tabla 25 : Prueba de cloración en el agua gris tratada.....	96
Tabla 26 : Actividades de operación y mantenimiento.....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Separación de flujos en el saneamiento ecológico.....	12
Figura 2 : Clasificación de los humedales artificiales.....	18
Figura 3 : Ubicación del sistema de tratamiento.....	35
Figura 4 : Esquema de trampa de grasa.....	40
Figura 5 : Esquema del humedal artificial.....	41
Figura 6 : Esquema del riego por goteo .....	42
Figura 7 : Puntos de muestreo de agua.....	45
Figura 8 : Variación temporal de la temperatura.....	64
Figura 9 : Variación temporal del pH.....	65
Figura 10 : Variación temporal de la conductividad eléctrica.....	66
Figura 11 : Variación temporal de aceites y grasas.....	67
Figura 12 : Variación temporal de la demanda bioquímica de oxígeno.....	68
Figura 13 : Variación temporal de la demanda química de oxígeno.....	69
Figura 14 : Variación temporal de los sólidos suspendidos totales.....	71
Figura 15 : Variación temporal de los sólidos sedimentables.....	72
Figura 16 : Variación temporal de la turbiedad.....	73
Figura 17 : Variación temporal de los coliformes fecales.....	74
Figura 18 : Variación temporal de los coliformes totales.....	75
Figura 19 : Variación temporal del caudal de tratamiento.....	77
Figura 20: Variación horaria del caudal.....	78
Figura 21 : Variación temporal del tiempo de retención hidráulico – Trampa de grasa.....	79
Figura 22 : Variación temporal del tiempo de retención hidráulico – Humedal.....	80
Figura 23 : Variación temporal de la carga hidráulica superficial.....	81

Figura 24 : Variación temporal de la carga orgánica.....	82
Figura 25 : Variación temporal de la superficie específica.....	83
Figura 26 : Variación temporal de las personas equivalentes.....	84
Figura 27 : Curva granulométrica del filtro del humedal.....	86

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Galería Fotográfica.....	112
Anexo 2: Plano – Trampa de grasa .....	126
Anexo 3: Plano – Humedal Artificial de flujo subsuperficial horizontal.....	128
Anexo 4: Resumen de los parámetros evaluados y eficiencia de remoción.....	130
Anexo 5: Informes de ensayo de laboratorio .....	134
Anexo 6: Cálculo de parámetros operacionales.....	168
Anexo 7: Análisis granulométrico por tamizado.....	172
Anexo 8: Análisis estadístico.....	174



## RESUMEN

La presente investigación titulada “Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas grises con humedal artificial en una asociación de viviendas en Ate Vitarte”, evalúa el desempeño de un humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal con la finalidad de reusar aguas grises en el riego de áreas verdes. Para la evaluación del sistema se realizó el monitoreo de la calidad del agua gris, así como se determinó los parámetros operacionales y características del humedal; el periodo de evaluación fue en los meses de enero y febrero del 2016. El caudal de tratamiento es de 1,12 m<sup>3</sup>/día, además se obtuvo una remoción total de la DBO<sub>5</sub>, DQO y SST de 92.4, 88.5 y 96.6 % respectivamente. Los coliformes fecales presentaron un valor de 7.52x10<sup>4</sup> NMP/100ml que no cumple las recomendaciones de la Organización mundial de la salud del año 1989, el cual establece 1000 NMP/100ml para su reuso en riego; sin embargo, el agua tratada es reusada mediante riego por goteo a plantas de tallo alto (árboles y arbustos) y sin exposición a las personas, con estas condiciones de reuso la Organización mundial de la salud no presentan restricciones respecto a los coliformes fecales, permitiendo el reuso del agua tratada. Finalmente, la presente investigación propone realizar un manejo del lodo generado en la trampa de grasa y un proceso de desinfección química para el agua gris tratada, como medidas de mejoramiento del sistema para considerar en su aplicación en otras zonas.

Palabras claves: Aguas grises, tratamiento aguas, humedales artificial, trampa grasa, Ate Vitarte, reuso agua.



## **ABSTRACT**

The present investigation entitled "Evaluation of a system greywater treatment with artificial wetland in a housing association in Ate Vitarte" evaluates the performance of a subsurface artificial wetland horizontal flow in order to reuse gray water to irrigate areas green. For the evaluation of system monitoring water quality it was conducted gray and operational parameters and characteristics of the wetland was determined; the evaluation period was in the months of January and February 2016. The treatment flow is 1.12 m<sup>3</sup>/day; the total removal obtained of BOD<sub>5</sub>, COD and TSS was 92.4, 88.5 and 96.6 percent respectively. Fecal coliforms present a value of 7.52x10<sup>4</sup> MPN / 100ml does not meet the recommendations of the World Health Organization 1989, which sets 1000 MPN/100ml for reuse in irrigation; however, the treated water is reused by drip irrigation plants with long stems (trees and shrubs) without exposure to people with such conditions reuse the World Health Organization have no restrictions on fecal coliform allowing reuse of treated water.. Finally, this research intends to conduct a management of sludge generated in the grease trap and a process of chemical disinfection for the treated gray water, such as measures to improve the system to consider its application in other areas.

**Key words:** Greywater, water treatment, artificial wetlands, grease trap, Ate Vitarte, reuse water.



## I. INTRODUCCIÓN

En el año 2012, se implementó un sistema de tratamiento de aguas grises, el cual incluyó la instalación de 15 lavaderos multiusos en viviendas, una red de tuberías de recolección y distribución, así como una planta de tratamiento con la finalidad de recuperar aguas grises para la plantación de arbustos y árboles en una ladera, permitiendo evitar deslizamientos de material del cerro y aumentar las áreas verdes de la zona. El sistema está ubicado en la Asociación de viviendas “Señor de la Justicia” en el distrito de Ate Vitarte, de la provincia y departamento de Lima; y fue implementado por la ONG Servicios Educativos El Agustino.

La presente investigación evaluó el sistema para determinar su desempeño de remoción de contaminantes en el agua gris, evaluando las unidades conformadas por una trampa de grasa y un humedal subsuperficial de flujo horizontal; para lo cual, se realizó el monitoreo de la calidad del agua gris, los parámetros operacionales, las características del filtro, crecimiento y adaptación de las macrófitas; asimismo, el cumplimiento de la directrices de la Organización mundial de la salud para el reuso de aguas tratadas en el riego.

En Lima existen muchos asentamientos humanos que se han ubicado principalmente en los cerros de la periferia de la ciudad, debido a que estas zonas en su mayoría han sido tomadas ilegalmente, sus habitantes carecen de servicios básicos como agua potable y alcantarillado sanitario, el sistema evaluado puede ser una opción tecnológica para el manejo de las aguas grises generadas en viviendas, mejorando las condiciones sanitarias de las personas y cuidando el ambiente.

El objetivo general de la presente investigación es: Evaluar el desempeño del sistema de tratamiento con humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal para el tratamiento de aguas grises provenientes de lavaderos multiusos con fines de reúso en riego de áreas verdes.

Asimismo, los objetivos específicos son:

- i. Determinación y evaluación de las eficiencias de remoción de contaminantes del sistema de tratamiento.
- ii. Determinación y evaluación de los parámetros operacionales y características del sistema de tratamiento.
- iii. Evaluación del cumplimiento de calidad del agua gris tratada con fines de reuso en riego de áreas verdes.
- iv. Elaborar propuestas para el mejoramiento del sistema de tratamiento.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

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

#### **2.1.1. DEFINICIÓN**

Las aguas residuales son aquellas aguas de desecho que por su uso en actividades y/o procesos han sido alteradas en su composición física, química y/o biológica. Según Romero (2004) las aguas residuales pueden clasificarse principalmente en aguas residuales domésticas, municipales e industriales, las cuales se definen a continuación:

- Aguas residuales domésticas: Son las aguas provenientes de viviendas, residencias, edificios, e instituciones.
- Aguas residuales municipales: las aguas transportadas por el sistema de alcantarillado de una población, contienen aporte de las aguas pluviales y/o industriales.
- Aguas residuales industriales: son las aguas provenientes luego de su uso en procesos industriales.

#### **2.1.2. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL**

Se cuentan con gran variedad de parámetros que indican el estado de la calidad del agua residual, los parámetros necesarios a evaluar en un proyecto se seleccionan según los objetivos o aspectos técnicos que se quieran conocer.

Los parámetros se pueden clasificar según su naturaleza como físicos, químicos y biológicos. A continuación se definen los parámetros de calidad del agua, que se han seleccionados para la presente investigación.

## a) Parámetros Físicoquímicos

**Temperatura del agua:** la determinación de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, dada la influencia tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, la medición de la temperatura debe de hacerse en campo. La unidad de medida usada en la presente investigación es grados centígrados.

**Potencial de hidrogeno (pH):** el termino pH es una forma de expresar la concentración del ion hidrógeno o, más preciso, la actividad del ion hidrógeno. En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución. En plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean procesos biológicos, el pH debe controlarse dentro de un intervalo favorable a los organismos. El pH es un parámetro que se mide en campo, no tiene unidades, solo presenta valores del 0 al 14, valores menores a 7 indican una solución acida, mayores a 7 soluciones básicas y el valor de 7 la neutralidad. El pH óptimo para el uso de microorganismos en el tratamiento de aguas residuales es entre 6 y 8 (Romero, 2004).

**Conductividad eléctrica:** la conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se hace la determinación. La conductividad de un agua nos dará, por tanto, una estimación acerca de la concentración aproximada de sales minerales presentes, sin embargo no nos aportará información acerca de la contaminación orgánica de un agua en caso que exista, pues la materia orgánica apenas modifica la conductividad de ésta. Las unidades en el sistema internacional es siemens por cm, también se pueden expresar en mho por cm, cuya equivalencia es 1 mho= 1 siemens.

El agua destilada fresca tiene entre 0.05 y 0.2 mS/m. En aguas residuales industriales pueden llegar a tener conductividad sobre los 1000 mS/m (Romero, 2004).

**Turbidez:** La turbidez es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua, cuanto mayor sea la intensidad de luz dispersada, mayor será la turbidez. El método

más usado de medición da resultados en unidades nefelométricas de turbidez (UNT). EL principal uso de este parámetro es en aguas de consumo humano, cuerpos naturales y aguas para elaboración de bebidas y alimentos; ya que permite dar una idea general de la contaminación del agua (Romero, 2009).

**Sólidos:** los sólidos son todas las partículas que se encuentran en el agua, pueden tener naturaleza orgánica o inorgánica, y están en diversos tamaños, estos se clasifican según su tamaño (disueltos y en suspensión) y por su naturaleza (fijos y volátiles), en la Tabla 1 se detallan los tipos de sólidos. Las unidades son miligramos por litro.

**Tabla 1: Clasificación de sólidos en el agua**

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
Sólidos totales	Son los sólidos que se obtiene como residuo después de ser sometido el agua a evaporación entre 103 y 105°C, durante 24 horas. Contiene todos los tipos de sólidos en la muestra de agua.
Sólidos disueltos	Son los sólidos de una muestra de agua que pasan por un filtro (mayormente de 1.2 micrometros de tamaño de poro) y que luego quedan como residuos al ser sometidos a evaporación.
Sólidos en suspensión	Son los sólidos que quedan retenidos en el filtro, se determina mediante evaporación de la humedad del filtro y diferencia de pesos.
Sólidos fijos	Son los sólidos que quedan como residuos después del proceso de calcinación ( $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$ ), estos solidos tienen naturaleza inorgánica. Están contenidos dentro de los disueltos y en suspensión.
Sólidos volátiles	Son los sólidos oxidados y liberados como gas en el proceso de calcinación del agua, esta fracción corresponde a los sólidos de naturaleza orgánica. Están contenidos dentro de los disueltos y en suspensión.
Sólidos sedimentables	Son los sólidos que sedimentan en el fondo de un recipiente en forma cónica (cono Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Tiene unidades de ml/l.

FUENTE: Modificado de Metcalf & Eddy (1998)

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** según Romero (2004) la DBO<sub>5</sub> es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias medidos a los 5 días y a 20°C.

La DBO<sub>5</sub> es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar eficiencias de procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas posibles en fuentes receptoras.

**Demanda química de oxígeno (DQO):** se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general el dicromato de potasio, en un medio ácido y alta temperatura. Compuestos inorgánicos que interfieren con el ensayo, como los cloruros, pueden causar resultados erróneos de DQO, por lo cual se recomienda usar algunos químicos que reacciones con las interferencias.

La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales y municipalidades, tóxicas a la vida biológica y se puede realizar en solo tres horas. La DQO del agua residual viene a ser mayor que la DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica.

Según Metcalf & Eddy (1998), la relación DBO<sub>5</sub>/DQO para aguas residuales domésticas brutas se halla en el intervalo 0.4 – 0.8.

**Nitrógeno (N):** es esencial para el crecimiento de protistas y plantas, razón por el cual lleva el nombre de nutriente. El contenido total del nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoniacal, nitrito y nitrato, como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$N_{\text{Total}} = N_{\text{Amoniacal}} + N_{\text{Organico}} + N_{\text{Nitrato}} + N_{\text{nitrito}}$$

$$NTK = N_{\text{Amoniacal}} + N_{\text{Organico}}$$

$$N_{\text{Total}} = N_{\text{TK}} + N_{\text{Nitrato}} + N_{\text{nitrito}}$$

El contenido en nitrógeno orgánico se determina con el método Kjeldahl, que consiste en hervir la muestra acuosa con el fin de eliminar el amoníaco existente, para dar paso al proceso de digestión en el que el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco y es medido. El nitrógeno Kjeldhal total (NTK) se determina del mismo modo que el nitrógeno orgánico, con la diferencia de que no se elimina el amoníaco presente antes del proceso de digestión. Por lo tanto, el nitrógeno Kjeldahl total incluye ambas formas de nitrógeno, el orgánico y el amoniacal (Metcalf & Eddy, 1998).

El nitrógeno amoniacal se encuentra en solución acuosa, bien en forma de ion amonio o como amoníaco, en función del pH de la solución, de acuerdo a la siguiente reacción de equilibrio:



A niveles de pH superiores a 7, el equilibrio se desplaza hacia la izquierda, mientras que el ion amonio es predominante a valores de pH menores que 7.

El nitrógeno del nitrito ( $NO_2^-$ ), cuya determinación se realiza colorimétricamente, es relativamente inestable y fácilmente oxidable a la forma de nitrato. Es un indicador de la contaminación anterior al proceso de estabilización y raramente excede la cantidad de 1 mg/l en el agua residual. A pesar que su concentración suele darse en concentraciones pequeñas, los nitritos tienen gran importancia en el estudio de aguas residuales y contaminación de aguas, dada su gran toxicidad para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas.

El nitrógeno del nitrato ( $NO_3^-$ ) es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en las aguas residuales. El proceso de conversión del nitrógeno amoniacal a nitrito y posteriormente a nitrato se denomina nitrificación, y el cambio de nitrato a nitrógeno en forma de gas es el proceso de desnitrificación. El conocimiento de estos procesos es importante en la eliminación biológica de nitrógeno en procesos de aguas residuales.

**Fosfatos:** el fósforo es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas y animales. Actualmente se considera como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de las algas, un exceso de fosforo produce un crecimiento rápido de estas, generando problemas de eutrofización en cuerpos de agua.

El fósforo en aguas existe de varias formas, las cuales se han calificado de distintas maneras, de acuerdo a los métodos de determinación, las formas de importancia del fosforo en el agua son: (1) Ortofosfatos, (2) Polifosfatos: pirofosfatos, tripolifosfatos y metafosfatos y (3) Fosfatos orgánicos. El fosforo como fosfato es un nutriente de los microorganismos en el tratamiento biológico de aguas residuales.

**Alcalinidad:** la alcalinidad de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrogeno, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas ( $\text{OH}^-$ ). La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de la corrosión y evaluación de la capacidad tampón (Romero, 2009).

Las aguas residuales domesticas son generalmente alcalinas, concentración de 50 a 200 mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  son comunes. La alcalinidad puede generarse por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o de amonio. En el proceso de nitrificación se necesita suficiente alcalinidad para reaccionar con la acidez producida en la reacción (Romero, 2004).

**Aceites y grasas:** se entiende por aceites y grasas al conjunto de sustancias pobremente solubles que se separan de la porción acuosa y flotan formando natas, películas y capas iridiscentes sobre el agua. En aguas residuales los aceites, las grasas y ceras son los principales lípidos de importancia. El parámetro grasas y aceites incluyen los ésteres de ácidos grasos de cadena larga, compuestos con cadenas largas de hidrocarburos entre otros.

## **b) Parámetros biológicos**

**Coliformes:** los organismos patógenos que pueden existir en las aguas residuales son generalmente difíciles de aislar e identificar. Por esta razón se prefiere utilizar a los coliformes como organismo indicador de contaminación fecal.

Se define como un grupo de bacterias en forma de bacilo, pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae, Gram negativas, aerobias y anaerobias facultativas, que no forman esporas, con capacidad de fermentar la lactosa y otros azúcares con producción de ácido y de gas a una temperatura entre 35 y 37°C durante un lapso de 24 a 48 horas, (Gonzales, 2012).

Entre las principales características de este grupo esta su resistencia a condiciones ambientales adversas, la cual es igual o superior a la de los patógenos, además se comportan de manera similar a éstos. Se encuentran también en el intestino de animales de sangre caliente. Adicionalmente los Coliformes se pueden encontrar en el suelo, viviendo como saprofitos independientes.

Existen algunos grupos de coliformes que pueden crecer en el suelo, por lo que implica que la presencia de todos los grupos de coliformes (coliformes totales) no representa necesariamente la contaminación fecal.

Los Coliformes totales son pocos prácticos como indicadores de contaminación fecal, por lo que su uso se ha limitado a evaluar calidad de agua de consumo humano. Es útil su determinación en cuanto informa o advierte de la existencia de contaminación, pero sin identificar su origen.

Los Coliformes fecales o termotolerantes tienen una característica adicional, que es su capacidad de producir gas o formar colonias a una temperatura de incubación de 44.5 +/- 0.2°C. Estos se pueden reproducir fuera del intestino (en las redes de distribución), formando biopelículas, o en cuerpos de agua donde hay condiciones favorables de pH, contenido de materia orgánica y humedad. Este grupo es el indicador por excelencia, debido a que refleja con mayor exactitud la contaminación de tal tipo en un cuerpo de agua.

**Helmintos:** la alta persistencia en el ambiente, bajas dosis infectivas, dificultad de determinación en laboratorio y su gran impacto en salud han hecho que los huevos de helmintos requieran indicadores de su presencia en el agua (González, 2012).

*Ascaris Lumbricoides* es muy usado como indicador debido a su persistencia en el ambiente por largos periodos de tiempo sin multiplicarse, identificación sencilla y alto riesgo de transmisión debido a la gran cantidad de huevos que se pueden encontrar en las aguas residuales.

**Protozoos:** los protozoarios o protozoos son microorganismos eucariotas cuya estructura está formada por una célula abierta. La mayoría de los protozoos son aerobios o facultativamente quimioheterótrofos anaerobios, aunque se conocen algunos anaerobios. Los protozoos de importancia en saneamiento son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos. Los protozoos se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos. Entre los patógenos humanos son de interés la *Entamoeba histolytica*, que ocasiona la disentería amibiana, la *Giardia lamblia*, que causa giardiasis, y *Cryptosporidium* que produce criptosporidiosis.

### **2.1.3. AGUAS RESIDUALES BAJO EL ENFOQUE DEL SANEAMIENTO ECOLÓGICO**

El saneamiento ecológico (en adelante, ecosan) es un enfoque alternativo para el saneamiento y gestión del agua. Se basa en una concepción cíclica integral de todos los flujos de materiales nutritivos locales e introduce el concepto de sostenibilidad en el saneamiento. En este nuevo enfoque la excreta humana y las aguas residuales domésticas no son consideradas como desechos o desperdicios sino como un recurso que puede ser reciclado y reutilizado en la agricultura (GTZ, 2003).

El principio de ecosan se basa es un sistema cíclico cerrado entre el saneamiento y la agricultura. Según Calizaya (2006), el concepto ecosan se basa en los siguientes principios fundamentales:

- Protección de la salud y prevención de enfermedades.
- Recuperación y reciclaje de nutrientes contenidos en las excretas humanas.

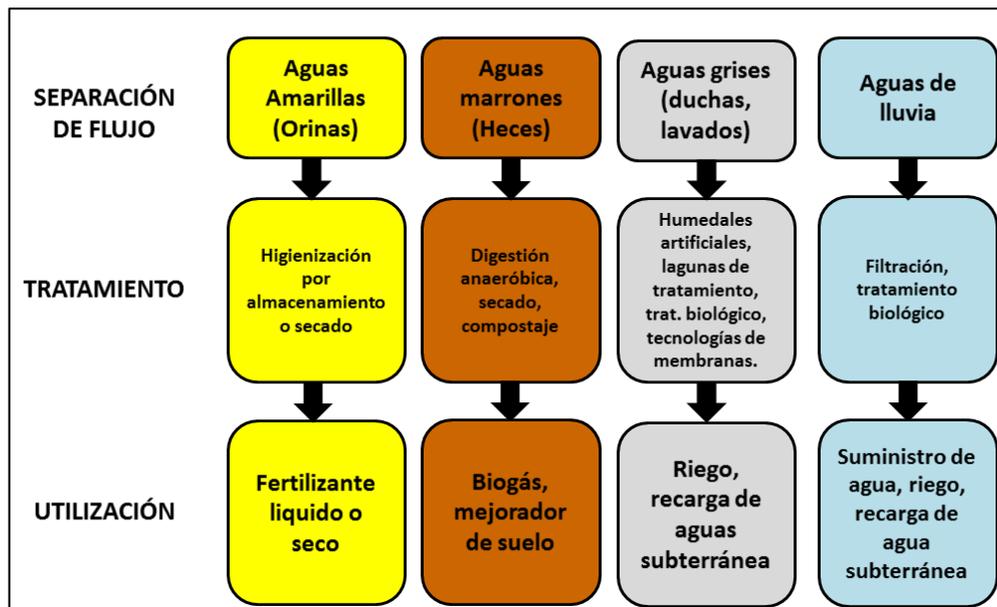
- Conservación de recursos naturales y protección del medio ambiente.

Cerrar el ciclo significa, recuperar los nutrientes, el material orgánico, los oligoelementos y la energía contenida en la excreta humana, aguas residuales domésticas y basura orgánica, para su posterior reutilización en la agricultura. Para no poner en riesgo ni comprometer la salud, se debe garantizar un apropiado tratamiento y manipulación del material.

Schlick y Werner (2002), mencionan la importancia de la separación de los residuos generados en el saneamiento convencional, debido a que el tratamiento individual es más económico; esto se explica porque en el tratamiento convencional todos los residuos heces, orinas, aguas usadas son mezcladas formando aguas negras cuyo tratamiento es complicado principalmente por el contenido de patógenos.

En la Figura 1, se muestra un esquema de separación de flujos de los residuos. Se aprecia de la figura que hay una separación de las orinas y las heces, para poder conseguirlo se usan inodoros especiales son separación de orinas, este aparato se aplica en comunidades que social y culturalmente puedan aceptarlos, caso contrario se generarían aguas negras (orinas y heces con agua) provenientes únicamente de los inodoros.

Independiente de la separación de orinas y heces o la generación de aguas negras, el ecosan recomienda no mezclar las aguas grises que son las provenientes de duchas, lavado, cocina y otras actividades domésticas que no incluyen el inodoro. Así también, en zonas con condiciones climáticas de lluvia puede captarse, almacenarse y tratarse el agua de lluvia para su reuso en recarga de tanques de inodoro, riego, etc.



**Figura 1: Separación de flujos en el saneamiento ecológico**

FUENTE: Schlick et al. (2002)

## 2.2. AGUAS GRISES

### 2.2.1. DEFINICIÓN Y CONSIDERACIONES GENERALES

Según Ridderstolpe (2004), todas las aguas producidas en la vivienda excepto las generadas en los inodoros (aguas con contenido de materia fecal y orinas) son llamadas aguas grises. Las aguas grises generadas por lavar platos, duchas, cocinar y lavar ropa comprende la mayor parte de las aguas residuales domésticas.

A diferencia de las aguas negras o aguas residuales domésticas, las aguas grises presentan menor contaminación por patógenos debido a que no están expuestas a la materia fecal. Sin embargo no están exentas de ellos, pues existe el riesgo de su introducción en el lavado de ropa y duchas (Miglio y Spittler, 2009).

En las zonas rurales el manejo de las aguas grises rara vez es un gran problema. los volúmenes de aguas grises son pequeños y su contenido de sustancias peligrosas para el medioambiente o infecciosas es baja. Las aguas grises se puede infiltrar en el suelo o reutilizado, por ejemplo, en el riego de árboles frutales (Ridderstolpe, 2004).

En las zonas urbanas la situación es diferente. El consumo de agua y el uso de productos químicos domésticos normalmente comenzarán a aumentar. Más personas y viviendas por superficie limitan el espacio para el cuidado de las aguas grises y con ello aumentan el riesgo de problemas del medio ambiente y el contacto humano con las condiciones del agua no saludables. Así, en la ciudad, es necesario el diseño y mantenimiento de sistemas técnicos para la recogida, el tratamiento y descarga de aguas grises cuidado (Ridderstolpe, 2004).

### **2.2.2. CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN TÍPICA DE LAS AGUAS GRISES**

Según Miglio (2012), sus características en términos de cantidad y composición varían de acuerdo a factores como la localización, nivel de ocupación de la vivienda, estilo de vida, calidad del agua de abastecimiento o tipo de red de distribución. Asimismo, a continuación se describen las principales características:

- Su composición varía enormemente y depende del estilo de vida y del uso de productos químicos en lavanderías y lavaderos.
- Generalmente contiene altas concentraciones de materia orgánica fácilmente degradable, grasas, aceites y otras sustancias provenientes de la cocina, residuos de jabón y compuestos tensoactivos provenientes de los detergentes.
- Por ejemplo la demanda bioquímica de oxígeno en aguas grises es entre 60 al 70 por ciento de las aguas residuales comunes.
- Presentan turbidez y sólidos suspendidos (residuos de alimentos, cabellos, fibras).
- Los nutrientes son relativamente bajos en aguas grises comparativamente con aguas residuales (5 al 10% del nitrógeno y 5 al 50% de fosforo). La fuente principal de nitrógeno son los alimentos procesados en la cocina; la fuente principal de fosforo son los detergentes y jabones (fosfatos para suavizar el agua).

- La elevada concentración de sulfatos presente en jabones y detergentes, sumado a la descomposición de materia orgánica puede generar presencia de olores sobre todo en condiciones anaerobias. El principal factor responsable de los olores desagradables, es la producción de gas sulfhídrico ( $H_2S$ ).
- El contenido de metales pesados aguas grises es generalmente bajo; pueden presentarse a partir de la corrosión de tuberías, tintes, químicos domésticos.
- Los contaminantes orgánicos aportados al agua residual generalmente provienen de las aguas grises, y se encuentran en el shampoo, perfumes, conservadores, tintes, limpiadores, ceras, entre otros.
- El pH del agua gris depende principalmente del pH del agua de abastecimiento; pero algunos productos químicos utilizados pueden hacerlo variar.
- La concentración de patógenos es generalmente baja debido a que el agua gris no posee contribución de efluentes del inodoro, aun así muchas autoridades públicas las catalogan como un riesgo para la salud. Una explicación de esto es que pueden existir un gran número de bacterias indicadoras de contaminación fecal en el agua gris debido a que el crecimiento de bacterias entéricas se ve favorecido por la disponibilidad de compuestos orgánicos fácilmente degradables en dicha agua. Por lo tanto, la medición con coliformes tiende a sobreestimar la carga fecal y el riesgo potencial de las aguas grises.
- Aportes de patógenos a las aguas grises pueden provenir de la limpieza de manos después del uso del inodoro, lavado de ropa contaminada con materia fecal, o el agua de ducha.

En la Tabla 2 se muestran valores típicos de la composición del agua gris, mencionados por diversos autores

**Tabla 2: Composición típica del agua gris**

<b>Parámetro</b>	<b>Valores típicos</b>	<b>Fuente</b>
Temperatura	18 – 38 °C	Eriksson et. al., 2001.
Conductividad eléctrica	312 – 1280 $\mu$ S/cm	Eriksson et. al., 2001.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	50 – 370 mg/l	Gulyas, 2007.
	76 – 300 mg/l (baño)	Ericksson et. al., 2006.
	48 a 472 mg/l (lavandería)	
	5 - 1460 mg/l (cocina)	
Demanda química de oxígeno (DQO)	90 – 700 mg/l	Gulyas, 2007.
	184 a 633 mg/l (baño)	Ericksson et. al., 2006.
	725 a 1815 mg/l (lavandería)	
	26 a 1380 mg/l (cocina)	
Sólidos suspendidos totales	113 a 2410 mg/l.	Eriksson et. al., 2001.
Fosforo total	4.6 a 11 mg/l	Palmquist y Hanaeus, 2005
Nitrógeno total	0.64 a 74 mg/l	Ericksson et. al., 2006.
Coliformes totales	1.7 - 8.8 log/100 ml	Rose et al., 1991; Dixon et al., 1999; Gerba et al., 1995
Coliformes fecales	5.8 log/100 ml	Otosson, 2003.
E. coli	5.4 log/100 ml	
Enterococcus	4.6 log/100 ml	

FUENTE: varios autores.

### **2.2.1. ASPECTOS GENERALES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES**

La diferencia más significativa entre aguas grises y aguas negras es la diferente velocidad de degradación de las sustancias contaminantes. Las aguas negras contienen sustancias orgánicas que han tenido un proceso de degradación en el tramo gastro-intestinal humano. Por eso es fácilmente comprensible que los residuos de este proceso no sean rápidamente degradables una vez puestos en agua, ambiente inapropiado a la población bacteriana contenida en los residuos (IRIDRA, 2016).

Según IRIDRA (2016), en cinco días de proceso biológico degradativo de la sustancia orgánica, solo el 40% de ésta se mineraliza totalmente, mientras en el caso de las aguas grises en el mismo periodo se alcanza una degradación del 90%. Esta rápida degradación de la sustancia orgánica presente en las aguas grises puede ser explicada por la abundante presencia de azúcares, proteínas y grasas, fácilmente disponibles en la flora bacteriana, característica de este tipo de aguas residuales.

De lo mencionado anteriormente, se entiende que las aguas residuales domésticas o las aguas negras requieren de procesos de digestión como los tanques sépticos, tanques imhoff, lodos activados, lagunas facultativas entre otros. A diferencia de las aguas grises que requieren principalmente de un proceso de sedimentación y seguidamente de una filtración. En ambos casos se recomienda tratamientos preliminares como rejillas y trampa de grasas; Asimismo, puede aplicarse tratamientos avanzados o desinfección en caso se requiera de acuerdo al reuso o disposición final destinada.

Según IRIDRA (2016), el agua gris depurada alcanza fácilmente niveles de calidad y puede utilizarse para el desagüe de los aseos o para otros usos (lavado de plazas, patios, riego, etc.). También las aguas negras, separadas de las grises, son tratadas con mayor eficacia y menor coste y pueden utilizarse para el riego de jardines o zonas agrícolas. Asimismo, las aguas grises o jabonosas constituyen casi el 70 % de los gastos domésticos y se depuran más fácilmente que las aguas negras.

Sin embargo, es importante mencionar que hay diferencias en el contenido de materia orgánica en el agua gris provenientes de distintas fuentes, como regla general las aguas grises generadas en las cocinas presentan mayor contenido de materia orgánica lo cual

puede implicar que requiera de procesos de digestión similares a las aguas residuales domésticas; por ende, siempre debe caracterizarse el agua a tratar y establecer el reuso para determinar las unidades de tratamiento requeridas.

## **2.3. HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

### **2.3.1. DEFINICIÓN**

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento formados por un complejo ecosistema de sustrato, vegetación y microorganismos, cuyo objetivo es la remoción de los contaminantes presentes en el agua residual.

La tecnología de los humedales artificiales fue inicialmente desarrollada para tratar las aguas residuales en comunidades rurales de Europa y Estados Unidos, posteriormente se usó como un tratamiento secundario para remover la carga orgánica y los sólidos suspendidos y como tratamiento avanzado para remover nitrógeno, metales pesados, patógenos y otras sustancias.

En la actualidad surgen múltiples denominaciones para estos sistemas dentro de las que podemos mencionar: pantanos artificiales, humedales artificiales, wetland, lecho de macrófitas, fitotratamiento, tratamiento pasivo (este sistema está orientado al tratamiento de aguas de drenaje ácido de mina), Miglio (2003).

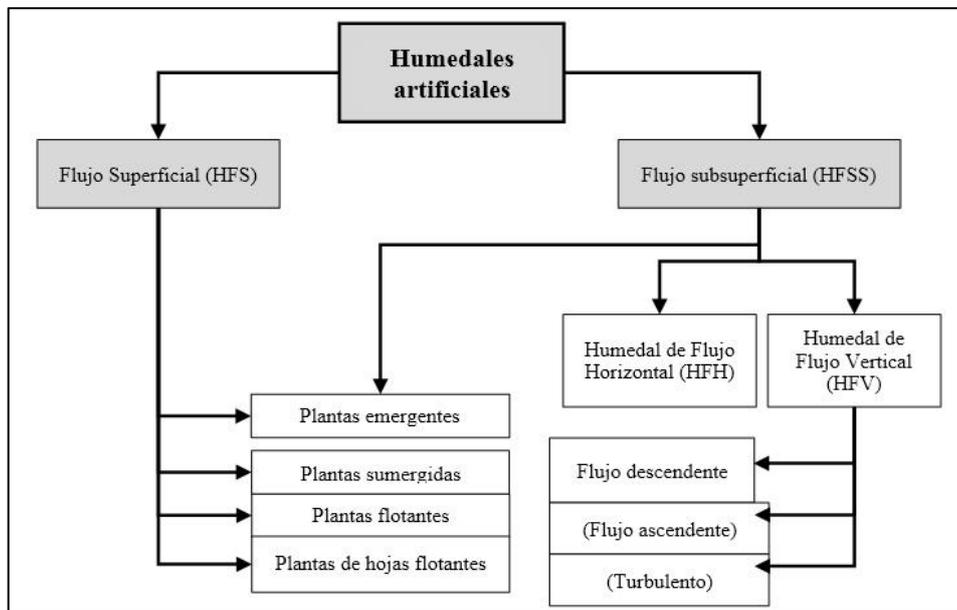
### **2.3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES**

Los humedales artificiales pueden ser clasificados (ver Figura 2) de manera general en función al uso de un sustrato para la vegetación, cuando utilizan un sustrato se denominan Humedales de flujo subsuperficial (HFSS) y cuando no utilizan un sustrato y tienen forma de laguna son humedales de flujo superficial (HFS).

Los HFS se clasifican según las macrófitas usadas y se clasifican en humedales artificiales con plantas emergentes, sumergidas, flotantes y de hojas flotantes. Los HFSS se clasifican

según la circulación del agua, están los HFSS de flujo vertical ascendente o descendente y los HFSS de flujo horizontal. Todos estos humedales usan macrófitas emergentes.

Los humedales artificiales siempre utilizan plantas macrófitas, que son plantas acuáticas que crecen en o cerca al agua. Los diferentes tipos de humedales artificiales pueden ser combinados entre sí (los llamados sistemas híbridos) con el fin de explotar las ventajas específicas de cada sistema.



**Figura 2: Clasificación de los humedales artificiales**

FUENTE: Hoffmann et al (2011).

A continuación se describen propiedades y procesos que se dan en los humedales, principalmente en los humedales artificiales de flujo subsuperficial, que son a los que se enfoca la presente investigación.

### **2.3.3. COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE HUMEDALES ARTIFICIALES**

Adicional a la obra civil e instalaciones, los sistemas de humedales artificiales tienen componentes principales que determinan la eficiencia del sistema:

### a) Sustrato

El sustrato cumple la función de un medio de soporte para las plantas y microorganismos que degradan la materia orgánica, y también es responsable directo de la remoción de algunos contaminantes ya que influye en procesos de filtración y adsorción de estos. Mayormente el sustrato está constituido por arena y/o grava.

El sustrato debe de tener ciertas características, a nivel hidráulico debe ser tener un tamaño de partícula que permita que el líquido fluya a través de sus poros sin ser obstruidos y no ser muy grande para tener un proceso de filtración óptimo, estas características se cumplen en función a propiedades físicas del sustrato como la conductividad hidráulica, porosidad, coeficiente de uniformidad, curva granulométrica, diámetro efectivo.

Además también deben de cumplirse algunas propiedades químicas del sustrato que permitan la adsorción de ciertos contaminantes.

En la Tabla 3 se muestran características promedio de los sustratos para HFSS, sin embargo es preferible realizar las mediciones del sustrato a usar.

**Tabla 3: Características promedio de los sustratos**

<b>Tipo de sustrato</b>	<b>Diámetro efectivo D<sub>10</sub> (mm)</b>	<b>Porosidad n (%)</b>	<b>Conductividad Hidráulica K<sub>s</sub> (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.día)</b>
Arena gruesa o graduada	2	32	1000
Arena gravosa	8	35	5000
Grava fina	16	38	7500
Grava media	32	40	10000
Piedra gruesa	128	45	100000

FUENTE: UTEP&EPA (1993).

El tipo de sustrato durante el diseño de HFSS es importante para determinación de las dimensiones del humedal, sobre todo para los de flujo vertical, ya que si se cuenta con un material con bajos niveles de conductividad hidráulica se va a requerir de una mayor área y viceversa.

## **b) Microorganismos**

En los humedales se desarrollan una gran variedad de microorganismos como bacterias, protozoos, hasta pequeños animales, siendo las bacterias, el grupo fundamental en el proceso depurador de las aguas residuales (Miglio, 2003).

Las bacterias aerobias y anaerobias de los humedales son esenciales para la remoción y están fuertemente ligadas al desarrollo de las plantas acuáticas usadas para el tratamiento y al sustrato utilizado en el lecho del pantano, quien le proveen del medio para su desarrollar su hábitat.

Los microorganismos forman biopelículas sobre las partículas del sustrato y la zona radicular de las plantas, esta biopelícula es la encargada de realizar la degradación de materia orgánica y otros contaminantes, permitiendo depurar el agua residual. La formación de la biopelícula depende de los microorganismos que se encuentran en la fuente de agua residual y de condiciones como la disponibilidad de oxígeno y temperatura (Hoffmann et al, 2011).

## **c) Vegetación (Planta acuáticas)**

De la variedad de tipos de plantas acuáticas las más usadas en humedales artificiales subsuperficiales son las macrófitas, que son plantas que crecen en condiciones saturadas con agua.

En los humedales de flujo subsuperficial las plantas juegan un papel importante en el proceso de tratamiento. Proporcionan un ambiente apropiado para el crecimiento microbiano y mejoran significativamente la transferencia de oxígeno a la zona de raíces, que es parte del lecho filtrante. Por otra parte, en las zonas de clima frío el material vegetal muerto proporciona una capa aislante, que en invierno tiene un efecto positivo para el funcionamiento del humedal (Hoffmann et al, 2011).

En resumen, los efectos de las plantas que contribuyen al proceso de tratamiento en los sistemas de flujo subsuperficial son:

- El sistema de raíces mantiene la conductividad hidráulica del sustrato de arena gruesa en la capa superior.
- Las plantas facilitan el crecimiento de las colonias de bacterias y otros microorganismos que forman un biofilm adherido a la superficie de las raíces y a las partículas del sustrato.
- Las plantas naturales de humedales tienen la capacidad de transportar oxígeno a la zona de raíces lo que permite que estas plantas sobrevivan en condiciones de inundadas. Parte de este oxígeno está disponible para los procesos microbianos, aunque la contribución exacta sigue siendo un punto de discusión

Para un humedal de flujo horizontal una distribución uniforme de las raíces en todo el lecho filtrante es importante, mientras que para un humedal de flujo vertical la distribución uniforme de las raíces sólo es esencial en la capa superior es decir los primeros 10 cm (Hoffmann et al, 2011).

Además son estéticamente agradables y añaden verdor a la zona edificada, sirven de hábitat para los animales como pájaros y ranas, y actúan localmente como "espacio verde".

Para la selección de plantas que se utilizarán en humedales artificiales pueden hacerse las siguientes recomendaciones, según Hoffmann et al, 2011:

- Usar especies locales, autóctonas y no importaciones exóticas o especies invasoras.
- Usar especies de plantas que crecen naturalmente en los humedales o riberas de los ríos debido a que sus raíces ya están adaptadas a crecer en condiciones de agua saturada.
- Son preferibles las plantas con raíces extensas y sistema de rizomas subterráneos.

- Las plantas deben ser capaces de soportar altas cargas, así como cortos periodos de sequía. Las plantas no requieren de inundaciones permanentes, pero deben ser capaces de afrontar temporadas de inundación y encharcamiento del suelo.

Algunas plantas muy comunes en los humedales artificiales son Carrizo (*Phragmites australis*), el papiro en sus especies de Papiro paraguíta (*Cyperus alternifolius*), Papiro enano (*Cyperus haspensis*), Papiro Egipto (*Cyperus papyrus*), vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) entre otras.

#### **2.3.4. PROCESOS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL**

El proceso de tratamiento en el lecho de los humedales es el resultado de complejas interacciones entre todos estos componentes. Debido a esto, los humedales artificiales tienen diferentes espacios con condiciones de oxígeno que desencadenan los diversos procesos de oxidación y reducción de los contaminantes biodegradables.

Miglio (2003) describe los procesos que ocurren, así se tiene:

- Filtración: proceso de obstrucción y retención de sólidos contenido en un líquido al pasar este mediante un medio poroso.
- Sedimentación: proceso mediante el cual las partículas en suspensión son separadas de un fluido por efecto gravitacional, siempre que tengan mayor peso específico que el fluido.
- Adsorción: es un proceso que depende de las propiedades de ciertos materiales en fijar en su superficie moléculas.
- Degradación: es el proceso de descomposición y asimilación de materia orgánica por parte de los microorganismos y puede ser con ausencia o presencia de oxígeno.

Hoffmann et. al. (2011) muestra en la Tabla 4 los principales contaminantes y los procesos mediante los cuales son depurados en los humedales de flujo subsuperficial.

**Tabla 4: Procesos de remoción de contaminantes en humedales**

Contaminante	Proceso
Materia orgánica (medida como DBO <sub>5</sub> o DQO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las partículas de materia orgánica son eliminadas por la sedimentación y filtración, luego convertidas a DBO<sub>5</sub> soluble.</li> <li>• La materia orgánica soluble es fijada y adsorbida por la biopelícula y degradadas por las bacterias adheridas en este.</li> </ul>
Sólidos suspendidos totales (SST)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentación y filtración.</li> <li>• Descomposición durante los largos tiempos de retención por bacterias especializadas en el lecho de arena.</li> </ul>
Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrificación / Desnitrificación por la biopelícula.</li> <li>• Absorción de las plantas (influencia limitada).</li> </ul>
Fosforo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retención en el lecho de arena (adsorción).</li> <li>• Precipitación con aluminio, hierro y calcio.</li> <li>• Absorción de las plantas (influencia limitada).</li> </ul>
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentación y filtración.</li> <li>• Absorción por la biopelícula.</li> <li>• Depredación por protozoarios.</li> <li>• Eliminación de bacterias por condiciones ambientales desfavorables (temperatura y pH).</li> </ul>
Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación y adsorción.</li> <li>• Absorción de las plantas (influencia limitada).</li> </ul>
Contaminantes orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adsorción por la biopelícula y partículas de arena.</li> <li>• Descomposición debido a lo largo del tiempo de retención y a las bacterias especializadas del suelo (no calculable).</li> </ul>

FUENTE: Hoffmann et al (2011).

### 2.3.5. DISEÑO DE HUMEDALES SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL

Según Miglio (2003), los criterios que se utilizan para el diseño de humedales son de tipo biológico e hidráulico; los criterios de tipo biológico permiten encontrar el área total de tratamiento, mientras que los hidráulicos definen el largo, el ancho y a pendiente, aplicando la ley de Darcy. En general se supone que los pantanos se comportan como reactores de cultivo fijo con flujo en pistón.

La norma austriaca B2550 (1997), establece que el sistema es aplicable para poblaciones hasta 500 habitantes, mientras que Rivas (1997) proponen para su uso poblaciones de hasta 5000 habitantes y caudales entre 3 a 6 litros por segundo.

#### Diseño hidráulico

Para el diseño de un humedal de flujo subsuperficial, es común utilizar la ley de Darcy, que describe el flujo en un medio poroso:

$$Q = K_S \times A_T \times S$$

Donde:

Q : Caudal promedio (m<sup>3</sup>/día)

K<sub>S</sub> : Conductividad hidráulica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. día)

A<sub>T</sub> : Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

S : Gradiente hidráulico (m/m)

Despejando la formula anterior, el área de la sección transversal del lecho del pantano, se puede calcular a partir de la formula.

$$A_T = \frac{Q}{K_S \times S} = H_F * a$$

Donde:

$A_T$ : Área de la sección transversal ( $m^2$ )

$Q$ : Caudal ( $m^3/día$ )

$K_S$ : Conductividad hidráulica ( $m^3/m^2 \cdot día$ )

$S$ : Gradiente hidráulico (m/m)

$H_F$  : Altura o profundidad del filtro del humedal

$a$  : Ancho del humedal

El tiempo de retención hidráulico se puede estimar en función al caudal de diseño y la geometría del sistema:

$$T_{RH} = \frac{l \times a \times H_F \times n}{Q}$$

Donde:

$T_{RH}$  : Tiempo de retención hidráulico

$l$  : Longitud del humedal

$a$  : Ancho del humedal

$H_F$  : Altura o profundidad del filtro del humedal

$n$  : Porosidad del filtro

$Q$  : Caudal

### **Diseño biológico**

Para la remoción de carga orgánica, UTEP (1993) aplica modelos cinéticos de primer orden como:

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{(-K_T \times T_{RH})}$$

Donde:

$C_e$  : Valor de la DBO<sub>5</sub> en el efluente (mg/l)

$C_o$  : Valor de la DBO<sub>5</sub> en el afluente (mg/l)

$K_T$  : Constante de remoción de carga orgánica dependiente de la temperatura (días<sup>-1</sup>)

$T_{RH}$  : Tiempo de retención hidráulico (días)

UTEP (1993) define el valor de la constante  $K_T$  como sigue:

$$K_T = K_{20}(1.06)^{(T-20)}$$

$$K_T = K_{20}(1.1)^{(T-20)}$$

Donde:

$K_{20}$  : Constante a la temperatura de 20°C

$T$  : Temperatura del agua (°C)

Miglio (2003) menciona que según UTEP (1993) y Reed (1995) el valor de  $K_{20}$  es igual a 1.104 días<sup>-1</sup> y está asociado a cargas orgánicas cercanas a 110 kg DBO/ha.día; para cargas más altas, cercanas a 143 kg/ha.día, el valor de  $K_{20}$  se incrementa a 1.1385 días<sup>-1</sup>.

Despejando la fórmula de remoción de carga orgánica se obtiene:

$$T_{RH} = \frac{-\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{K_T}$$

Donde:

$T_{RH}$  : Tiempo de retención hidráulico (días)

$C_e$  : Valor de la DBO<sub>5</sub> en el efluente (mg/l)

$C_o$  : Valor de la DBO<sub>5</sub> en el afluente (mg/l)

$K_T$  : Constante de remoción de carga orgánica dependiente de la temperatura (días<sup>-1</sup>)

### **2.3.6. SISTEMAS DE TRATAMIENTO CON USO DE HUMEDALES ARTIFICIALES**

Los humedales artificiales son tecnologías de tratamiento de aguas residuales a nivel secundario, se consideran tratamientos biológicos del tipo extensivo, es decir imitan condiciones de procesos naturales de depuración.

Los humedales de flujo subsuperficial requieren de ciertas exigencias para el agua de ingreso, estas radican principalmente en la calidad del agua y específicamente en la cantidad de sólidos contenidos en el agua.

Además, requieren de tratamientos preliminares y primarios. Los tratamientos preliminares o pretratamiento consiste en la remoción de sólidos grandes, como restos de basura son removidas con el uso de cámara de rejillas o tamices; además de aceites y grasas que son removidas con el uso de trampas de grasa. Posterior al pretratamiento que solo acondiciona al agua para su tratamiento, se da el tratamiento a nivel primario, este nivel de tratamiento se basa en procesos físicos como la sedimentación, filtración o coagulación, entre otros para la eliminación de los sólidos principalmente los sólidos suspendidos, y una degradación mínima de materia orgánica.

Si el agua residual doméstica sin ningún de tratamiento ingresaría a un sistema de humedales generaría problemas en la operación del sistema y por ende en su eficiencia y vida útil; esto se debe a que los humedales de flujo subsuperficial utilizan sustratos que funcionan como filtros biológicos, mayormente arena o grava pequeña y los poros serían obstruidos por los sólidos contenidos en el agua residual doméstica cruda, por lo cual se requiere necesariamente un tratamiento previo. El proceso de obstrucción del filtro del humedal y afloramiento del agua en la superficie se denomina colmatación.

Según las experiencias en sistemas de humedales artificiales, los tratamientos primarios más usados son los tanques sépticos, sedimentadores, tanques Imhoff, tanques baffled (tanque séptico mejorado).

Estos tipos de unidades de tratamientos principalmente anaeróbicos tienen algunas características, que se describen a continuación, según Hoffmann et al, 2011:

- Alrededor del 60% de los sólidos suspendidos en el agua residual se eliminan en la fase del tratamiento primario. Como regla básica, el objetivo es tener menos de 100 mg/l de SST antes del ingreso al humedal de flujo subsuperficial.
- Por ser procesos anaerobios se genera biogás, el cual principalmente es quemado o liberado directamente al ambiente generando problemas ambientales, desafortunadamente la carga orgánica en las aguas residuales domésticas no son suficientemente altas como para tener un uso rentable del biogás. Dentro del biogás se encuentran gases que presentan mal olor, haciendo que estas plantas se ubiquen alejadas de viviendas y no se integren al paisaje.
- Los sólidos se eliminan por sedimentación, acumulándose en el fondo del tanque, y generan lodos que no son estabilizados y generan gastos económicos para su tratamiento y/o disposición final. Además estos lodos presentan una gran peligrosidad para las personas que lo manipulan.

Las características mencionadas anteriormente muchas veces no son consideradas en el ciclo un proyecto de tratamiento de aguas residuales domésticas, generando problemas a nivel técnico, ambiental y social. A continuación se procederán a describir las unidades con mayor uso para el tratamiento primario de aguas grises, previo al ingreso del humedal artificial.

**Trampa de grasa:** es una cámara pequeña de flotación en el cual la grasa flota a la superficie libre del agua y es retenida, mientras que el agua más clara subyacente es descargada. En un trampa de grasa no ha equipo mecánico y el diseño es similar a un tanque séptico. La entrada del agua residual se hace por debajo de la superficie del agua y la salida generalmente por el fondo; entre más grande sea el tanque más eficiente es el sistema, por ello el mejor trampa de grasas es el tanque séptico. Normalmente se diseña con tiempos de retención de 15 a 30 minutos (Romero, 2004).

El mantenimiento pobre es lo que hace que en la mayoría de los casos las trampas de grasas no funcionen adecuadamente, la falta de limpieza continua permite la acumulación excesiva de grasa en la trampa y su descarga con el efluente. Para un buen funcionamiento

de la trampa deben evitarse las cargas hidráulicas súbitas sobre ella ya que esto puede producir agitación excesiva del contenido de la trampa, impide la retención y flotación de la grasa y permite su escape por la unidad de salida (Romero, 2004).

**Sedimentador:** Dispositivo usado para separar, por gravedad, las partículas en suspensión en una masa de agua. La sedimentación es un proceso muy importante. Las partículas que se encuentran en el agua pueden ser perjudiciales en los sistemas o procesos de tratamiento ya que elevadas turbiedades inhiben los procesos biológicos y se depositan en el medio filtrante causando elevadas pérdidas de carga y deterioro de la calidad del agua efluente de los filtros (OPS-CEPIS, 2005).

El objetivo de la sedimentación es remover los residuos sólidos sedimentables y material flotante para disminuir la concentración de sólidos suspendidos. Los sedimentadores primarios empleados como pretratamiento del agua residual, remueven entre el 50% y el 70% de sólidos suspendidos y entre el 25% y 40% de la DBO<sub>5</sub> (UNAD, 2016).

## **2.5. CONSIDERACIONES PARA EL REÚSO DE AGUAS TRATADAS**

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2016) realizó un estudio diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento, dentro de la cual se realizó una evaluación de la normativa nacional e internacional respecto al reúso de las aguas residuales, las cuales se presentan a continuación.

Actualmente no existen límites máximos permisibles para el agua residual tratada que será reutilizada para el riego, ni para otros tipos de reúso.

En el artículo 150 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (ANA, 2010) se señala que para la evaluación de las solicitudes de autorización de reúso de efluentes tratados, se deben tomar en cuenta los valores que establezca el sector correspondiente a la actividad a la cual se destinará el reúso del agua o que en su defecto se utilicen las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En el mencionado reglamento se señala también que la Autoridad Nacional del Agua es responsable de autorizar el reúso de las aguas residuales tratadas y que la autoridad administrativa del agua correspondiente es la encargada del control y vigilancia del reúso de las aguas residuales tratadas. En el caso del reúso para riego de áreas verdes, se requiere la opinión técnica favorable de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), que dentro de sus funciones vigila los aspectos de salud pública en parques y áreas verdes de uso público.

Se advierte la necesidad de que el país cuente con una guía de buenas prácticas de riego y manejo adecuado de suelos con aguas residuales tratadas por parte de los agricultores. En relación con este tema, las guías de la OMS de 1989 y 2006 dan recomendaciones sobre las medidas de protección de la salud, sistemas de monitoreo, prevención de los riesgos ambientales y desarrollo de una política nacional para el manejo de los beneficios y riesgos del reúso de aguas residuales tratadas.

### 2.5.1. GUÍAS DE LA OMS PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES

Para la evaluación de solicitudes de autorización del reúso de efluentes tratados, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los valores de las guías de la OMS de 1989 o la versión actual del 2006. La versión de la guía del año 1989 define 3 categorías de acuerdo con el tipo de reúso, ver Tabla 5.

**Tabla 5: Calidad microbiológica del agua de reúso para riego**

Categoría	Condiciones de reúso	Grupo expuesto	Helmintos intestinales	Coliformes fecales	Tratamiento de aguas residuales
A	Riego de cultivos que se consumen crudos, campos deportivos y parques públicos	Trabajadores, consumidores, usuarios	$\leq 1$	$\leq 1000$	Lagunas de estabilización en serie diseñadas para lograr calidad microbiológica indicada o tratamiento similar
B	Riego de cereales, cultivos industriales, forrajes y árboles	Trabajadores	$\leq 1$	No hay un estándar de calidad recomendado	Retención en lagunas de estabilización entre 8 a 10 días o remoción equivalente de helmintos y coliformes fecales

Categoría	Condiciones de reúso	Grupo expuesto	Helmintos intestinales	Coliformes fecales	Tratamiento de aguas residuales
C	Riego de cultivos de la categoría B, si no hay exposición de trabajadores y del público	Ninguno	Sin aplicación	Sin aplicación	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 público donde puede existir contacto directo para el público se recomiendan valores más estrictos ( $\leq 200$  coliformes fecales/100 ml).
- 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 en riego aspersión.

FUENTE: OMS (1989).

Las guías de la OMS del 2006 no establecen valores fijos de la calidad del agua para su reúso en agricultura, sino establece una metodología para determinar estándares nacionales basados en el manejo de riesgos sanitarios que incluye el tratamiento de las aguas residuales y otras medidas de control, que permiten proteger a los que participan en la cadena de reúso: el consumidor de los productos, los agricultores y la población aledaña.

Para asegurar un riesgo permisible para la salud, el agua que se va a reutilizar debe:

- Cumplir un límite máximo de la presencia de huevos de helmintos y alcanzar determinado grado de remoción de organismos patógenos (ver Tabla 6) entre el riego y el contacto con la población.

**Tabla 6: consideraciones para el reúso de agua residual tratada en agricultura**

Escenario de exposición	Reducción necesaria de patógenos (unidades logarítmicas)	Helmintos (huevos por litro)
<b><u>Sin restricciones en el riego</u></b>		
Lechuga	6	$\leq 1$
Cebolla	7	$\leq 1$
<b><u>Riego restringido</u></b>		
Altamente mecanizado	3	$\leq 1$
Labor intensiva	4	$\leq 1$

Escenario de exposición	Reducción necesaria de patógenos (unidades logarítmicas)	Helmintos (huevos por litro)
<b>Riego localizado</b>		
Cultivo de tallo alto	2	Sin recomendación
Cultivo de tallo bajo	4	≤ 1

FUENTE: OMS (2006).

- El grado necesario de remoción de patógenos depende de los siguientes factores: (a) Tipo de cultivo, (b) Tecnología de riego aplicada, (c) Mortalidad de los patógenos entre el riego y el consumo (tratamiento del producto en el camino hasta el consumidor final), (d) Modo de preparación del producto, (e) Estrategias de control de los riesgos por exposición humana (limitar el acceso de las personas al contacto con el agua de reúso, campañas de vacunación de los trabajadores y sus familiares, educación sanitaria y control parasitario) y (f) Tecnología del tratamiento de las aguas residuales, ver Tabla 7.

**Tabla 7: Reducción de patógenos por medidas de control**

Medida de control	Reducción de patógenos (unidades logarítmicas)	Comentarios
Tratamiento de aguas residuales	1-6	La remoción de patógenos requerida en una planta de tratamiento de aguas residuales depende de la combinación de las medidas de protección a la salud
Irrigación localizada (Cultivos de tallo bajo)	2	Cultivos bajo suelo y cultivos como la lechuga que crecen arriba del suelo, pero en contacto con él.
Irrigación localizada (Cultivos de tallo alto)	4	Cultivos, tales como el tomate, las partes cosechadas no están en contacto con el suelo
Control de emisores de rocío/aspersores.	1	Uso de micro aspersores, aspersores controlados por anemómetros, aspersores de flujo hacia dentro.
Zona de amortiguamiento del rocío de los aspersores.	1	Protección de residentes cerca del área de influencia del rocío emanado por la aspersión. La zona de amortiguamiento debe ser de 50 a 100 m
Muerte natural de patógenos.	0.5-2 por día	Muerte natural en la superficie del cultivo que ocurre entre el último riego y el consumo. La reducción logarítmica depende del clima (temperatura, intensidad solar, tipo de cultivo, etc.)

Medida de control	Reducción de patógenos (unidades logarítmicas)	Comentarios
Lavado del producto.	1	Lavado con agua limpia de cultivos para ensalada, vegetales y frutas
Desinfección del producto.	2	Lavado con un desinfectante ligero y agua limpia de cultivos para ensalada, vegetales y frutas.
Remoción de la cascara.	2	Cultivos de frutas o de raíz
Cocida del alimento.	5-6	Se asegura la destrucción de patógenos por la inmersión del cultivo en agua hirviendo hasta que esté cocinado

FUENTE: OMS (2006).

### 2.5.1. ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA (ECA-AGUA)

Mediante decreto supremo 002-2008-MINAM se aprobaron los estándares nacionales de calidad ambiental para agua. Los cuales son aplicables para cuerpos naturales. En la Tabla 8, se muestran los parámetros de los ECA-Agua que han sido considerados en la presente investigación.

**Tabla 8: Estándares de calidad ambiental - Agua categoría 3**

Parámetros	Unidad	ECA – Categoría 3 (Riego de vegetales)	
		Vegetales de tallo bajo	Vegetales de tallo alto
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	2000
Coliformes totales	NMP/100 ml	5000	5000
Huevos de helmintos	Huevos/litro	< 1	< 1
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	15	15
Demanda química de oxígeno	mg/l	40	40
pH	Unidades de pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
Aceites y grasas	mg/l	1	1
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/l	10	10
Conductividad eléctrica	µS/cm	< 2000	< 2000

FUENTE: MINAM (2008).

**Vegetales de tallo alto:** son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo, las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo; forestales, árboles frutales, etcétera (MINAM, 2008).

**Vegetales de tallo bajo:** son plantas cultivables o no, frecuentemente porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: hortalizas y verdura de tallo corto como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y alverja, etcétera (MINAM, 2008)

## **2.6. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO CON HUMEDAL ARTIFICIAL**

### **2.6.1. ASPECTOS GENERALES**

El sistema de tratamiento está ubicado en la asociación de vivienda Señor de la Justicia perteneciente al Asentamiento Humano Valle Amauta del distrito de Ate Vitarte de la provincia y departamento de Lima; fue construido en agosto del 2012 e inició su operación en octubre del mismo año (ver Anexo 1.1 – 1.4).

La ubicación geográfica del sistema presenta las siguientes coordenadas UTM, Este: 292808, Norte: 8668074, 18L para el Datum WGS84. Además, se ubica en una ladera del cerro, ver Figura 3.



**Figura 3: Ubicación del sistema de tratamiento**

FUENTE: Google Earth (2016).

El proyecto se denominó “Planta piloto para el tratamiento de aguas grises de la asociación de vivienda señor de la justicia, distrito ate vitarte, provincia de Lima, dpto. Lima”. Fue financiado por instituciones privadas y ejecutado por la organización no gubernamental (ONG) Servicios Educativos el Agustino (SEA); asimismo, se realizó un convenio con la municipalidad de Ate Vitarte para apoyo en la operación y mantenimiento del sistema.

El sistema completo consiste en lavaderos multiusos instalados en 15 viviendas, un sistema de tuberías de recolección y distribución de las aguas grises, la planta de tratamiento de las aguas grises y finalmente un sistema de riego por goteo.

### **2.6.2. DISEÑO DEL SISTEMA**

Según el expediente técnico de la ONG SEA (2012), en base al trabajo de campo se determinaron los parámetros de diseño que se presentan en la Tabla 9.

**Tabla 9: Parámetros generales de diseño**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Densidad poblacional	6	Habitantes/vivienda
N° de viviendas	15	Viviendas
Población	90	Habitantes
Caudal promedio	0.51	m <sup>3</sup> /día

FUENTE: ONG SEA (2012).

#### **a) Estimación del caudal promedio de diseño**

La estimación del caudal de aporte de aguas grises al sistema fue estimado por ONG SEA (2012) de la siguiente manera:

- En base a la información de una familia de 10 habitantes donde su consumo de agua fue de 6 m<sup>3</sup> por mes, se estimó que el consumo para una familia de 6 habitantes sería 3.6 m<sup>3</sup> por mes o un equivalente de 0.9 m<sup>3</sup> por semana.
- De acuerdo a la Norma IS.010 (2006) del Reglamento Nacional de Edificaciones; las unidades de gasto (UH) para los aparatos sanitarios más comunes en las viviendas de la zona de estudio son: Inodoro = 3 UH, Lavatorio = 1 UH, Ducha = 2 UH, Lavadero = 3 UH. Por lo cual, se tiene en total de 9 UH, observándose que el gasto en el lavadero es la tercera parte del gasto total, si todos los aparatos funcionan simultáneamente.
- Considerando lo anterior, obtenemos que el consumo de agua en el lavadero es de 0.90 m<sup>3</sup>/familia.semana x 1/3 = 0.30 m<sup>3</sup>/familia.semana. Este valor es el consumo de agua en el lavadero.
- Considerando también que la contribución al desagüe es del 80 por ciento, se tiene 0.30 m<sup>3</sup>/familia.semana x 80% = 0.24 m<sup>3</sup>/familia.semana. Esto significa que la contribución de aguas grises a la planta piloto es de 240 l/familia.semana o 34,28 l/familia.día; y un total de 15 familias. Finalmente el caudal promedio de

diseño sería  $34.28 \text{ l/familia.día} \times 15 \text{ familias} = 514 \text{ litros}$  o su equivalente de  **$0.51 \text{ m}^3/\text{día}$** .

#### **b) Diseño de trampa de grasa**

ONG SEA (2012) considera la norma IS.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones (MVCS, 2006), para el diseño de la trampa de grasas, donde se establece lo siguiente:

- Para pequeñas instalaciones, la capacidad de la trampa de grasas debe ser de 8 L/persona.
- La capacidad mínima de la trampa de grasas será de 120 L.

Para el proyecto, ONG SEA (2012) ha considerado la recolección de las aguas grises de 15 viviendas, con una población total de 90 habitantes. Considerando las 90 personas, se requiere un volumen equivalente a:  $90 \text{ personas} \times 8 \text{ l/persona} = 720 \text{ l}$ . Sin embargo ONG SEA (2012) considero un ligero sobredimensionamiento considerado finalmente una trampa de grasas de **780 L de capacidad**.

#### **c) Diseño de humedal horizontal de flujo subsuperficial**

Los parámetros de diseño del humedal usados por ONG SEA (2012) se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10: Parámetros de diseño del humedal artificial**

<b>Datos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal	$\text{m}^3/\text{día}$	0.51
DBO <sub>5</sub> ingreso humedal	mg/l	200
DBO <sub>5</sub> salida humedal	mg/l	10
Temperatura mínima del agua	°C	8
Pendiente	-	0.01
Profundidad del sustrato	m	0.6
Filtro	-	Grava media
Porosidad	%	40
K <sub>20</sub>	días <sup>-1</sup>	1.10

FUENTE: ONG SEA (2012).

ONG SEA (2012), uso las formulas presentadas en el punto 3.3.5. de la presente investigación, como se detalla a continuación:

Calculo de la constante de remoción de carga orgánica

$$K_T = K_{20} \times 1.06^{(T-20)} = 1.10 \times 1.06^{(8-20)} = 0.55 \text{ días}^{-1}$$

Calculo de tiempo de retención hidráulico

$$T_{RH} = \frac{-\ln\left(\frac{DBO_{5\text{-ingreso}}}{DBO_{5\text{-salida}}}\right)}{K_T} = \frac{-\ln\left(\frac{200}{10}\right)}{0.55} = 5.48 \text{ días}$$

Calculo del área superficial

$$A_S = \frac{T_{RH} \times Q}{n \times H_F} = \frac{5.5 \times 0.51}{0.4 \times 0.6} = 11.6 \text{ m}^2$$

Usando una relación de largo y ancho de 4:1, se determinó que el largo es de 6.8 m y un ancho de 1.7 m.

Adicionalmente, en base a las formulas presentadas en el punto 4.4.2.1. se calcularon los demás parámetros operacionales:

Calculo de la carga hidráulica superficial

$$C_H = \frac{Q_P}{A_S} = \frac{0.51}{11.6} = 0.044 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{día}} = 44 \text{ mm/día}$$

Calculo de la carga orgánica

$$C_O = \frac{Q_P \times DBO_5}{A_S} = \frac{0.51 \times 200}{11.6} = 8.8 \frac{\text{g DBO}_5}{\text{m}^2 \cdot \text{día}}$$

Cálculo de la superficie específica

$$S_E = \frac{A_S}{Q_P} = \frac{11.6}{0.51} = 22.7 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3 \cdot \text{día}}$$

Calculo de la población equivalente

$$PE = \frac{Q_P \times \text{DBO}_{5(i)}}{50 \frac{\text{gDBO}_5}{\text{día}}} = \frac{0.51 \times 200}{50} = 2$$

### 2.6.3. UNIDADES DEL SISTEMA

#### a) Lavaderos multiuso e instalaciones domiciliarias de desagüe de aguas grises

Se instalaron 15 lavaderos de granito en las viviendas que forman parte del proyecto. Los desagües provenientes de dichos lavaderos son conducidos mediante tuberías de PVC para desagüe clase pesada de 2 pulgadas de diámetro, ver Anexo 1.5.

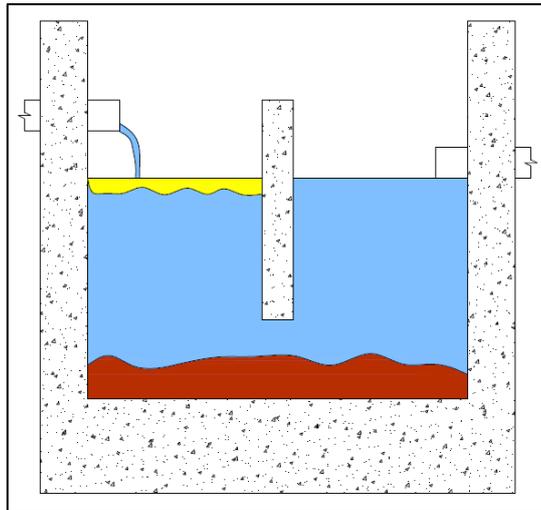
#### b) Red Exterior de desagüe de aguas grises

Las aguas grises que llegan de las viviendas a la red exterior de desagüe, son transportadas hacia la planta piloto, mediante un sistema de tuberías y cámaras de inspección. Para el transporte de las aguas grises hacia la planta piloto se instaló:

- 181.10 m de Tuberías de PVC para desagüe clase pesada de 4 pulgadas de diámetro.
- 03 cajas de registro de 0.60 x 0.60 m.
- 21 cajas de registro de 0.30 x 0.60 m.
- 01 buzón tipo I, diámetro 1.20 m y 1.50 m de altura

### c) Sistema de tratamiento de aguas grises

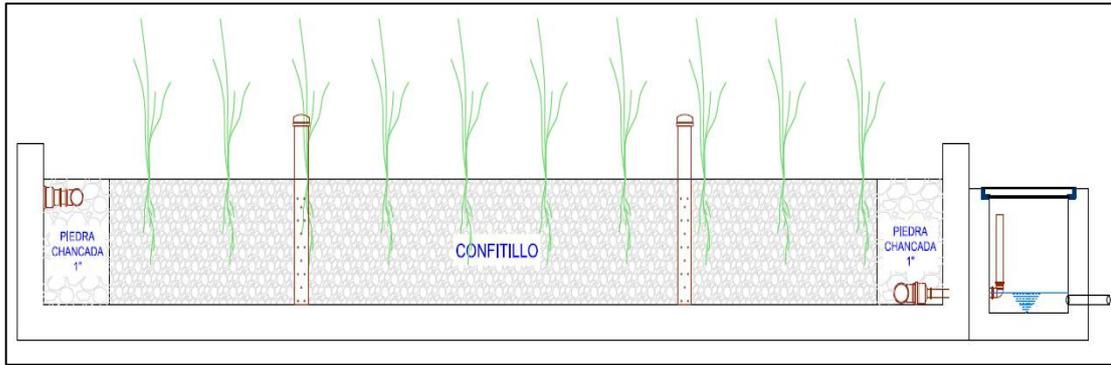
**Trampa de grasa:** Todas las aguas grises llegan a la planta de tratamiento e ingresan directamente a la trampa de grasa (ver Figura 4), el cual tiene una tubería de ingreso de 4 pulgadas de diámetro (tiene adaptado un costal que funciona como malla para retener los sólidos gruesos). La trampa de grasa presenta una división de cámaras como se muestra en el Anexo 2 (Plano de trampa de grasa). Presenta una altura de 1.2 m, ancho de 1 m y largo de 1.2 m dando un volumen total de 1.44 m<sup>3</sup>, ver Anexo 1.6 – 1.9.



**Figura 4: Esquema de trampa de grasa**

FUENTE: Elaboración propia.

**Humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal:** El agua ingresa al humedal mediante una tubería horizontal perforada que distribuye uniformemente el agua gris en la zona de entrada; asimismo, fue construido en concreto y presenta las medidas y características de la Tabla 11. Seguidamente, el agua es recolectada en una tubería perforada ubicada en el fondo a la salida del humedal, ver Figura 5, Anexo 1.10 – 1.14, y Anexo 3 (Plano de humedal artificial).



**Figura 5: Esquema del humedal artificial**

FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 11: Características del humedal artificial**

Característica	Valor	Unidad
Altura total	0.9	m
Borde libre	0.2	m
Altura de filtro	0.7	m
Largo útil	6.8	m
Ancho útil	1.7	m
Área superficial	11.6	m <sup>2</sup>
Volumen útil	8.1	m <sup>3</sup>
Filtro	Gravilla o confitillo	-
Vegetación	Papiro paragüita	-

FUENTE: ONG SEA (2012).

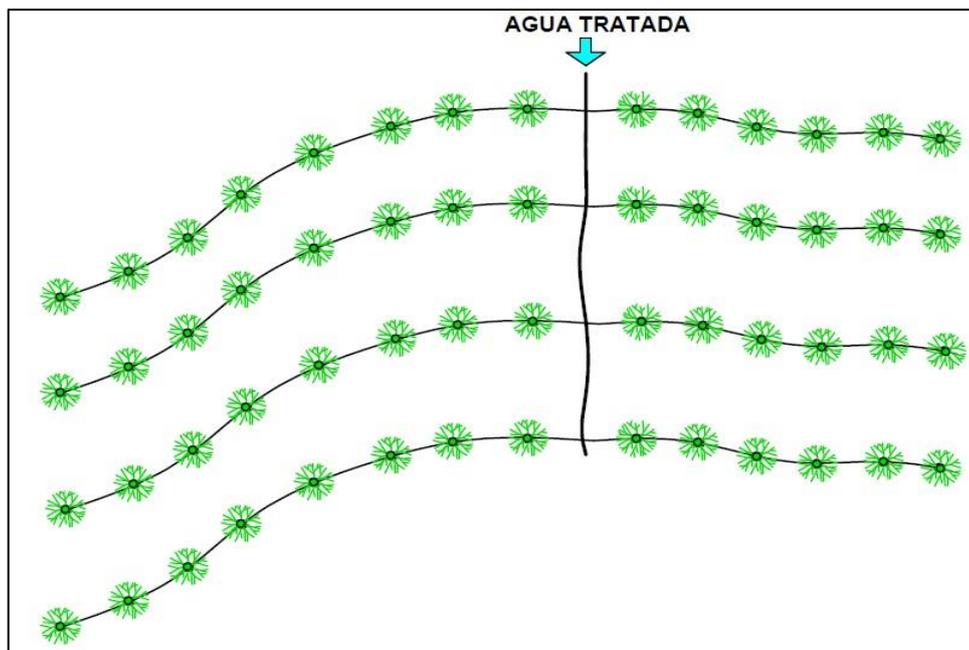
#### **d) Tanques de almacenamiento y red de riego por goteo**

Las aguas grises tratadas, son almacenadas en tanques y son usadas para el sistema de riego proyectado, ver Anexo 1.15 – 1.18. Dicho sistema considera:

- Instalación de 2 tanques de almacenamiento (marca Rotoplast) de 1100 litros de capacidad cada uno.

- Instalación de 225 m de tubería LPDE (Polietileno de baja densidad) para riego por goteo
- Sembrado de 50 plantas para reforestación.

En la Figura 6 se aprecia la distribución de la red de goteo.



**Figura 6: Esquema del riego por goteo**

FUENTE: Elaboración propia.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. ASPECTOS GENERALES**

Para el presente trabajo de investigación se contó con la autorización por parte de la ONG SEA, institución encargada de la implementación del proyecto; así como de los dirigentes de la Asociación de viviendas Señor de la Justicia del distrito de Ate Vitarte, provincia y departamento de lima; lugar donde se encuentra ubicado el sistema evaluado.

Los trabajos de campo de la presente investigación se realizaron durante un periodo de 2 meses, abarcando enero y febrero de 2016. El financiamiento en su totalidad fue asumido por el investigador.

#### **3.3. MATERIALES**

Para la ejecución de la presente investigación se usarán los siguientes materiales y equipos:

##### **3.3.1. MATERIALES**

- Botellas de Plástico y vidrio (0.5 ,1 ,3 litros).
- Bolsas de Plástico para muestreo de filtros.
- Reactivos para conservación de muestras (otorgados por el laboratorio).
- Refrigerantes (ice pack).
- 01 Cooler.
- Guantes de nitrilo y mascarillas.
- Papel tisú.
- Agua destilada.
- Alcohol para desinfección.
- Marcador indeleble.
- Cinta de embalaje

- Etiquetas.
- Recipientes de volumen conocido.
- Cronometro.
- Cadena de custodia.

### **3.3.2. EQUIPOS**

- Multiparámetro (con sensores para Conductividad eléctrica, Temperatura y pH).
- Cámara fotográfica.
- Computadora con software Autocad.

## **3.4. METODOLOGÍA**

Para el cumplimiento de los objetivos específicos de la presente investigación se realizaron las siguientes actividades:

### **3.4.1 DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

Para determinar las eficiencias en cada unidad de tratamiento se realizó el monitoreo de la calidad del agua, y posteriormente se procedió a calcular las eficiencias de remoción.

#### **3.4.1.1. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA**

##### **a) Variables de evaluación de la calidad del agua**

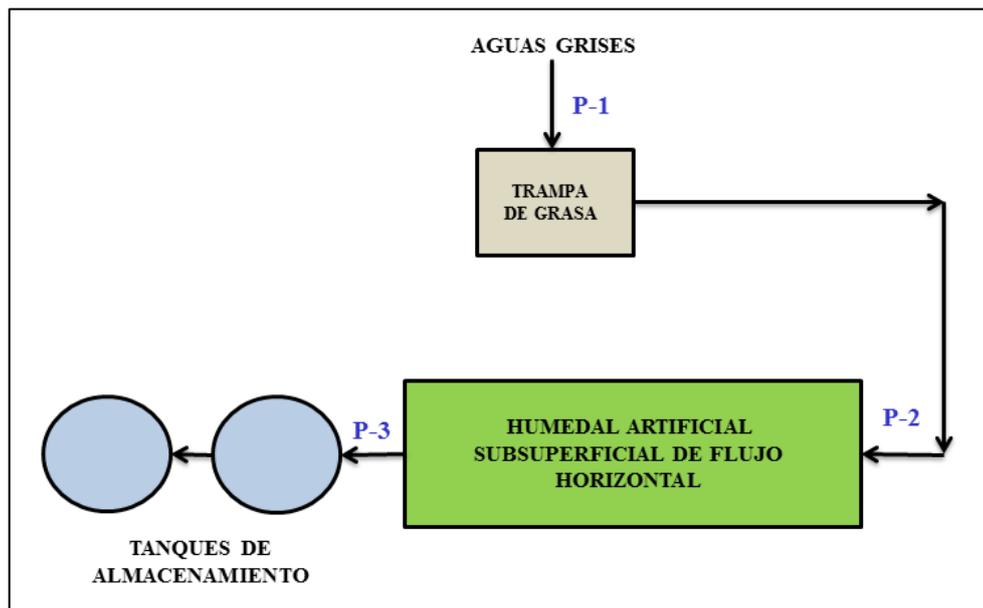
Debido a la gran variedad de parámetros de calidad de agua que puedan estudiarse en un sistema de tratamiento y enfocándose en el reuso en riego, se consideró los siguientes parámetros:

**Fisicoquímicos:** Temperatura, pH, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, turbidez, sólidos sedimentables, alcalinidad total, nitrógeno amoniacal, nitrato y fosforo soluble.

**Biológicos:** Coliformes totales, coliformes fecales y huevos de helmintos.

## b) Ubicación de los puntos de muestreo de agua

El sistema conto con 3 puntos de muestreos, que se muestran en la Figura 7, cuya nomenclatura se detalla a continuación:



**Figura 7: Puntos de muestreo de agua**

FUENTE: Elaboración propia.

Donde:

P-1: Agua gris cruda o agua gris al ingreso a la trampa de grasa.

P-2: Agua gris pre-tratada, es el agua gris a la salida de la trampa de grasa (agua que ingresa al humedal artificial).

P-3: Agua gris tratada, es el agua a la salida del humedal artificial.

Los registros fotográficos de los puntos de muestreos y la toma de muestras se visualizan en el Anexo 1.19 – 1.27.

### **c) Frecuencia de muestreo**

Se realizaron 5 campañas de muestreo, con una frecuencia semanal aproximadamente. La frecuencia del muestreo está basada en la recomendación (párrafo 4.3.2) de la Norma OS.090 del Reglamento nacional de edificaciones (MVCS, 2006), donde se menciona que para la caracterización de aguas residuales domésticas se realizará, para cada descarga importante, cinco campañas de medición y muestreo.

Las primeras 3 campañas se realizaron días domingo y las 2 últimas campañas fueron realizadas en días de semana.

Para el diseño del monitoreo se tomó las siguientes consideraciones:

- Los Aceites y grasas fueron medidos solo en 3 campañas.
- Los parámetros aceites y grasas y solidos sedimentables solo fueron evaluados al ingreso y salida de la trampa de grasa debido a que esta unidad está diseñada principalmente para remover este parámetro.
- Los coliformes fecales y totales solo fueron analizados al ingreso y salida del humedal, teóricamente no hay remoción considerable en la trampa de grasa, por ende no se analizó al ingreso del sistema.
- Debido a la ausencia teórica de material fecal en las aguas grises, se evaluó el parámetro de huevos de helmintos a la salida del sistema, solo en una campaña, para verificar su ausencia.
- Se evaluó a nivel referencial los parámetros de Alcalinidad Total, Nitrógeno amoniacal, Nitratos y Fosforo, por lo cual se realizó en una sola campaña.

En la Tabla 12 se muestra el resumen del monitoreo de la calidad del agua.

**Tabla 12: Monitoreo de la calidad del agua**

Parámetros		Símbolo	Tipo de muestra	Puntos de muestreo			Campañas de muestreo
				P1	P2	P3	
<i>in situ</i>	Temperatura del agua	T	Medición Puntual	X	X	X	5
	pH	pH	Medición Puntual	X	X	X	5
	Conductividad eléctrica	CE	Medición Puntual	X	X	X	5
Fisicoquímicos	Demanda bioquímica de oxígeno	DBO <sub>5</sub>	Compuesta	X	X	X	5
	Demanda Química de Oxígeno	DQO	Compuesta	X	X	X	5
	Aceites y grasas	AG	Compuesta	X	X		3
	Sólidos suspendidos totales	SST	Compuesta	X	X	X	5
	Sólidos sedimentables	SS	Compuesta	X	X		5
	Turbidez	-	Compuesta	X	X	X	5
Biológicos	Coliformes Totales	CT	Puntual		X	X	5
	Coliformes Fecales	CF	Puntual		X	X	5
<b>Parámetros adicionales para la caracterización del agua gris cruda</b>							
	Alcalinidad Total	-	Compuesta	X			1
	Nitrógeno amoniacal	N-NH <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Compuesta	X			1
<b>Parámetros adicionales para la caracterización del agua tratada</b>							
	Huevos de helmintos	-	Compuesta			X	1
	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Compuesta			X	1
	Fosforo soluble	-	Compuesta			X	1

FUENTE: Elaboración propia

#### **d) Toma de muestra**

Se tomaron las siguientes consideraciones para la toma de muestra:

- Los parámetros *in situ* fueron medidos de mediante un equipo multiparametro, ver Anexo 1.29.

- Las muestras compuestas fueron tomadas en un intervalo de 8 horas (7 am - 3 pm) tomando las precauciones según cada parámetro.
- El horario de toma de muestra compuesta fue de nueve horas, iniciándose a las 7:00 horas y culminando a las 15:00 horas para cada día de muestreo. La toma de muestras se realizó cada hora tomando 1 L y colocándolo en un recipiente de 10 L. En el caso de los coliformes fecales y totales la muestra fue puntual tomada entre las 12 pm – 2 pm.
- Adicionalmente para la representatividad de las muestras se tomaron en cuenta algunas consideraciones; como mantener los recipientes ubicados en sombra y cubiertos, de esta forma evitar alteraciones en las características de la muestra por elementos extraños.
- Las indicaciones para la toma de muestra y preservación se indican en el Tabla 13. Se usaron coolers y ice pack durante el traslado de muestras (ver Anexo 1.30).
- Para las 3 primeras campañas las muestras fueron analizadas por el Laboratorio CERTIMIN S.A. acreditado por el Instituto nacional de calidad (INACAL). Asimismo, en las 2 últimas campañas las muestras fueron analizadas por los laboratorios “Laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego” y “Laboratorio de ecología microbiana y biotecnología Marino Tabusso”.
- Los sólidos sedimentables y la turbidez fueron analizados por el Tesista, en el laboratorio de ingeniería ambiental de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria la Molina, ver Anexo 1.31 y 1.32.

**Tabla 13: Indicaciones para la toma y preservación de muestras**

Parámetro	Unidad	Método de medición/ensayo	Volumen de muestra	Tipo de envase	Consideraciones de muestreo	Preservante
Temperatura del agua	°C	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 22nd Ed. (Desarrollado en campo)	-	-	-	-
pH	Unidades de pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 22nd Ed. (Desarrollado en Campo)	-	-	-	-
Conductividad eléctrica	µS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 22nd Ed. (Desarrollado en campo)	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	SM5210B-Biochemical Oxygen Demand (BOD) .5- Day BOD Test.	1 L	P	No se debe enjuagar el frasco. Llenar completamente el envase (sin burbujas de aire).	Refrigerar ≤ 4 °C
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	SM 5220 D-Closed Reflux, Colorimetric Method.	100 ml	P	Material enjuagar 03 veces	Añadir H2SO4 hasta pH<2, refrigerar ≤ 6 °C
Aceites y grasas	mg/l	SM 5520 B-Gravimetric Method	1 L	V	No enjuagar ni llenar totalmente el frasco.	Añadir HCl (1:1) o H2SO4 (1:1) hasta pH<2, Refrigerar ≤ 6 °C
Solidos suspendidos totales	mg/l	SM 2540 D-Total Suspended. Solids Dried at 103 - 105°C.	1 L	P	Ninguna	Refrigerar ≤ 4°C
Solidos sedimentables	ml/l	SM 2540 F- Settleable Solids	1 L	P	Ninguna	Refrigerar ≤ 4°C
Turbidez	UNT	APHA, AWWA, WPCF 17th Ed. 1992 2130 B, pag. 2 -14	500 ml	P	Ninguna	Refrigerar ≤ 4°C
Coliformes Totales	NMP/100 ml	SM 9221 B-Standard Total Coliform Fermentation Technique. Multiple tube	500 ml	P	No se debe enjuagar el frasco. Dejar un espacio aproximadamente 2.5 cm para facilitar la homogenización.	Refrigerar ≤ 4°C

Parámetro	Unidad	Método de medición/ensayo	Volumen de muestra	Tipo de envase	Consideraciones de muestreo	Preservante
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	SM 9221 E1 - Fecal Coliform Procedure. Multiple Tube	500 ml	P	No se debe enjuagar el frasco. Dejar un espacio aproximadamente 2.5 cm para facilitar la homogenización.	Refrigerar $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Alcalinidad Total	mg $\text{CaCO}_3/\text{l}$	SM 2320 B -Titration Method	250 ml	P	Ninguna	Refrigerar $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Nitrógeno amoniacal	mg $\text{N-NH}_3/\text{l}$	SM 4500 $\text{NH}_3\text{D}$ -Ammonia Selective Electrode Method.	500 ml	P	Ninguna	Añadir $\text{H}_2\text{SO}_4$ hasta $\text{pH}<2$ Refrigerar $< 4^{\circ}\text{C}$
Huevos de helmintos	Huevos/l	SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF	2.5 l	P	No llenar completo el recipiente	Sin preservar Refrigerar de 2 a $6^{\circ}\text{C}$
Nitratos	mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$	SM 4500 $\text{NO}_3\text{-E}$ -Cadmium Reduction Method.	500 ml	P	Material enjuagar 03 veces	Añadir $\text{H}_2\text{SO}_4$ hasta $\text{pH}<2$ Refrigerar $< 4^{\circ}\text{C}$
Fosforo soluble	mg P/l	SM 4500 P E-Ascorbic Acid Method. Phosphorus.	500 ml	P	No enjuagar el material.	Refrigerar $\leq 6^{\circ}\text{C}$

P: Plástico, V: Vidrio

FUENTE: Elaboración propia

### 3.4.1.2. Cálculo de la eficiencia de remoción de contaminantes

La eficiencia de remoción, expresada en porcentaje, se determinó para cada parámetro usando los datos promedio de los parámetros evaluados. Se calculó las eficiencias usando la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia de remoción(\%)} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\%$$

Donde:

C<sub>i</sub>: concentración inicial

C<sub>f</sub>: concentración final

Los parámetros *in situ* no requieren del cálculo de la eficiencia de remoción, los cuales son: temperatura del agua, pH y conductividad eléctrica.

## 3.4.2. DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

### 3.4.2.1. Determinación de los parámetros operacionales

#### a) Caudal promedio (Q<sub>P</sub>)

Inicialmente se determinó los caudales instantáneos mediante método volumétrico, usando un recipiente de plástico de 2.5 litros de capacidad se captó el agua gris al ingreso del sistema, se registró el volumen captado y el tiempo transcurrido con ayuda de un cronómetro.

La fórmula para el caudal instantáneo por método volumétrico

$$Q_i = \frac{V_c}{T}$$

Donde:

$Q_i$  : Caudal instantáneo (l/s)

$V_C$  : Volumen captado (l)

$T$  : Tiempo (s)

Se realizaron mediciones en las 5 campañas, a nivel horario desde las 7 am hasta las 4 pm. Para la determinación del caudal promedio ( $Q_P$ ) se realizó un promedio aritmético de los caudales instantáneos medidos por cada campaña.

### **b) Tiempo de retención hidráulico ( $T_{RH}$ )**

El tiempo de retención hidráulico representa la permanencia del agua en el sistema. Para la trampa de grasa, el tiempo de retención hidráulico ( $T_{RH}$ ) se determinó teóricamente mediante la siguiente ecuación:

$$T_{RH} = \frac{Q_P}{V_{TG}}$$

Donde:

$T_{RH}$  : Tiempo de retención hidráulico (s)

$Q_P$  : Caudal promedio (l/s)

$V_{TG}$  : Volumen útil de la trampa de grasa (l)

Para el humedal artificial, el tiempo de retención hidráulico ( $T_{RH}$ ) se determinó teóricamente usando la siguiente ecuación (Miglio, 2003):

$$T_{RH} = \frac{A_S \times H_F \times P}{Q_P}$$

Donde:

$T_{RH}$  : Tiempo de retención hidráulico (día)

$A_S$  : Área superficial ( $m^2$ )

$H_F$  : Altura del filtro (m)

$P$  : Porosidad

$Q_P$  : Caudal promedio ( $m^3/día$ )

### c) Carga hidráulica superficial ( $C_H$ )

La carga hidráulica es la cantidad de agua vertida por unidad de área superficial y tiempo.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$C_H = \frac{Q_P}{A_S}$$

Donde:

$C_H$  : Carga hidráulica superficial ( $m^3/m^2.día$ )

$A_S$  : Área superficial ( $m^2$ )

$Q_P$  : Caudal promedio ( $m^3/día$ )

### d) Carga orgánica ( $C_O$ )

La carga orgánica representa la cantidad de materia orgánica por unidad de área y tiempo.

Se mide principalmente usando la  $DBO_5$ .

Su unidad es: g  $DBO_5/m^2.día$

$$C_O = \frac{Q_P \times DBO_5}{A_S}$$

Donde:

$C_O$  : Carga orgánica superficial ( $m^3/m^2.día$ )

$Q_P$  : Caudal promedio ( $m^3/día$ )

$DBO_{5(i)}$  : Demanda bioquímica de oxígeno al ingreso del humedal (mg/l)

$A_S$  : Área superficial ( $m^2$ )

### e) Superficie específica ( $S_E$ )

La superficie específica indica la cantidad de área requerida por unidad de volumen de agua, es la inversa a la carga hidráulica superficial.

$$S_E = \frac{A_S}{Q_P} = \frac{1}{C_H}$$

Donde:

$S_E$  : Superficie específica ( $m^2/m^3 \cdot día$ )

$A_S$  : Área superficial ( $m^2$ )

$Q_P$  : Caudal promedio ( $m^3/día$ )

$C_H$  : Carga Hidráulica superficial ( $m^3/m^2 \cdot día$ )

### f) Población equivalente (PE)

Un desagüe con un determinado caudal y concentración puede llevarse a un cálculo para determinar a cuantas personas o habitantes equivalen las características de ese desagüe. El cálculo se determina mediante el aporte de carga unitaria, que varía según las normas de cada país, en el Perú el Reglamento nacional de edificaciones da un valor de 50 g  $DBO_5/PE$  (Norma OS 090).

$$PE = \frac{Q_P \times DBO_{5(i)}}{50 \frac{gDBO_5}{día}}$$

Donde:

PE : Personas equivalentes

$Q_P$  : Caudal promedio ( $m^3/día$ )

$DBO_{5(i)}$  : Demanda bioquímica de oxígeno al ingreso del humedal (mg/l)

### 3.4.2.2. Caracterización de lodos

La producción de volumen de lodos, se estimó de manera referencial considerando los sólidos sedimentables retenidos en la trampa de grasa, se usó la siguiente formula.

$$V_{LP} = Q_P \times (SS_i - SS_s)$$

Donde:

VLP : Volumen de lodos (l/día)

Q<sub>P</sub> : Caudal promedio (m<sup>3</sup>/día)

SS<sub>i</sub> : Sólidos sedimentables del agua gris al ingreso de la trampa de grasa (ml/l)

SS<sub>s</sub> : Sólidos sedimentables del agua gris a la salida de la trampa de grasa (ml/l)

Asimismo, se realizó el muestreo (ver Anexo 1.33) en una campaña de los lodos analizaron algunos parámetros de calidad de los lodos, los cuales se detallan en la Tabla 14.

**Tabla 14: Muestreo de lodos**

Parámetros	unidades	Método de ensayo	Volumen de muestra (litros)
Sólidos totales	mg/l	APHA, AWWA, WCPCF 17th Ed. 1992 2540 B pag. 2-80	1
Parásitos	Nº/100 ml	Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa. (2008), Water Research Commission, Part 2. WRC Report N° TT322/08	2.5

FUENTE: Elaboración propia.

### 4.4.2.3. Determinación de las características del filtro

Se evaluaron 5 características del filtro usado: granulometría, porcentaje de finos, diámetro efectivo, coeficiente de uniformidad, conductividad hidráulica y porosidad.

Se recolecto una muestra de 6 Kg del filtro usado en el humedal artificial (ver Anexo 1.34), y se envió al laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la

Molina para el análisis de granulometría por tamices, con la finalidad de determinar la granulometría, y porcentaje de finos.

Para la determinación del diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad se realizó un cálculo a partir de la granulometría; finalmente la conductividad hidráulica y porosidad fueron estimados mediante tablas; a continuación se detalla cada característica evaluada:

#### **a) Granulometría**

La granulometría se define como la distribución del tamaño de las partículas de un suelo o agregado, esta se expresa en porcentaje y se presenta en una gráfica denominada curva granulométrica. El ensayo granulométrico fue por tamizado según la Norma Técnica Peruana 339.128 (equivalente a la norma americana ASTM –D 422). La muestra pasa a través de varios tamices con medidas estándar, luego se procede a pesar el material retenido y mediante cálculos se grafica la curva granulométrica.

#### **b) Porcentaje de finos**

Son todas aquellas partículas que pasen la malla N° 200 (0.075 mm de diámetro), y se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de Finos} = \frac{M_{N^{\circ} 200}}{M_M} * 100\%$$

Donde:

$M_{N^{\circ} 200}$ : Masa de muestra que pasa la malla N° 200 (gr).

$M_M$ : Masa de la muestra (gr).

#### **c) Diámetro efectivo ( $d_{10}$ )**

Representa el tamaño de diámetro por el cual se ha retenido el 10% de la muestra, es decir el 10% de la muestra tiene un tamaño menor a  $d_{10}$ . Se determina ubicando el punto en la curva granulométrica que corresponde al 10% de la materia que pasa.

#### **d) Coeficiente de uniformidad**

Es el ratio entre el diámetro efectivo y el  $d_{60}$ , y representa si la muestra es uniforme con respecto al tamaño de partícula, se calcula con la siguiente ecuación:

$$CU = \frac{d_{10}}{d_{60}}$$

Donde:

CU : Coeficiente de uniformidad, valor sin unidades.

$d_{10}$  : diámetro efectivo (mm).

$d_{60}$  : diámetro por el cual pasa el 60% de la muestra (mm).

#### **e) Conductividad Hidráulica**

La conductividad hidráulica representa la mayor o menor facilidad con la que el medio deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal a la dirección del flujo. Fue estimada en función al diámetro efectivo y usando la Tabla 3 (Características medias de filtros).

#### **e) Porosidad**

Representa el volumen de poros o espacios libres en un suelo o agregado. Fue estimada en función al diámetro efectivo y usando la Tabla 3 (Características medias de filtros).

#### **4.4.4.4. Evaluación de la vegetación del humedal**

Para la evaluación de la vegetación del humedal se consideró determinar el crecimiento durante las visitas realizadas, así también se obtuvo datos sobre la cantidad de plantas en el área del humedal y la profundidad de raíces, ver Anexo 1.35.

### **3.4.3. EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE CALIDAD DEL AGUA GRIS TRATADA CON FINES DE REUSO EN RIEGO DE ÁREAS VERDES**

Para la verificación del cumplimiento de normas se consideró compararlo con las directrices de la Organización mundial de la Salud (OMS) del año 1989, debido a que presenta valores recomendados para los parámetros de coliformes fecales y parásitos. Sin embargo, también se consideró las directrices de la OMS del año 2006.

A manera referencial se hizo una comparación con los ECA categoría 3 – Agua para riego de vegetales y bebida de animales, se entiende que los ECAs no son aplicados a efluentes tratados por lo su comparación es referencial.

### **3.4.4. ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

El mejoramiento de un sistema de tratamiento se basa en dos aspectos, mejorar o corregir el diseño ya construido mediante la adición o modificación de las unidades de tratamiento; asimismo, replantear y mejorar las actividades de operación y mantenimiento.

Para el presente sistema se observó durante las visitas los problemas en sus componentes, así como se obtuvo información del personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema.

Para determinar los principales problemas del sistema, se elaboró un Tabla donde se presenta por cada unidad del sistema los problemas observados, indicando la causa y definiendo una solución concreta, posteriormente se detalla la aplicación de cada solución.

Además se elaboró un Tabla con las actividades de operación y mantenimiento para el sistema.

### **3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se determinaron el valor máximo y mínimo, media, mediana, varianza, desviación estándar y coeficiente de variabilidad para cada uno de los parámetros monitoreados.

Para la validación estadística se realizó una comparación entre los datos obtenidos de puntos de muestreo y para cada parámetro considerado, para lo cual se utilizó el programa Minitab 16, realizando un análisis de varianza (ANOVA) más la comparación de Tuckey, los resultados se presentan en el Anexo 8.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados con sus respectivas discusiones han sido agrupados en función a cada objetivo específico.

##### 4.1. EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO

Resultado de la ejecución del plan de monitoreo de la calidad de agua, se obtuvieron los resultados que se detallan a continuación:

###### 4.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA GRIS CRUDA

En la Tabla 15 se muestran los valores promedios obtenidos en el monitoreo de la calidad del agua gris cruda, es decir en el punto de muestreo P-1.

**Tabla 15: Caracterización del agua gris cruda**

Parámetros	Unidad	Valor promedio
Temperatura <sup>1</sup>	°C	22.9
pH <sup>1</sup>	-	7.15
Conductividad eléctrica <sup>1</sup>	µS/cm	1168
Aceites y grasas	mg/l	17.4
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	232.6
Demanda química de oxígeno	mg/l	525.3
Sólidos suspendidos totales	mg/l	196.3
Sólidos sedimentables	ml/l	2.9
Turbiedad	UNT	179.3
Nitrógeno amoniacal <sup>2</sup>	mg N-NH <sub>4</sub> /l	20.22
Alcalinidad total <sup>2</sup>	mg CaCO <sub>3</sub> /l	424.23
Coliformes fecales	NMP/100ml	2.76x10 <sup>6</sup>
Coliformes totales	NMP/100ml	4.51x10 <sup>7</sup>

1: Mediciones puntuales.

1: Una campaña de muestreo.

Los parámetros in situ se han mantenido dentro de los rangos establecidos en la bibliografía, según Eriksson et. al. (2001) establece que la temperatura se encuentra en un rango del 18 a 38 °C, el valor promedio obtenido fue de 22.9 °C. Asimismo, el valor promedio de pH obtenido es 6.8 y se encuentra dentro del valores óptimos entre 6 a 8 recomendados por Romero (2004) para el uso de microorganismos en el tratamiento de aguas residuales. Finalmente, la conductividad eléctrica resultante de las mediciones in situ presenta un valor de 1168  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , valor que se encuentra entre los valores (312 a 1280  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) mencionados por Eriksson et. al. (2001).

Los aceites y grasas presentan un valor promedio de 17.4 mg/l; según Romero (2004) las aguas residuales domesticas presenta un contenido de aceites de grasas entre 30 a 50 mg/l; sin embargo, el valor obtenido se encuentra por debajo, esto debido a que se trata de aguas grises.

El valor obtenido de Alcalinidad total (424.23 mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ ) se encuentra en el rango de concentración de 50 a 200 mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ , establecido por Romero (2004). Asimismo, según lo establecido por Romero (2004) para aguas residuales domesticas el Nitrógeno Amoniacal varia de 5 a 20 mg/l, por lo que el Nitrógeno Amoniacal obtenido (20.22 mg  $\text{N-NH}_4/\text{l}$ ) se encuentra ligeramente por encima del este rango, aun tratándose de aguas grises; es importante mencionar que ambos parámetros solo fueron enviados a analizar en una campaña de manera referencial.

Según Eriksson et. al. (2001) los sólidos suspendidos totales en aguas grises varía entre 113 a 2410 mg/l, lo cual representa un amplio rango y muy similar a los de aguas residuales domesticas; el valor obtenido (196.3 mg/l) en Solidos suspendidos totales se encuentra dentro del rango. Con respecto a los sólidos sedimentables, se obtuvo un valor de 2.9 ml/l por debajo del valor mencionado por Romero (2004) de 10 mg/l para aguas residuales domésticas, lo que se explica por tratarse de aguas grises que en general contienen menor cantidad de sólidos. Para el caso de la Turbiedad se obtuvo un promedio de 179.3 UNT, muy similar a los 162.67 UNT reportado por Duran y Redañez (2014) para aguas grises crudas.

La  $\text{DBO}_5$  tiene un valor promedio de 232.6 mg/l y se encuentra dentro del rango (50 a 370 mg/l) establecido por Gulyas (2007). Asimismo, la DQO tiene un valor promedio

de 525.3 mg/l y Gulyas (2007) menciona valores típicos de 90 a 700 mg/l, por lo que no existen valores atípicos de los indicadores de materia orgánica en el agua gris cruda. Duran et. al. (2014) registraron valores de 389.29 mg/l y 547.54 mg/l para la DBO<sub>5</sub> y DQO respectivamente para aguas grises crudas, estos valores son similares para la DQO principalmente.

Según Metcalf & Eddy (1998), la relación DBO<sub>5</sub>/DQO para aguas residuales domesticas crudas que se halla en el intervalo 0.4 – 0.8 se consideran biodegradables, el valor obtenido es de 0.44 por lo cual se considera un agua gris que puede ser tratada mediante procesos biológicos.

Con respecto a los indicadores microbiológicos, Otosson (2003) reporta coliformes termotolerantes o fecales de 5.8 unidades logarítmicas/100ml y el promedio obtenido fue de 6.4 unidades logarítmicas/100ml ( $2.76 \times 10^6$  NMP/100ml) superando lo indicado por Otosson. Asimismo, según Rose et. al. (1991), Dixon et. al. (1999) y Gerba et. al. (1995) el rango de coliformes totales en aguas grises crudas varían entre 1.7 a 8.8 unidades logarítmicas/100ml y el valor promedio obtenido es de 7.7 unidades logarítmicas/100ml, el cual se encuentra dentro del rango definido por los autores.

#### **4.1.2. CALIDAD DEL AGUA Y EFICIENCIAS DE REMOCIÓN**

En la Tabla 16 se presentan los resultados promedios de la calidad del agua evaluada en los puntos de muestreo del sistema de tratamiento, además se muestran las eficiencias de remoción obtenidas en la Trampa de grasa, el humedal artificial y el sistema en conjunto. Asimismo, en el Anexo 4 se observan los resultados a detalle y en el Anexo 5 se visualizan los informes de ensayo de los laboratorios. Además, en el Anexo 1.28 se visualiza la apariencia del agua en cada punto de muestreo.

**Tabla 16: Resultados de la calidad del agua y eficiencias de remoción**

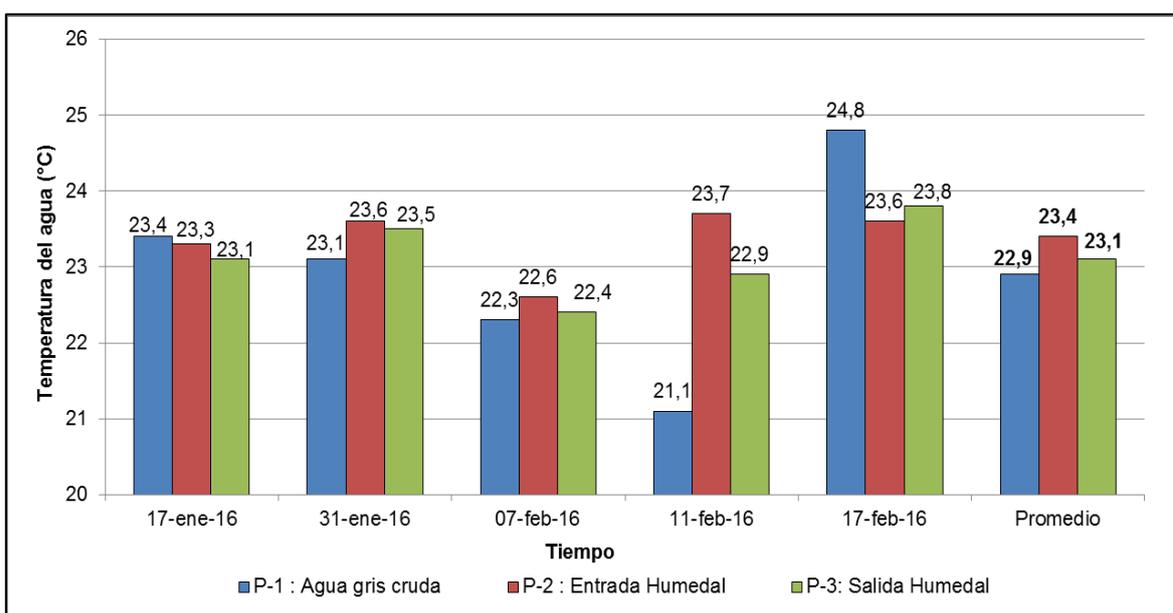
Parámetros	Unidad	Agua gris cruda (P-1)	Agua ingreso a humedal (P-2)	Agua Salida humedal (P-3)	Remoción - Trampa de grasa	Remoción - Humedal artificial	Remoción Total
Temperatura	°C	22.9	23.4	23.1	-	-	-
pH	-	7.15	7.27	7.53	-	-	-
Conductividad eléctrica	μS/cm	1168	1226	1228	-	-	-
Aceites y grasas	mg/l	17.4	1.8	-	90%	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	232.6	183.4	17.7	21%	90.3%	92.4%
Demanda química de oxígeno	mg/l	525.3	369.1	60.2	30%	83.7%	88.5%
Sólidos suspendidos totales	mg/l	196.3	80.2	6.6	59%	91.8%	96.6%
Sólidos sedimentables	ml/l	2.9	0.1	-	97%	-	-
Turbiedad	UNT	179.3	88.9	3.3	50%	96.3%	98.2%
Coliformes fecales	NMP/100ml	-	$2.76 \times 10^6$	$7.52 \times 10^4$	-	97.3%	97.3%
Coliformes totales	NMP/100ml	-	$1.73 \times 10^8$	$1.81 \times 10^6$	-	99.0%	99.0%
Parásitos	Huevos/l	-	-	0	-	-	-
Fosforo soluble	mg P/l	-	-	1.40	-	-	-
Nitratos	mg/l	-	-	0.77	-	-	-

#### 4.1.3. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

A continuación se presentaran y discutirán los resultados de los parámetros monitoreados en la investigación:

##### a) Temperatura

En la Figura 8 se observa los valores de la temperatura del agua medidos *in situ* durante el monitoreo.



**Figura 8: Variación temporal de la temperatura**

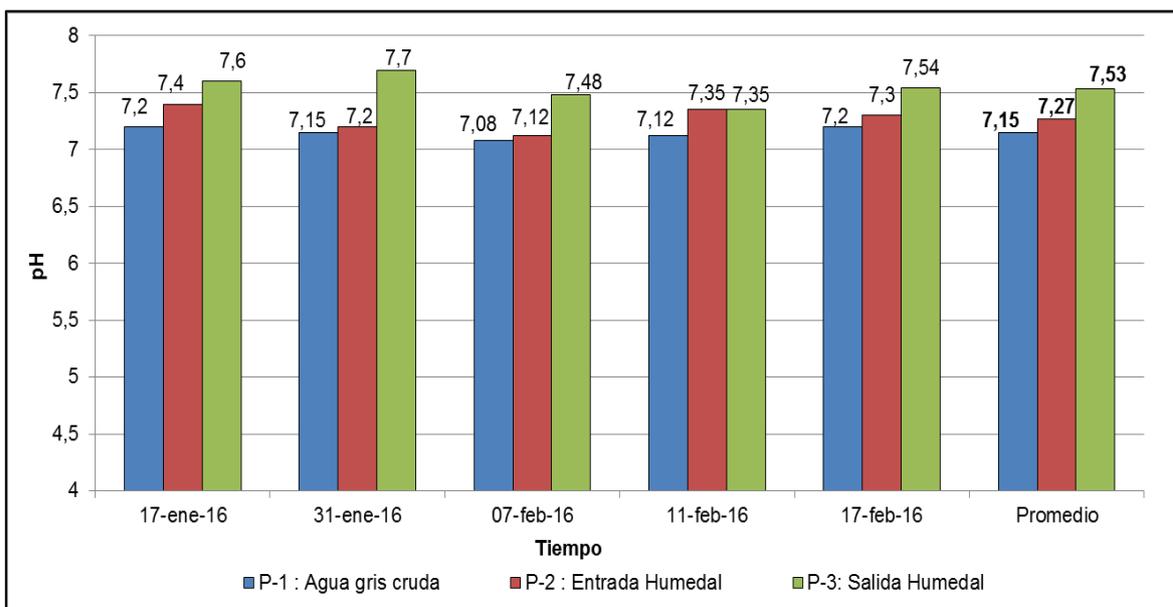
Como se aprecia en la Figura 8 los valores de temperaturas en los puntos de muestreo están por debajo de los 25 °C, teniendo como valor máximo 24.8 °C en P-1 (agua gris cruda) del muestreo realizado el 17-02-2016 y el valor mínimo de 21.1 °C en P-1 el día 07-02-2016.

Asimismo, los valores promedios para P-1, P-2 y P-3 son 22.9, 23.4 y 23.1 °C respectivamente; se aprecia un ligero aumento entre el P-1 al P-2, es decir el aumento se da en la trampa de grasa lo cual se explica debido a que la trampa de grasa presenta una tapa metálica pintada de color negro y se encuentra sobre el terreno y expuesto a la radiación solar, posiblemente se haya aumentado ligeramente la temperatura del agua en su interior.

En general, los valores obtenidos de las mediciones *in situ* no presentan valores extremos que puedan afectar al tratamiento biológico.

## b) pH

En la Figura 9 se observa los valores de pH del agua medidos *in situ* durante el monitoreo.



**Figura 9: Variación temporal del pH**

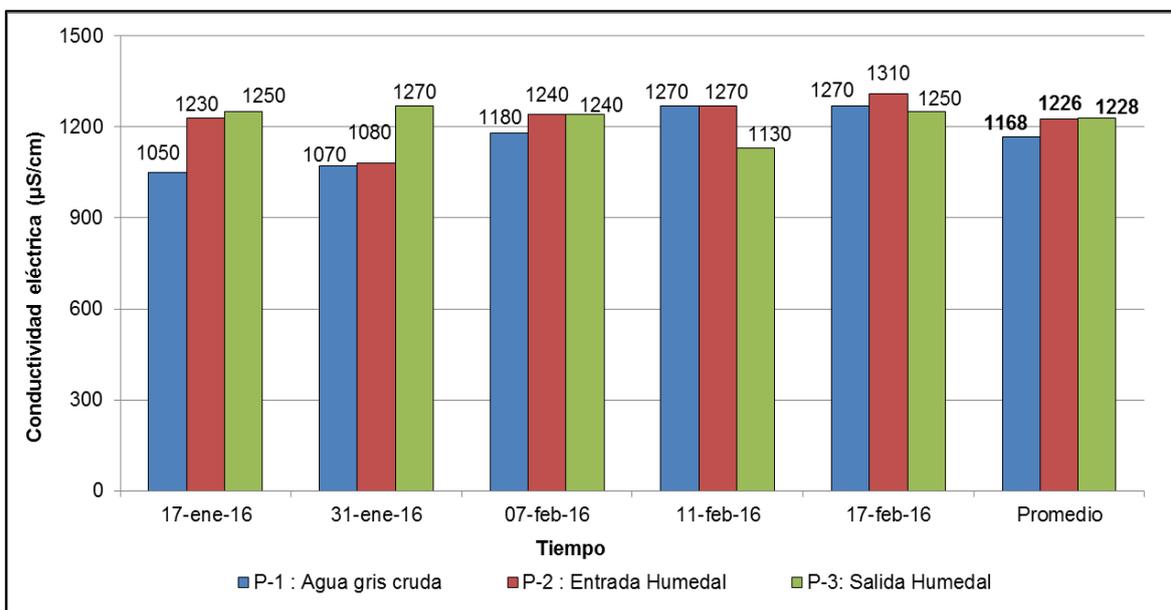
Los valores de pH medidos en todos los puntos de muestreo en todas las campañas no han presentado valores extremos ni fuera del rango óptimo para el uso de microorganismos en el tratamiento de aguas residuales que es entre 6 y 8 según Romero (2004). Los valores promedios obtenidos para P-1, P-2 y P-3 son 7.15, 7.27 y 7.53 respectivamente.

Se puede observar que existe un ligero aumento de pH entre los puntos de muestreo, esto se explica según Duran et.al. (2014) a la consecuencia de la reacción de descomposición del nitrógeno amoniacal y el proceso desnitrificación que liberan hidroxilos (OH<sup>-</sup>).

El rango de 6 a 8.5 de pH es el adecuado para el crecimiento del papiro según Hammel et. al. (2003), y los valores obtenidos se encuentran dentro del rango mencionado.

### c) Conductividad eléctrica

En la Figura 10, se observan los valores de conductividad eléctrica del agua medidos *in situ* durante el monitoreo.



**Figura 10: Variación temporal de la conductividad eléctrica**

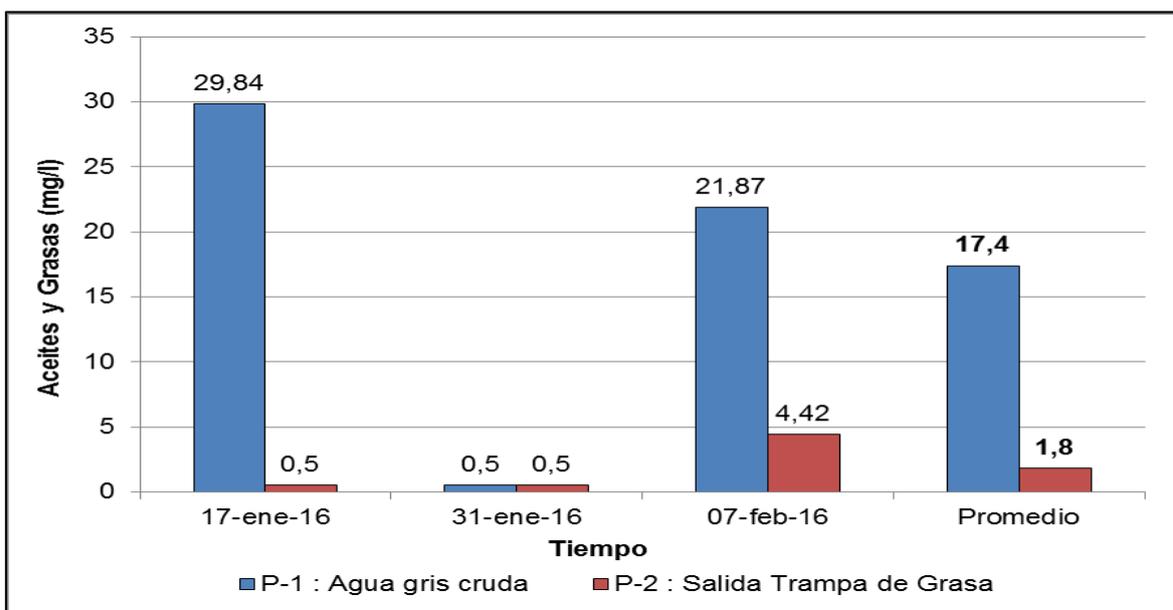
La conductividad eléctrica varía entre 1050 a 1310 µS/cm en el sistema, teniendo como valores promedio 1168, 1226 y 1228 µS/cm para los puntos de muestreo P-1, P-2 y P-3 respectivamente. No se ha observado cambios considerables entre los puntos de muestreo.

Duran et. al. (2014) menciona que la conductividad eléctrica es un parámetro importante dado que está directamente relacionada con la concentración de sales, en ese sentido, es importante conocer la conductividad eléctrica a la salida del humedal y más aún si el agua va a ser usada para el riego de áreas verdes.

Según la FAO (1985) para determinar el grado de restricción de uso de un agua para riego en función la conductividad eléctrica puede ser: Sin restricción ( $CE < 700 \mu\text{S/cm}$ ), débil o moderado ( $700 < CE < 3000 \mu\text{S/cm}$ ) y severo ( $CE > 3000 \mu\text{S/cm}$ ). El valor promedio en el agua gris tratada (P-3) es de 1228 µS/cm teniendo una restricción débil o moderada para su reuso en riego, por lo que no se deberían tener problemas en su reuso con respecto a la conductividad eléctrica.

#### d) Aceites y grasas

En la Figura 11 se observa los valores de aceites y grasas en los puntos de muestreo. Para el parámetro solo se consideró al ingreso (P-1) y salida (P-2) de la trampa de grasa, y se realizaron 3 campañas de muestreo.



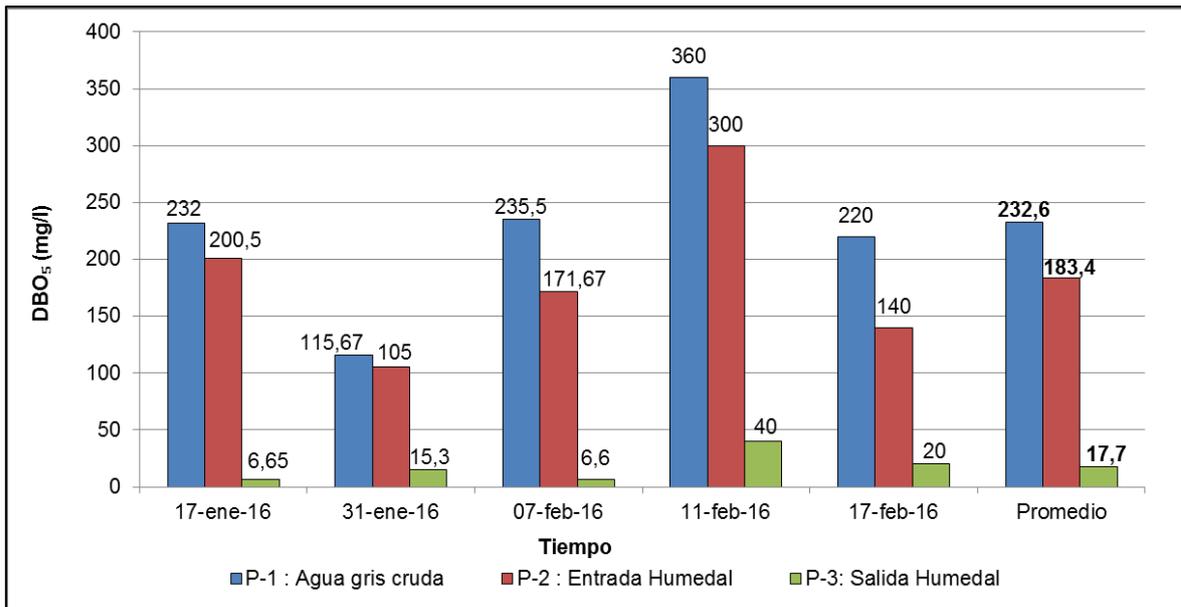
**Figura 11: Variación temporal de Aceites y grasas**

Se aprecia que de las tres campañas realizadas solo en dos campañas se obtuvieron valores sobre el límite de detección de la metodología (0.5 mg/l) en las aguas grises crudas, sin embargo se ha considerado todas las campañas para el cálculo del promedio.

Los Aceites y grasas al ingreso de la trampa (P-1) es de 17.4 mg/l, el cual se ha reducido a 1.8 mg/l a la salida de la trampa (P-2), alcanzando una eficiencia del 90 % (ver Tabla 16). El diseño de la trampa de grasa presenta una pantalla de concreto a manera de barrera (ver Anexo 2- plano de trampa de grasa) permitiendo que la eficiencia sea alta, lo cual también se aprecia visualmente durante el trabajo de campo (ver Anexo 1.7).

#### e) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

En la Figura 12, se observan los valores de DBO<sub>5</sub> en los puntos de muestreos.



**Figura 12: Variación temporal de la demanda bioquímica de oxígeno**

La DBO<sub>5</sub> del agua residual cruda (P-1) fue en promedio 232.6 mg/l, teniendo un valor máximo de 360 mg/l y mínimo de 115.67 mg/l. En el punto P-2 correspondiente al agua a la salida de la trampa de grasa se obtuvo un promedio de 183.4 mg/l, con un máximo de 300 mg/l y mínimo 105 mg/l. Asimismo, el agua gris tratada tiene una DBO<sub>5</sub> promedio de 17.7 mg/l con un máximo de 40 mg/l y mínimo 6.6 mg/l.

Según Romero (2004), menciona que normalmente se diseñan trampas de grasas con tiempos de retención de 15 a 30 minutos; sin embargo, la trampa de grasa del sistema materia de la presente investigación presenta modificaciones en el diseño, teniendo un tiempo de retención mayor, por lo cual la eficiencia de remoción promedio de DBO<sub>5</sub> en la trampa de grasa es de 21% (ver Tabla 16), siendo mayor de lo esperado en una trampa de grasa que se diseña para solo remover aceites y grasas.

Sin embargo, el valor de remoción (21%) de DBO<sub>5</sub> en la trampa de grasa se encuentra por debajo del rango de remoción en sedimentadores (entre el 25% y 40% de la DBO<sub>5</sub>) mencionado por UNAD (2016), esto se explica que si bien existe un sobredimensionamiento en la unidad esta no consigue las remociones que se conseguirían con un tanque de sedimentación o séptico, que es la unidad recomendada para aguas grises previo a su tratamiento en un humedal artificial.

Adicionalmente, el valor de remoción obtenido (21%) es muy similar al 23% de eficiencia de remoción en un tanque de sedimentación, reportado por Espinoza (2011).

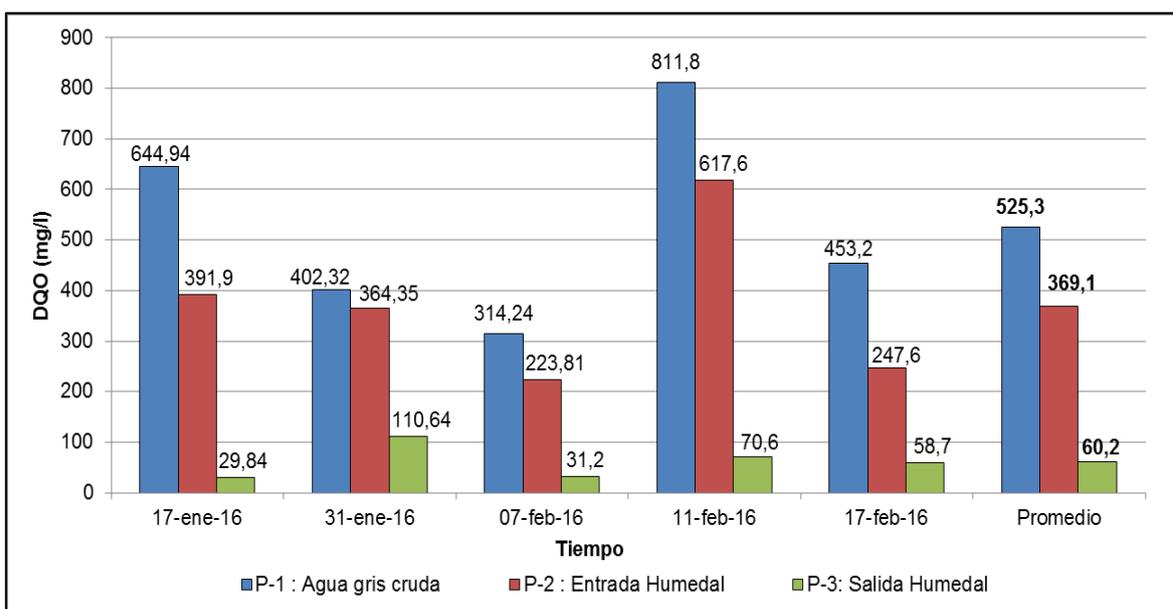
Morel y Diener (2006), establecen que un humedal subsuperficial de flujo horizontal remueve entre 80 a 90% la DBO<sub>5</sub>, el humedal horizontal tuvo un desempeño de remoción de 90.3% (ver Tabla 16) de la DBO<sub>5</sub> estando dentro del rango teórico mencionado. Además, la DBO<sub>5</sub> (17.7 mg/l) del agua tratada (P-3) cumple lo indicado por García y Corzo (2008), que indica los humedales artificiales producen efluentes con concentraciones menores de 20 mg/l.

La eficiencia de remoción obtenida (90.3%) supera lo reportado por Espinoza (2011) que es 84% para un humedal artificial horizontal para el tratamiento de aguas grises. Pero menores a lo reportado por Duran et. al. (2014) que es 96.39% para un humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas grises.

La eficiencia de remoción de todo el sistema es de 92.4% para la DBO<sub>5</sub> (ver Tabla 16).

#### f) Demanda química de oxígeno (DQO)

En la Figura 13, se observan los valores de DQO en los puntos de muestreos.



**Figura 13: Variación temporal de la demanda química de oxígeno**

La DQO del agua residual cruda (P-1) fue en promedio 525.3 mg/l, teniendo un valor máximo de 811.8 mg/l y mínimo de 314.24 mg/l. En el punto P-2 correspondiente al agua a la salida de la trampa de grasa se obtuvo un promedio de 369.1 mg/l, con un máximo de 617.6 mg/l y mínimo 223.81 mg/l. Asimismo, el agua gris tratada tiene una DQO promedio de 60.2 mg/l con un máximo de 110.64 mg/l y mínimo 29.84 mg/l.

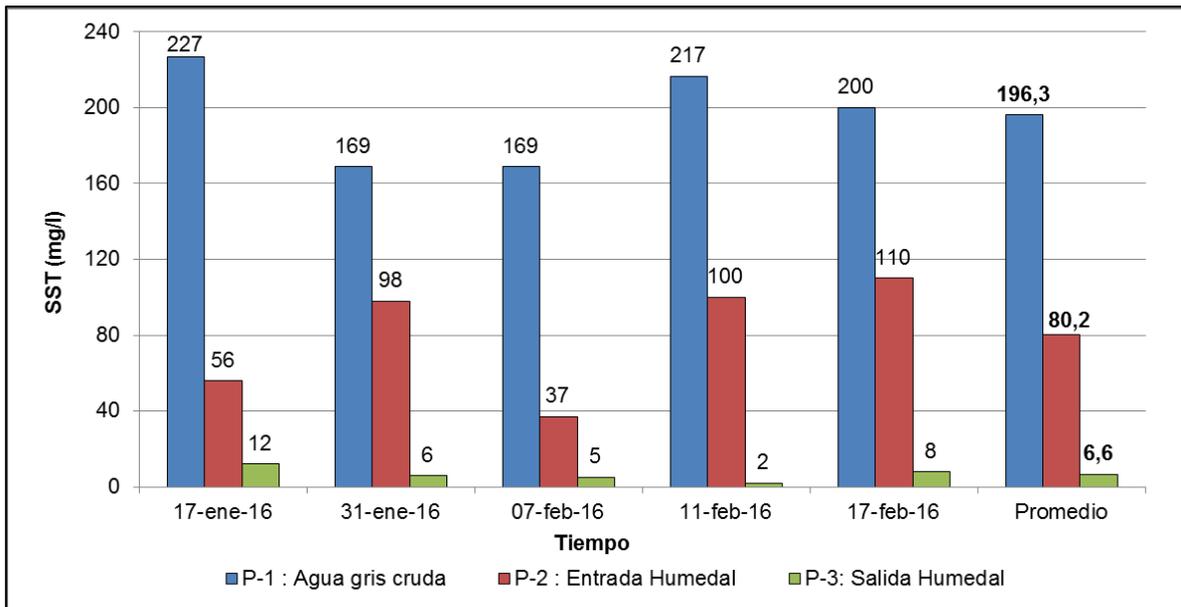
La eficiencia de remoción para la trampa de grasa es de 30% y para el humedal artificial de flujo horizontal es de 83.7%; obteniéndose una eficiencia de remoción en todo el sistema de 88.5%.

La remoción obtenida por la trampa de grasa (30%) fue mayor a lo reportado por Espinoza (2011), que obtuvo eficiencia de 13.6 % en el pretratamiento (Tanque de sedimentación).

Para la remoción de DQO (83.7%) en el humedal artificial horizontal, se obtuvo un valor muy similar a lo reportado por Espinoza (2011) que fue 81.8% de DQO para aguas grises; y menor para lo presentado por Duran et. al. (2014) que fue 95.2 % para la DQO en un humedal artificial vertical para tratamiento de aguas grises.

#### **g) Sólidos suspendidos totales**

En la Figura 14 se aprecian los valores de Sólidos suspendidos totales (SST) para los puntos de muestreo durante el periodo de monitoreo.



**Figura 14: Variación temporal de los Sólidos suspendidos totales**

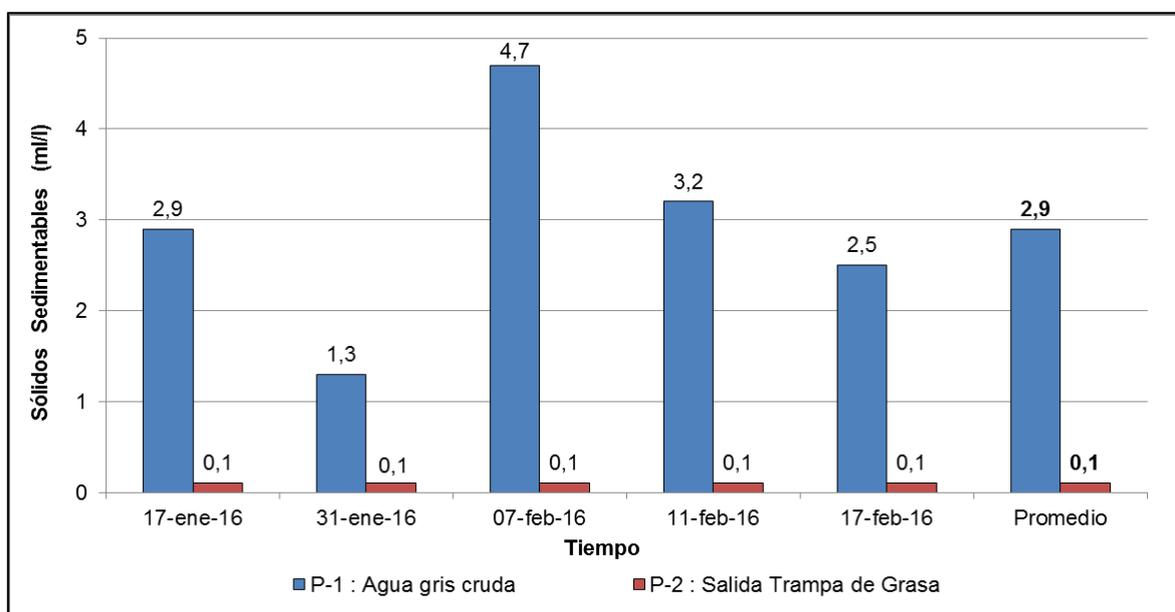
Los valores promedios obtenidos del monitoreo son 196.3, 80.2 y 6.6 mg/l para los puntos P-1, P-2 y P-3 respectivamente. Se aprecia cambios significativos entre cada punto de muestreo. La trampa de grasa presentó una remoción de 59% y para el humedal artificial de flujo horizontal es de 91.8%; obteniéndose una eficiencia de remoción en todo el sistema de 96.6%.

Los sedimentadores primarios empleados como pretratamiento del agua residual, remueven entre el 50% y el 70% de sólidos suspendidos (UNAD, 2016). Además, según Hoffmann et. al. (2011) alrededor del 60% de los sólidos suspendidos en el agua residual se eliminan en la fase del tratamiento primario, y como objetivo es tener menos de 100 mg/l de SST antes del ingreso al humedal de flujo subsuperficial. Los resultados obtenidos (59%) en la presente investigación cumplen con lo mencionado anteriormente.

Morel y Diener (2006), establecen que un humedal subsuperficial de flujo horizontal remueve entre 80 a 95% de los SST, el humedal horizontal tuvo un desempeño de remoción de 91.8% (ver Tabla 16) de los SST estando dentro del rango teórico mencionado. La eficiencia de remoción es alta debido a los procesos de filtración y degradación biológica en el humedal.

## h) Sólidos sedimentables

En la Figura 15 se observa los valores de sólidos sedimentables en los puntos de muestreo, para el parámetro solo se consideró al ingreso (P-1) y salida (P-2) de la trampa de grasa.



**Figura 15: Variación temporal de los sólidos sedimentables**

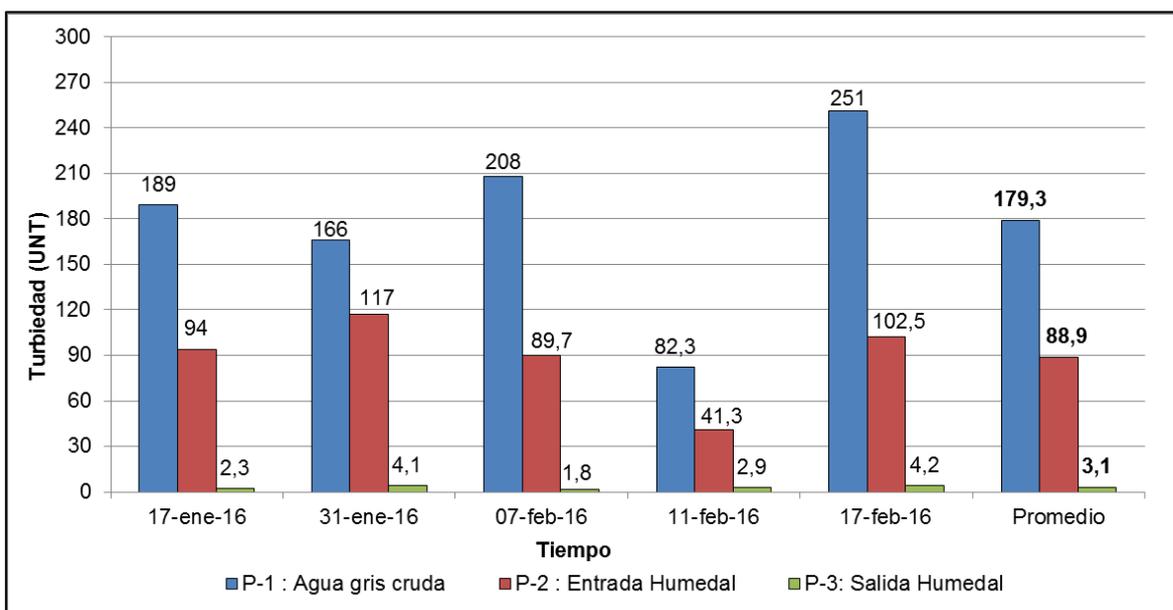
Como se observa los sólidos sedimentables presentaron valores entre 1.3 a 4.7 ml/l con un promedio de 2.9 ml/l al ingreso de la trampa de grasa; y fue reducido hasta menos de 0.1 ml/l en todas las campañas de monitoreo.

Es importante mencionar que el método de ensayo tiene como valor detectable 0.1 ml/l, y en todos los ensayos de laboratorio nunca se sobrepasó el valor; sin embargo se considera el valor de 0.1 ml/l para la estimación del porcentaje de remoción.

Como se aprecia en la Tabla 16, la remoción promedio de los sólidos sedimentables en la trampa de grasa fue de 97%, esto se debe a que la trampa de grasa tiene un tiempo de retención hidráulico de 0.7 días (16.8 horas), siendo superior a los 15 a 30 minutos recomendado en una trampa de grasas (Romero, 2004), demostrando que en la unidad también se realiza parcialmente sedimentación.

## i) Turbiedad

En la Figura 16 se observan los valores de turbiedad obtenidos durante el periodo de monitoreo.



**Figura 16: Variación temporal de la turbiedad**

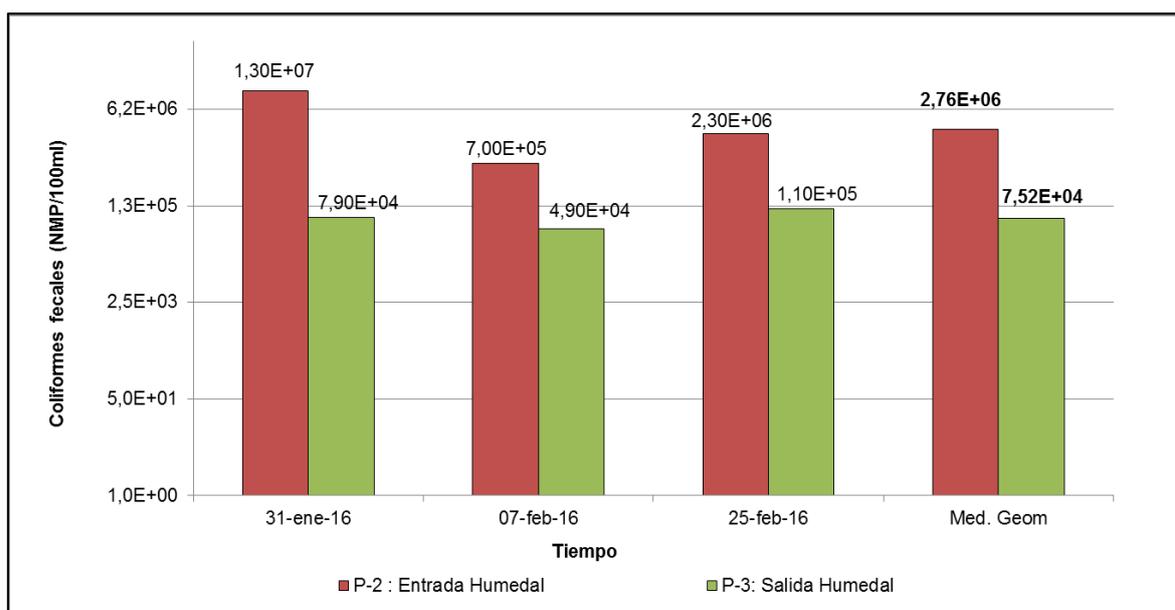
En la Figura 16 se aprecia que los niveles de turbiedad del agua gris cruda (P-1) varían entre 82.3 a 251 unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) con un promedio de 179.3 UNT. Asimismo, se aprecia que los valores a la salida de la trampa de grasa o ingreso al humedal (P-2) varían entre 41.3 a 117 UNT con un promedio de 88.9 UNT dando una remoción del 50% de la turbiedad en la trampa de grasa.

A la salida del humedal (P-3) el valor promedio fue de 3.3 UNT, la alta remoción de la turbiedad se debe al proceso de filtración biológica que tiene el humedal. A manera de referencia, La DIGESA (2011), considera que el agua potable debe tener un máximo de 5 UNT como límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica, esto implica que el agua tratada en sistema tiene una apariencia similar al agua potable, demostrando una calidad visual adecuada.

## j) Coliformes fecales

La Figura 17 grafica los resultados obtenidos para el indicador microbiológico Coliformes termotolerantes o fecales, los cuales solo han sido muestreados al ingreso (P-2) y salida (P-3) del humedal.

Las muestras tomadas el 17-ene-2016 y 12-feb-2016 fueron analizadas por el Laboratorio de ecología microbiana y biotecnología Marino Tabusso, y reportaron valores (ver en Anexo 5) que sobrepasaron los límites de detección de su metodología, y debido a que el laboratorio no reporto valores exactos no han sido considerados dentro de los cálculos de la media geométrica ni de los porcentajes de remoción, asimismo no han sido colocados en la Figura 17.



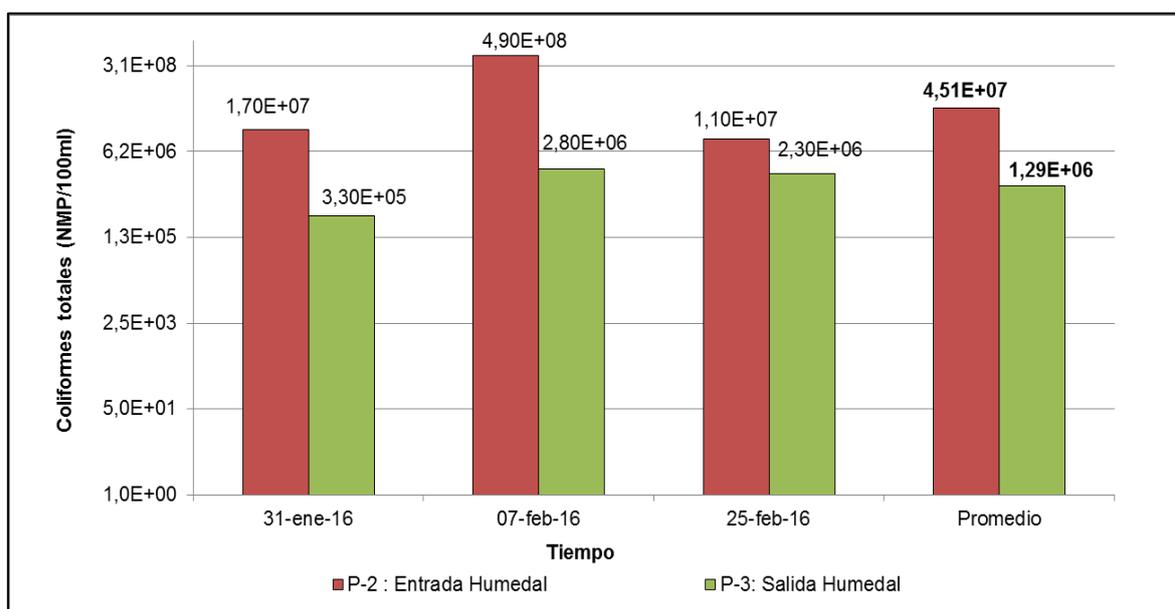
**Figura 17: Variación temporal de los Coliformes fecales**

El valor promedio obtenido es de  $2.76 \times 10^6$  NMP/100ml al ingreso del humedal (P-2), que también se puede considerar como el valor del agua gris cruda (P-1), debido a que la trampa de grasa no se considera una unidad que reduzca los niveles de contaminación microbiológica. Para el agua gris a la salida del humedal (P-3) se obtuvo un valor promedio de  $7.52 \times 10^4$  NMP/100ml.

La eficiencia de remoción del humedal artificial es de 97.3 % o aproximadamente 2 unidades logarítmicas durante el periodo de evaluación y se encuentra dentro de lo establecido por García y Corzo (2008), que mencionan que la remoción en humedales horizontales y verticales varía entre 1 y 2 unidades logarítmicas/100ml aproximadamente,

### k) Coliformes totales

La Figura 18 grafica los resultados obtenidos para el indicador microbiológico Coliformes totales, los cuales solo han sido muestreados al ingreso (P-2) y salida (P-3) del humedal. De igual manera que en los coliformes termotolerantes se descartaron los resultados de las muestras tomadas el 17-ene-2016 y 12-feb-2016.



**Figura 18: Variación temporal de los Coliformes totales**

El valor promedio obtenido es de  $4.15 \times 10^7$  NMP/100ml al ingreso del humedal (P-2), que también se puede considerar como el valor del agua gris cruda (P-1), debido a que la trampa de grasa no se considera una unidad que reduzca los niveles de contaminación microbiológica. Para el agua gris a la salida del humedal (P-3) se obtuvo un valor promedio de  $1.29 \times 10^6$  NMP/100ml.

La eficiencia de remoción del humedal artificial es de 97.3 % o aproximadamente 2 unidades logarítmicas durante el periodo de evaluación y se encuentra dentro de lo establecido por García y Corzo (2008), que mencionan que la remoción en humedales horizontales y verticales varía entre 1 y 2 unidades logarítmicas/100ml aproximadamente.

## **D) Otros parámetros**

Se evaluaron otros parámetros en el agua tratada (P-3) en una sola campaña de manera referencial. El fósforo soluble y los nitratos presentan valores de 1.4 mg/l y 0.77 mg/l respectivamente, los valores bajos se pueden explicar al consumo de los nutrientes por la vegetación del humedal. Con respecto, a los parásitos no se detectó en los análisis del laboratorio en la calidad del agua gris tratada.

### **4.1.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para el análisis estadístico se determinaron las estadísticas descriptivas (media, desviación estándar, varianza, coeficiente de variabilidad, mínimo, máximo y mediana), además se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y el método de comparación de Tuckey, el cual se realizó con un intervalo de confianza del 95 por ciento; para la ejecución de análisis estadístico se usó el programa Minitab 16. Los resultados de prueba de comparación de Tuckey agrupan las variables con letras (A, B, C, etcétera), donde las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (ver Anexo 8).

Con respecto a la temperatura, conductividad eléctrica, aceites y grasas, coliformes fecales y coliformes totales no presentan diferencias significativas entre todos los puntos de muestreos. El enunciado se interpreta que el sistema no ha modificado a estas variables lo cual es coherente respecto a los parámetros in situ, sin embargo en el caso de los coliformes se debe a los altos valores que presenta en todo el sistema.

El pH no presenta diferencias significativas entre P-2 y P-3, pero si hay diferencias significativas con respecto a P-1. Es importante mencionar que las diferencias son estadísticas; sin embargo, al tratarse de variaciones decimales no implican cambios considerables químicamente. La DBO<sub>5</sub> y DQO no presenta diferencias significativas entre P-1 y P-2, pero si hay diferencias significativas con respecto a P-3. Se interpreta que la trampa de grasa no ha removido significativamente los parámetros mencionados, sin embargo, si se removió considerablemente en el humedal artificial. Los sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables y la turbiedad presentan diferencias significativas entre todos sus puntos de muestreo (P-1, P-2 y P-3). El enunciado se interpreta que tanto la trampa de grasa como el humedal remueven considerablemente los parámetros mencionados.

## 4.2. PARÁMETROS OPERACIONALES Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

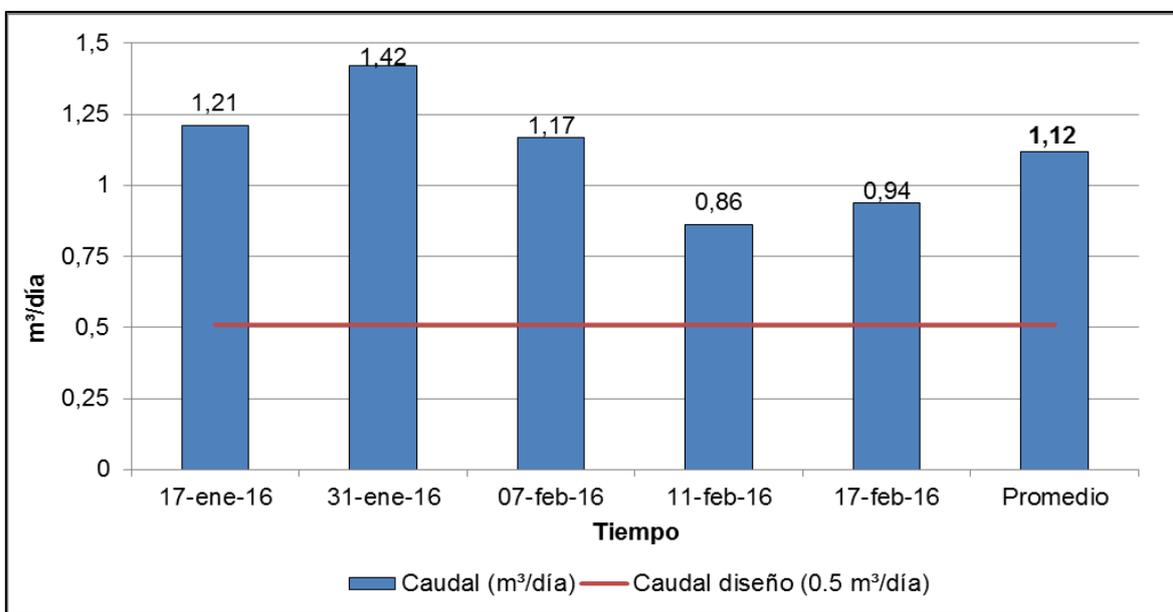
Los resultados obtenidos de las ensayos de laboratorio, así como los cálculos en base a datos obtenidos durante la evaluación; se usaron para determinar los parámetros operacionales y características del sistema se presentan a continuación.

### 4.2.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES

Se determinaron parámetros operacionales para cada unidad de tratamiento, así como el caudal de ingreso al sistema, los cuales serán descritos a continuación. Asimismo, estos son comparados con los parámetros de diseño y valores teóricos de ser el caso.

#### 4.2.1.1. CAUDAL PROMEDIO ( $Q_P$ )

Los caudales promedios calculados en base a las mediciones obtenidas en campo se muestran en la Figura 19.



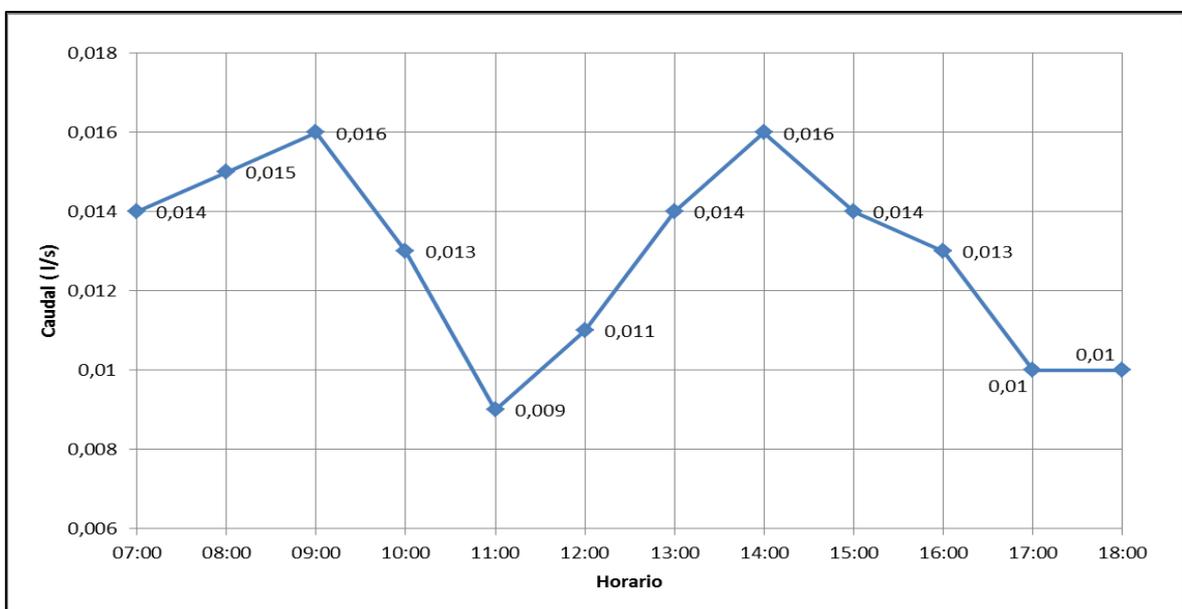
**Figura 19: Variación temporal del Caudal de tratamiento**

El caudal de ingreso al sistema de tratamiento es en promedio  $1.12 \text{ m}^3/\text{día}$  ( $0.013 \text{ l/s}$ ), presentando un valor máximo y mínimo diario de  $1.42 \text{ m}^3/\text{día}$  ( $0.0164 \text{ l/s}$ ) y  $0.86 \text{ m}^3/\text{día}$

(0.010 l/s) respectivamente. Además, como se aprecia en la Figura 18, en todas las mediciones se ha superado el caudal de diseño ( $0.51 \text{ m}^3/\text{día}$ ) teniendo un exceso de caudal de 119 % en promedio.

Asimismo, la tres primeras mediciones se realizaron en fines de semana (domingo) y se observan mayores caudales en comparación a las dos últimas mediciones realizadas en días de semana (miércoles y jueves), el promedio de caudal para los fines de semana es de  $1.27 \text{ m}^3/\text{día}$  y durante la semana es  $0.9 \text{ m}^3/\text{día}$ , lo cual implica que en los fines de semana se tiene un aumento del caudal en un 40 % aproximadamente. Esto se explica debido a que durante los fines de semana hay mayor permanencia de la personas en la viviendas, así como también se realizan mayores actividades domésticas como el lavado de ropa.

En la Figura 20, se aprecia la variación horaria de los caudales instantáneos medidos con el método volumétrico, como se aprecia a aproximadamente las 9:00 horas y 14:00 horas se ha tenido mayores picos; esto puede explicarse a que se trata de lavaderos multiusos y durante el lavado de los utensilios y vajilla es probable se consuma mayor cantidad de agua en los lavaderos.



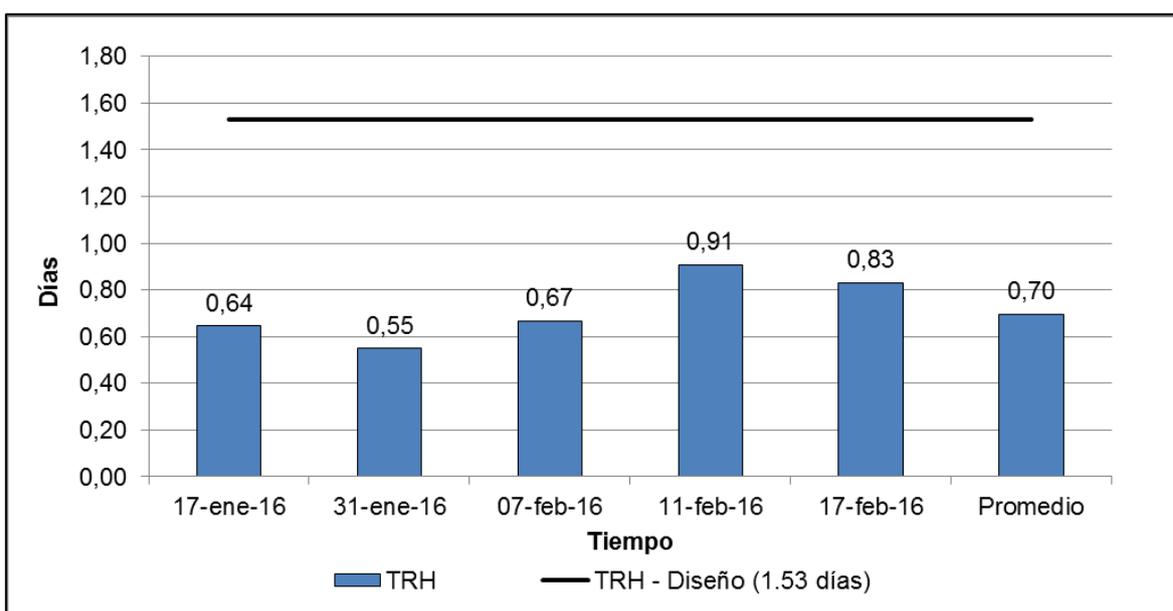
**Figura 20: Variación horaria del caudal**

#### 4.2.1.2. PARÁMETROS OPERACIONALES DE LA TRAMPA DE GRASA

Para la trampa de grasa solo se consideró como parámetro el tiempo de retención hidráulico.

##### a) Tiempo de retención hidráulico

En la Figura 21, se visualizan los valores estimados del tiempo de retención hidráulica en la trampa de grasa y su comparación con el valor de diseño.



**Figura 21: Variación temporal del tiempo de retención hidráulico – Trampa de grasa**

El tiempo de retención hidráulico teórico en la trampa de grasa supera lo recomendado por Romero (2004) de 15 a 30 minutos, esto permite deducir que hubo un sobredimensionamiento de la trampa de grasa.

Durante todo el periodo de evaluación se ha obtenido tiempos de retención menores al valor de diseño, lo cual se explica por el aumento del caudal.

#### 4.2.1.3. PARÁMETROS OPERACIONALES DEL HUMEDAL ARTIFICIAL

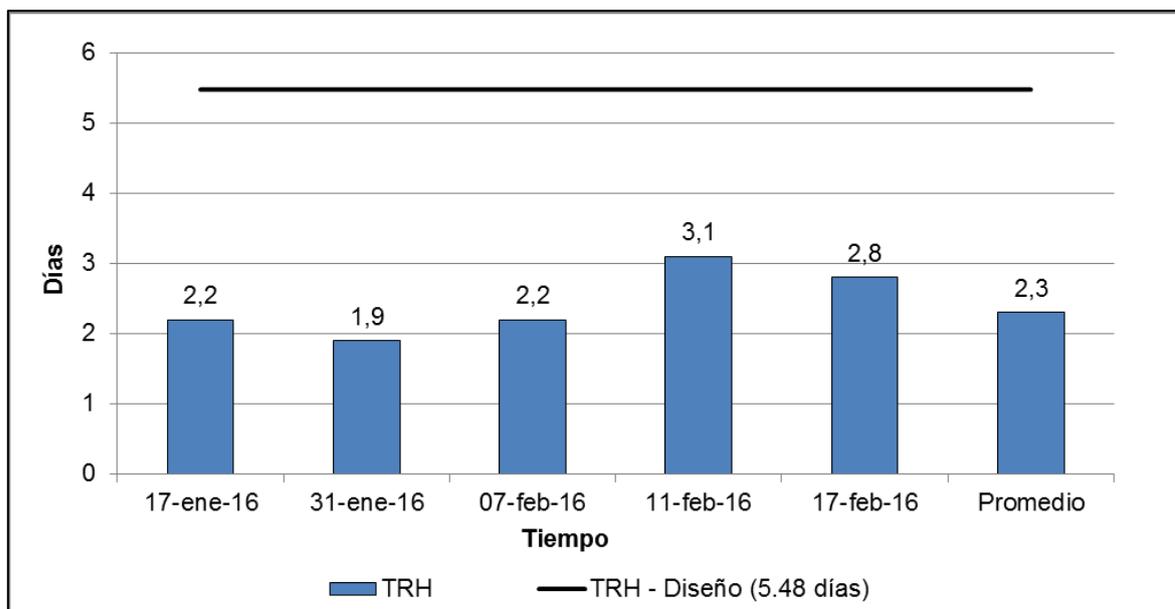
En la Tabla 17, se aprecia los resultados de la medición y cálculo de los parámetros operacionales del humedal artificial. Los cálculos detallados se aprecian en el Anexo 6.

**Tabla 17: Parámetros operacionales del humedal artificial**

FECHA	Caudal promedio (m <sup>3</sup> /día)	Tiempo de retención hidráulico (días)	Carga Hidráulica (mm/día)	Carga organica (g.DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> .día)	Superficie específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> .día)	Personas equivalentes (PE)
17-ene-16	1,21	2,2	104	20,9	9,6	5
31-ene-16	1,42	1,9	122	12,9	8,2	3
07-feb-16	1,17	2,2	101	17,3	9,9	4
11-feb-16	0,86	3,1	74	22,2	13,5	5
17-feb-16	0,94	2,8	81	11,3	12,3	3
<b>Promedio</b>	<b>1,12</b>	<b>2,3</b>	<b>97</b>	<b>17,7</b>	<b>10,4</b>	<b>4</b>

##### a) Tiempo de retención hidráulico

En la Figura 22, se visualizan los valores estimados del tiempo de retención hidráulica en el humedal artificial horizontal y su comparación con el valor de diseño.



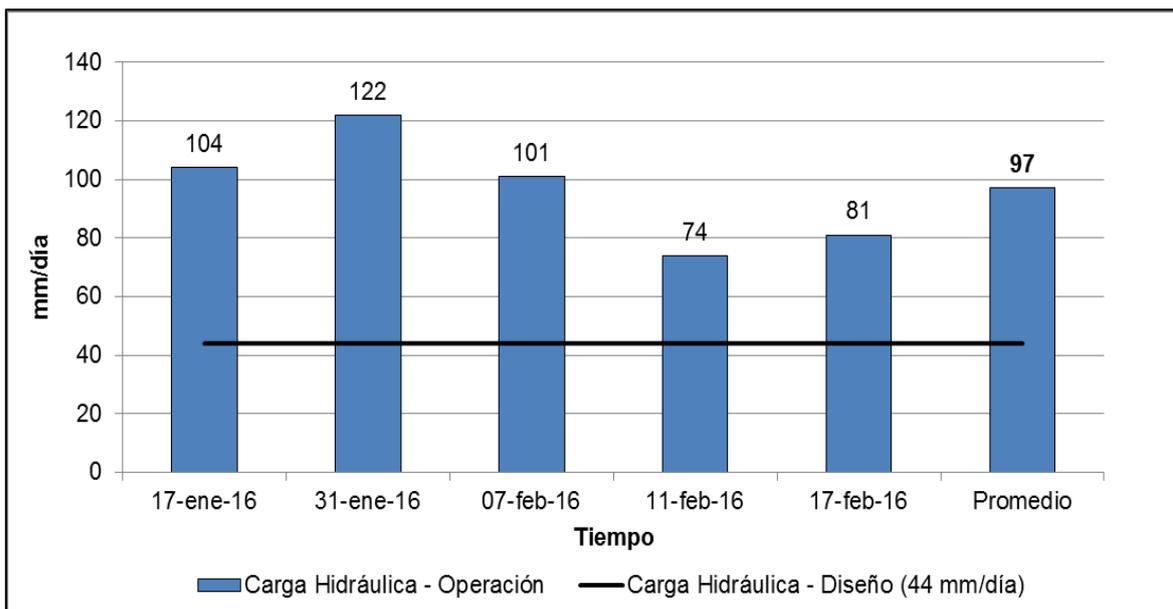
**Figura 22: Variación temporal del tiempo de retención hidráulico - Humedal**

El tiempo de retención hidráulico promedio en el humedal artificial es de 2.3 días (55.2 horas) teniendo como máximo 3.1 días (74.4 horas) y un mínimo de 1.9 días (45.6 horas), ver Tabla 17. El tiempo de retención hidráulico de diseño fue de 5.48 días (131.52 horas) lo cual implica que el humedal no funciona al tiempo adecuado para el tratamiento según su diseño, esto se explica debido al incremento del caudal de tratamiento disminuye su tiempo retenido en el filtro del humedal.

Según Metcalf & Eddy (1998), el tiempo de retención hidráulica recomendado en humedales de flujo subsuperficiales es de 4 a 15 días. Asimismo, Brix (1998) recomienda que sea mayor a 5 días para humedales de flujo horizontal.

### b) Carga hidráulica superficial

En la Figura 23, se visualizan los valores calculados de la carga hidráulica superficial en el humedal artificial horizontal y su comparación con el valor de diseño.



**Figura 23: Variación temporal de la carga hidráulica superficial**

Como se aprecia en la Figura 23, la carga hidráulica superficial calculada tiene en promedio 97 mm/día (97 l/m<sup>2</sup>.día), presentando como máximo 122 mm/día y un valor mínimo de 74 mm/día. El valor de diseño es de 44 mm/día, lo cual implica que el sistema opera a una mayor carga hidráulica, esto se explica por el aumento del caudal de

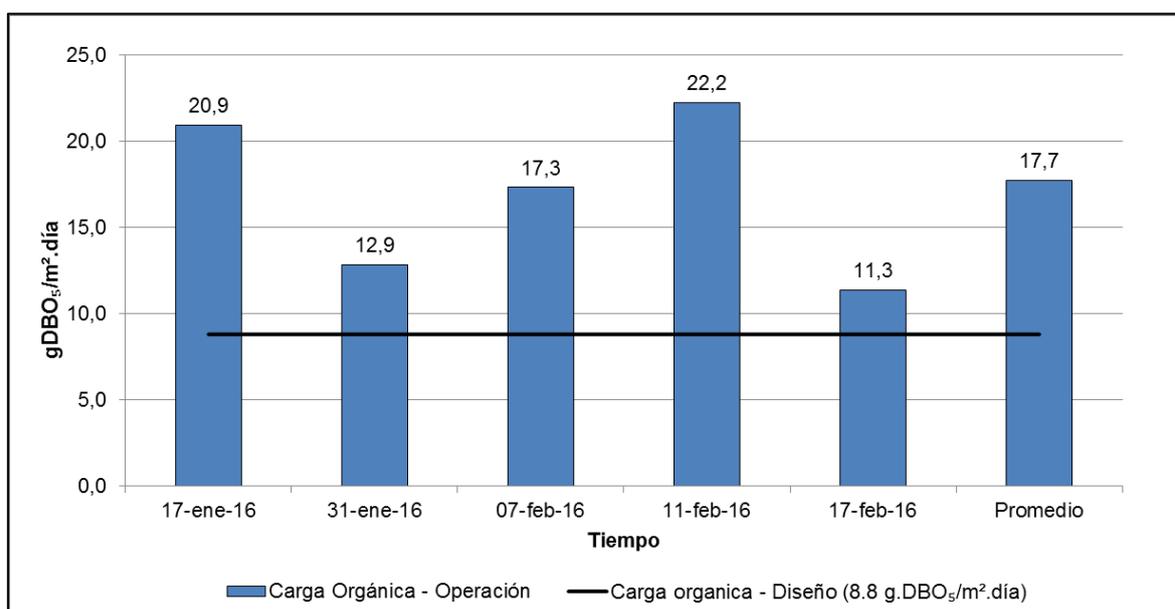
tratamiento, y también presenta relación con la reducción del tiempo de retención hidráulico.

Hoffmann et. al. (2011) menciona que la carga hidráulica de aguas grises oscila entre 60 y 80 mm/d (Wood, 1995; Ridderstolpe, 2004; Morel y Diener, 2006) mientras que aguas residuales tiene una carga de 40 mm/d.

Sin embargo, Hoffmann et. al. (2011) explica que el factor limitante es la carga orgánica, lo que significa que probablemente las aguas grises con baja carga orgánica (de las duchas o lavandería), se puedan aplicar incluso con mayores cargas hidráulicas en los humedales de flujo horizontal.

### c) Carga orgánica

En la Figura 24, se visualizan los valores calculados de la carga orgánica en el humedal artificial horizontal y su comparación con el valor de diseño.



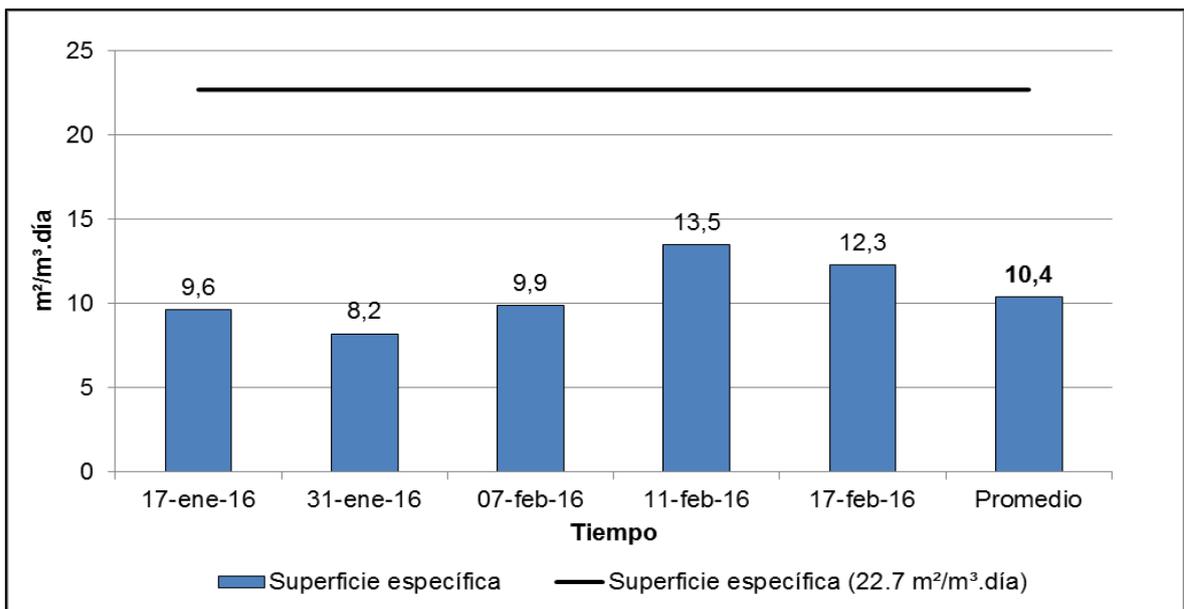
**Figura 24: Variación temporal de la carga orgánica**

La carga orgánica promedio es de 17.7 gDBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.día, presentando un valor mínimo de 11.3 gDBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.día y un valor máximo de 22.2 gDBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.día. El valor de diseño es 8.8 gDBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.día; y como se observa en la Figura 24 ha sido superado durante todo el periodo de evaluación del humedal artificial.

Según Brix et. al. (1998), la carga orgánica para humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal debe ser menor a 15 gDBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.día, los resultados obtenidos solo cumplieron con la condición mencionada en los días 31-ene-2016 y 17-feb-2016, para las otras 3 campañas de monitoreo se superaron las recomendaciones por Brix. Otro autor UTEP & EPA (1993), recomienda valores menores a 18 gDBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.día, para este caso el valor promedio se encuentra dentro de lo recomendado.

#### d) Superficie específica

En la Figura 25, se visualizan los valores calculados de la superficie específica en el humedal artificial horizontal y su comparación con el valor de diseño.

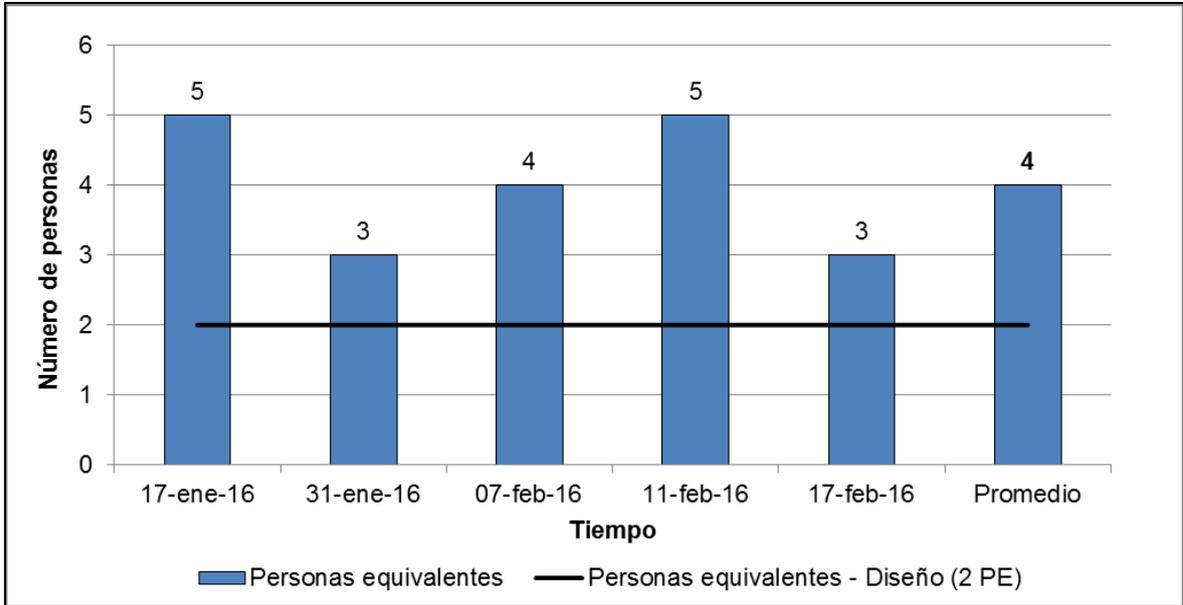


**Figura 25: Variación temporal de la superficie específica**

La superficie específica es la inversa de la carga hidráulica, por ende debido al aumento de la carga hidráulica, la superficie específica se encuentra por debajo del valor de diseño (22.7 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.día) durante el periodo de evaluación, se obtuvo un promedio de 10.4 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.día. Según UTEP & EPA (1993), la superficie específica en humedales artificiales varía entre 7 a 33 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.día.

### e) Personas equivalentes

En la Figura 26, se visualizan los valores calculados de personas equivalentes en el humedal artificial horizontal y su comparación con el valor de diseño.



**Figura 26: Variación temporal de las personas equivalentes**

Como se aprecia en la Figura 26, la población o habitantes equivalentes promedio del humedal artificial es 4, siendo el doble de lo estimado en diseño (2 PE). El área del humedal horizontal es de  $11.6 \text{ m}^2$ , lo cual implica que la relación Área – PE es  $2.9 \text{ m}^2/\text{PE}$ .

Según Hoffmann et. al. (2011), el área de superficie específica requerida es de unos 3 a  $10 \text{ m}^2/\text{PE}$  dependiendo de la temperatura y de la carga específica, En climas cálidos el área requerida es menor debido a la mayor actividad biológica. En climas fríos el valor de cálculo mínimo no debe ser inferior a los  $5 \text{ m}^2/\text{PE}$ . Lima se considera una ciudad con clima cálido por lo cual el valor obtenido en la evaluación del humedal ( $2.9 \text{ m}^2/\text{PE}$ ) es muy cercano a lo recomendado por Hoffmann et. al. (2011).

#### 4.2.2. CARACTERIZACIÓN DE LODOS

En la Tabla 18, se muestran los resultados de la caracterización de lodos de la trampa de grasa.

**Tabla 18: Caracterización de lodos**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Producción de lodos	l/día	3.2
Sólidos totales	mg/l	4313
Parásitos <sup>1</sup>	Nº/100 ml	11

Para la estimación de la producción de lodos, se ha realiza un cálculo simple, multiplicando los sólidos sedimentables (2.9 ml/l) por el caudal promedio (1.12 m<sup>3</sup>/día); obteniéndose 3.2 litros por día. Este valor debe ser considerado como referencial, Además debido a que los sólidos sedimentables a la salida de la trampa de grasa es menor a 0.1 ml/l no fue considerado para el cálculo.

Asimismo, se obtuvieron valores de parásitos en la muestra recolectada, aun tratándose de un agua gris proveniente únicamente de lavaderos, probablemente se debe a malas prácticas de uso del lavadero por parte de los usuarios; sin embargo, no el resultado agrupa a helmintos como protozoarios patógenos por lo cual no se puede discriminar si existe solo parásitos propios del ser humano.

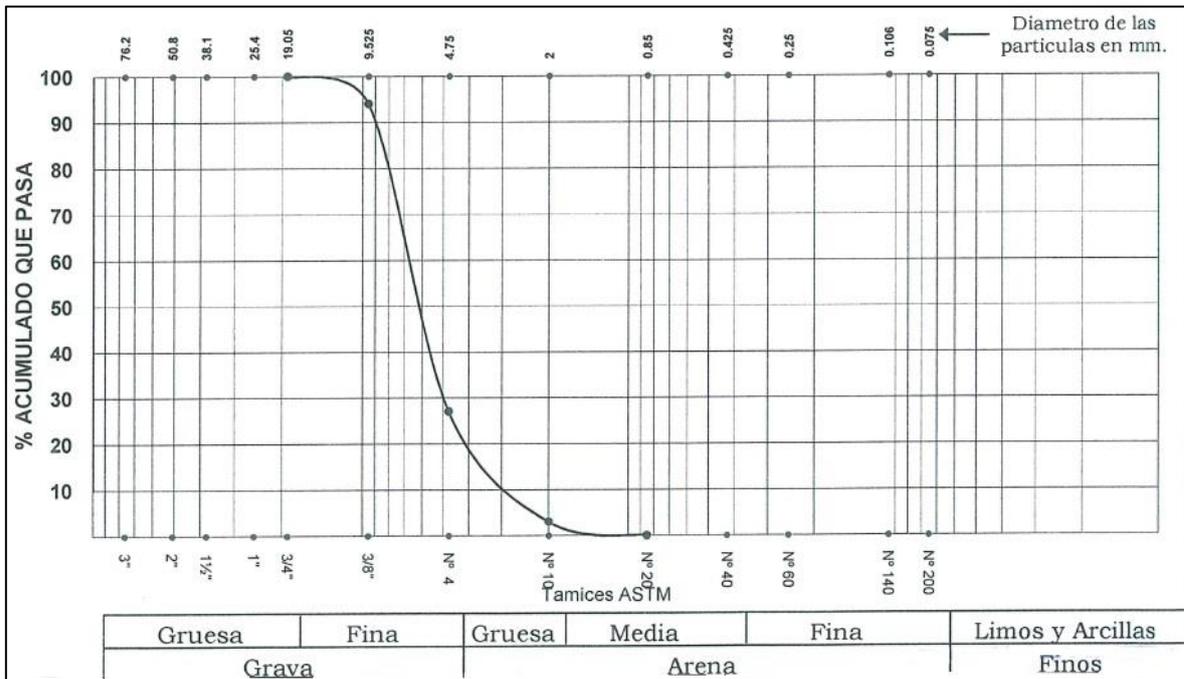
El diseño de una trampa de grasa tiene como objetivo solo la remoción de los aceites y grasas mediante procesos de separación por densidad; sin embargo en el sistema evaluado se han retenido sólidos formando lodos en el fondo de la trampa de grasa.

#### **4.2.3. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO**

Los resultados del análisis granulométrico por tamizado se aprecian en el Anexo 7, la curva granulométrica se visualiza en la Figura 27. En el Anexo 1.36 se aprecia el filtro usado y en el Anexo 1.37 se aprecia el material usado en la entrada y salida del humedal.

---

<sup>1</sup> Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos



**Figura 27: Curva granulométrica del filtro del humedal**

Como se aprecia en la Figura 26 y en el Anexo 7, el filtro está compuesto principalmente por grava (73%), y arena gruesa (27%). Asimismo, las demás características del filtro se muestran en la Tabla 19.

**Tabla 19: Características del filtro del humedal**

Característica	Unidad	Valor
Finos	%	0
Diámetro efectivo ( $d_{10}$ )	mm	2.8
Coefficiente de uniformidad (CU)	-	2.5
Conductividad hidráulica ( $K_s$ )	$m^3/m^2 \cdot día$	1530
Porosidad	%	32.4

El porcentaje de fino es cero por ciento lo cual indica que el material no presenta polvo, sin embargo es importante mencionar que la muestra ha sido tomada durante el funcionamiento del sistema; y la acción de limpieza del agua sobre las partículas a removido el polvo.

Para los casos que se usa humedales con arena como filtro, Hofmann et. al (2011) recomienda que el diámetro efectivo ( $d_{10}$ ) se encuentre entre 0.1 a 0.4 mm, siendo ideal

que el valor se aproxime a 0.4 mm; esta recomendación se da principalmente para evitar problemas de colmatación por usar material de diámetro pequeño.

Sin embargo, la presente investigación evalúa un humedal con filtro de grava cuyo diámetro efectivo (2.8 mm) es mayor que el rango recomendado; esto último genera dos condiciones para el desempeño del humedal: primero no se debería presentar problemas por colmatación como consecuencia del mayor tamaño de las partículas; y segundo la eficiencia de tratamiento por filtración será menos eficiente con respecto a la arena.

Según Lambe et. al (2007) valores del coeficiente de uniformidad menores a 3 indican materiales muy uniformes, lo que indica que el filtro usado presenta uniformidad en los tamaños de partícula.

#### 4.2.4. EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL

El papiro paraguíta "*Cyperus alternifolius*" está adaptada al sistema adecuadamente, esto se refleja en su rápido crecimiento presentando un crecimiento promedio de 90 cm durante un mes de evaluación, llegando a obtener alturas de 1.5 metros, ver Tabla 20. Asimismo, el humedal artificial contiene 10 plantas en su área de 11.6 m<sup>2</sup>, lo cual implica una densidad de vegetación de 0.86 planta/m<sup>2</sup>. Finalmente, las raíces profundizaron hasta los 20 cm, ver Anexo 1.38 y 1.39.

**Tabla 20: Crecimiento de la vegetación del humedal**

Fecha	Altura	Observación
17-01-2016	0.3 - 0.6 m	Las plantas fueron cortadas el día anterior.
31-01-2016	0.8 – 1 m	Transcurrido dos semanas se apreció un crecimiento significativo en toda el área del humedal.
07-02-2016	1 – 1.3 m	Se observó crecimiento tanto en altura como en densidad de cada grupo de plantas.

<b>Fecha</b>	<b>Altura</b>	<b>Observación</b>
12-02-2016	1 – 1.4 m	Ligero crecimiento en comparación a la visita anterior.
17-02-2016	1.2 – 1.5 m	La vegetación cubre toda el área del humedal, además se observó la presencia de insectos (mariposas, hormigas entre otros) en el interior del humedal.

### **4.3. CUMPLIMIENTO DE CALIDAD DEL AGUA GRIS TRATADA CON FINES DE REUSO EN RIEGO DE ÁREAS VERDES**

A continuación se analiza si agua gris tratada cumple con las recomendaciones internacionales o nacionales.

#### **4.3.1. CUMPLIMIENTO DE LAS GUÍAS DE LA OMS**

Como se menciona en el punto 3.5 de la presente investigación, En el artículo 150 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (ANA, 2010) se señala que para la evaluación de las solicitudes de autorización de reúso de efluentes tratados, se deben tomar en cuenta los valores que establezca el sector correspondiente a la actividad a la cual se destinará el reúso del agua o que en su defecto se utilicen las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

El humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal fue implementado con la finalidad de realizar el tratamiento de aguas grises provenientes de lavaderos multiusos instalados en viviendas, el efluente es utilizado en el riego de áreas verdes que presentan las siguientes condiciones:

- Son arbusto o arboles (no se producen vegetales comestibles) sembrados en una ladera no transitable por la población, tiene la finalidad de ser una cobertura para evitar posibles desplazamientos de material del cerro, un beneficio adicional es mejorar la calidad visual por la presencia de las áreas verdes, sin embargo no es una zona transitable (ver Anexo 1.40 – 1.43)

- El sistema de reuso es mediante riego por goteo, por lo que el personal encargado del riego no está en contacto directo con el agua tratada (Ver Anexo 1.17 y 1.18).

Dada las condiciones anteriores y contrastándola con las condiciones de reuso de la Tabla 5 (Ver punto 2.5.1 de la presente documento) la categoría aplicable sería la C, es decir Riego de cereales, cultivos industriales, forrajes y árboles sin exposición de trabajadores y el público.

**Tabla 21: Cumplimiento de las directrices de la OMS (1989)**

Categoría (OMS, 1989)				Agua gris tratada (P-3)		Observaciones
				Valor	Condición	
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte, parques públicos.	Enteroparásitos (Huevo/l)	< 1	0	No cumple	No es la situación actual del reuso.
		Coliformes fecales (NMP/100ml)	< 1000	7.52x10 <sup>4</sup>		
B	Riego de cereales, cultivos industriales, forrajes, pastos y árboles	Enteroparásitos (Huevo/l)	< 1	0	Si cumple	No es la situación actual del reuso.
		Coliformes fecales (NMP/100ml)	Ningún estándar	7.52x10 <sup>4</sup>		
C	Riego localizado en cultivos de la categoría B, si no hay exposición de trabajadores y público.	Enteroparásitos (Huevo/l)	No es aplicable	0	Si cumple	Situación actual de reuso.
		Coliformes fecales (NMP/100ml)	No es aplicable	7.52x10 <sup>4</sup>		

En la Tabla 21, se han presentado todas las categorías según OMS (1989), sin embargo como se mencionó anteriormente la Categoría aplicable al actual reuso es la C; no obstante, se comparó con todas las categorías debido a que podría reusarse el agua tratada a otros tipo de vegetación en un futuro. Sin embargo, como se observa se cumple con la Categoría B por no tener restricción en coliformes fecales o termotolerantes, en cambio para la Categoría A no cumple con el límite de coliformes fecales.

Con respecto a la OMS (2006), esta guía no presenta valores límites establecidos pero establece la reducción necesaria de patógenos (Ver Tabla 6). La situación actual de riego del sistema evaluado presentaría el escenario de Riego localizado – Cultivo de tallo alto

por lo cual solo se considera cumplir con las recomendaciones para ese escenario, tal como se muestra en la Tabla 22.

**Tabla 22: Cumplimiento de las directrices de la OMS (2006)**

Escenario de exposición	Recomendación OMS (2006)	Valor	Medida de control realizada
Riego localizado (Cultivo de tallo alto)	Reducción necesaria de patógenos (unidades logarítmicas)	2	El sistema de tratamiento ha reducido aproximadamente 2 unidades logarítmicas. Cumpliendo con la recomendación
	Helmintos (huevos por litro)	Sin recomendación	No existe recomendación, sin embargo, el agua gris tratada no presenta Helmintos.

De la Tabla 22 se interpreta: según la OMS (2006) para reusar un agua residual mediante el riego localizado (por goteo) en un cultivo de tallo alto (se de consumo o no) debes reducir al menos en 2 unidades logarítmicas los patógenos del agua residual cruda, y no se considera si presenta o no huevos de helmitos.

Es importante mencionar que la OMS (2006) menciona como indicador de patógenos de origen fecal a la *Escherichia coli* y no los coliformes termotolerantes o fecales como lo hace la OMS (1989), sin embargo los coliformes termotolerantes es un grupo de bacterias que abarca a la *Escherichia coli* por ende si se cumple con el indicador coliformes termotolerantes se está cumpliendo con el indicado *Escherichia coli*.

Asimismo, para este escenario de exposición no se considera relevante la presencia de huevos de helmintos, esto se explica que por tratarse de un cultivo de tallo alto, presenta baja probabilidad de contaminación del fruto, debido a que el riego es directamente en la zona radicular.

Además la OMS (2006), recomienda tomar medidas adicionales (Ver Tabla 7) para asegurar la calidad sanitaria del producto, como muerte natural de patógenos, el lavado del producto, entre otros.

#### 4.3.2. COMPARACIÓN REFERENCIAL CON LOS ECA - AGUA

Existe normativa nacional que será comparado solo de manera referencial, debido a que no se aplica con las condiciones del presente sistema de tratamiento. En la Tabla 23, se comparan los ECA-Agua (D.S. 002-2008-MINAM) de la Categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales) con los resultados obtenidos en el efluente del sistema de tratamiento (P-3).

**Tabla 23: Comparación con los ECAs**

Parámetros	Unidad	ECA – Categoría 3 (Riego de vegetales)		Agua gris tratada (P-3)
		Tallo bajo	Tallo alto	
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1000	2000	$7.52 \times 10^4$
Coliformes totales	NMP/100ml	5000	5000	$1.29 \times 10^6$
Huevos de helmintos	Huevos/litro	< 1	< 1	0
DBO <sub>5</sub>	mg/l	15	15	17.7
DQO	mg/l	40	40	60.2
pH	Unidades de pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	7.53
Aceites y grasas	mg/l	1	1	-
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/l	10	10	0.77
Conductividad eléctrica	μS/cm	< 2000	< 2000	1228

Como se aprecia en la Tabla 23, el agua gris tratada no estaría cumpliendo con la calidad fisicoquímica (solo cumple con los parámetros pH, Nitratos y Conductividad eléctrica) ni microbiológica (solo cumple con los huevos de helmintos), sin embargo los ECAs-Agua están orientados para la calidad del agua en cuerpos naturales y no para aguas tratadas, por eso solo pueden ser considerados de manera referencial.

#### 4.4. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Para proponer mejoras en el sistema de tratamiento primero se realizó un diagnóstico de las unidades de tratamiento con la finalidad identificar los problemas del sistema. El mejoramiento se basa en dos aspectos, mejorar o corregir el diseño ya construido mediante la adición o modificación de las unidades de tratamiento; asimismo, replantear y mejorar las actividades de operación y mantenimiento.

#### **4.4.1. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

El diagnóstico se enfoca únicamente en el tratamiento de aguas residuales considerando el tratamiento primario (trampa de grasa), tratamiento secundario (humedal artificial) y el almacenamiento y reuso de las aguas residuales.

##### **4.4.1.1. TRAMPA DE GRASA**

Con respecto al diseño, operación y mantenimiento de la trampa de grasa, se ha identificado los siguientes problemas:

###### **a) Diseño incorrecto**

La ONG SEA (2012), diseñó la trampa de grasa considerando las recomendaciones de la norma IS.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones (MVCS, 2006), donde considero 8 litros por persona para la estimación del volumen útil de la trampa de grasa. Debido a que se trata de 15 viviendas con una densidad de 6 habitantes por vivienda, dio un total de 90 habitantes; por ende, el volumen fue de 720 litros, el que fue redondeado a 780 litros.

Sin embargo la recomendación de 8 litros por persona de la Norma IS.020, es considerada para una persona considerando su consumo total de agua por día, es decir para la totalidad de las aguas residuales generadas; sin embargo, el sistema fue diseñado solo para las aguas grises que provenientes del lavadero multiuso, por ende no debió considerarse la población total, y el volumen de la trampa de grasa debería ser menor, permitiendo solo retener los aceites y grasas, esto es confirmado debido a que presenta un tiempo de retención hidráulico de 1.53 días de diseño, siendo lo recomendado por Romero (2004) un tiempo de 15 a 30 minutos para retener las grasas y aceites.

No obstante, el diseño inicial no consideraba un tanque séptico u otra unidad como tratamiento primario, por lo que era probable que el sistema colapsara durante su operación, esto debido a que no habría remoción de sólidos y el humedal presentaría problemas de colmatación en la zona de entrada. El sobredimensionamiento de la trampa de grasa hizo que este realizara la función de sedimentación además de la retención de grasas, evitando el colapso del sistema ante la ausencia de un tratamiento primario.

## **b) Inadecuado manejo de lodos**

Teóricamente por tratarse de una trampa de grasa no debería generarse lodos, pero como se explicó anteriormente la unidad fue sobredimensionada, por ende se generaron los lodos. A la fecha de evaluación del sistema, los lodos generados en la trampa de grasa debido a la sedimentación de sólidos no ha tenido un adecuado tratamiento y/o disposición.

La trampa de grasa cuenta con una tubería en el fondo (Ver Anexo 1.33) la cual se conecta a una manguera y mediante la presión del agua en la trampa de grasa expulsa el lodo, el cual se dispone de manera superficial en el suelo cercano a la vegetación (árboles y arbustos).

Es importante mencionar que la persona encargada de la operación y mantenimiento, y por falta de capacitación, menciono que en varias ocasiones se vertían los lodos sobre la zona de entrada del humedal, esto último ha saturado la zona de entrada que ha presentado colmatación durante la visitas de campo.

## **c) Inadecuado manejo de las grasas**

Las grasas han estado siendo dispuestas de igual manera que los lodos, es decir retiradas y vertidas sobre el suelo, en el área donde se encuentra la vegetación; donde se seca en superficie.

### **4.4.1.2. HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL**

De la evaluación del diseño del sistema se determinaron los siguientes problemas:

#### **a) Inadecuado diseño del humedal**

El caudal promedio determinado para el diseño fue de  $0.51 \text{ m}^3$ , en base a un consumo total de agua de  $0.9 \text{ m}^3$ /semana para una familia de 6 habitantes. Del anterior enunciado se puede determinar que el consumo diario de agua para un habitante sería de  $0.021 \text{ m}^3$ /día o 21 litros/día; esto último implica un consumo muy bajo, por ende, se concluye que el

cálculo del caudal de tratamiento fue subestimado lo que implica directamente en las dimensiones del humedal, diseñándose más pequeño de lo necesario.

El enunciado anterior se verificó debido a que el caudal de tratamiento determinado durante la evaluación es de 1.12 m<sup>3</sup>/día , siendo aproximadamente el doble del caudal de diseño; sin embargo, como filtro se usó confitillo y no arena; esto último permitió que el humedal no colapsara, ya que el confitillo permite mejor el paso del agua que la arena por presentar mayor porosidad, evitando que no se colmate el humedal en su totalidad, no obstante el tiempo de retención fue menor, afectando a la eficiencia de remoción.

Sin embargo, el sistema ha obtenido eficiencias para sus parámetros dentro de lo recomendado por la bibliografía, por lo cual no es urgente ampliar las dimensiones del humedal o construir una unidad en paralelo.

#### **b) Colmatación en la zona de entrada**

Durante el periodo de evaluación, se observó colmatación en la zona de entrada del humedal artificial (ver Anexo 1.44), un proceso de colmatación o encharcamiento se debe a la obstrucción de los poros por sólidos; sin embargo, Hoffmann recomienda que el agua residual debe tener menos de 100 mg/l de sólidos suspendidos totales antes del ingreso al humedal de flujo subsuperficial, lo cual se cumple porque el agua gris ingresa al humedal (P-2) con 80.2 mg/l de sólidos suspendidos totales.

La posible causa del problema de colmatación (no considerando el diseño) sería la falta de mantenimiento y el vertido del lodo sobre la zona en algunas ocasiones, esto ha saturado la zona de entrada con sólidos no degradables (arenas) y generando obstrucción en los poros y haciendo que el agua fluya a la superficie del filtro (colmatación).

#### **c) Efluente con alto contenido de coliformes**

El efluente del humedal presenta un valor alto de coliformes fecales (7.52x10<sup>4</sup> NMP/100ml), si bien el escenario de reuso permite usar el agua gris tratada con el nivel de coliformes mencionado, a manera de prevención futura por si cambia el tipo de reuso se recomienda reducir los niveles menores a 1000 NMP/100ml (OMS, 1989).

La causa de que se presente valores altos de coliformes fecales se debe a la alta concentración en el agua gris cruda ( $2.76 \times 10^6$  NMP/100ml), lo cual no se espera por tratarse de aguas grises provenientes de lavaderos. El humedal horizontal removió aproximadamente 2 unidades logarítmicas teniendo una remoción esperada para los sistemas. De manera referencial, Duran et. al. (2014) reportó  $3.9 \times 10^5$  NMP/100ml de coliformes fecales para aguas grises crudas provenientes de lavatorios y cocina de una casa de retiro.

#### 4.4.2. PROPUESTA DE MEJORA

En base a los problemas descritos anteriormente, se proponen mejoras (ver Tabla 24) tomando como criterios las condiciones de operación, mantenimiento y disponibilidad económica.

**Tabla 24: Propuesta de mejoras del sistema de tratamiento**

Unidad	Problemas	Propuesta de mejora
Trampa de grasa	Diseño incorrecto	Ninguna. El sobredimensionamiento de la trampa de grasa amortigua la ausencia de un tanque séptico.
	Inadecuado manejo de lodos	Implementar un sistema de disposición de lodos sobre el terreno.
	Inadecuado manejo de las grasas	Implementar actividades para su correcta disposición.
Humedal artificial	Inadecuado diseño del humedal	Ninguna. El sistema ha soportado el exceso de caudal de tratamiento.
	Colmatación en la entrada del humedal	Mantenimiento en la zona de entrada del humedal
	Efluente con alto contenido de coliformes	Desinfectar el agua

A continuación se describirán a mayor detalle la propuesta de mejora para el manejo de lodos y la desinfección del agua tratada. Las otras propuestas están abarcadas dentro del punto 4.4.3.

### a) Implementación de un sistema de desinfección

De manera preventiva se recomienda la instalación de un sistema desinfección, el método de desinfección debe adecuarse a las condiciones y capacidad de operación actual, por lo que debe seleccionarse una opción práctica y económica. Existen diversos métodos de desinfección como el uso de químicos o radiación UV; se ha seleccionado la desinfección con uso de productos químicos (Cloro).

Según OPS-CEPIS (2005), se deben de considerar los siguientes parámetros en el agua a desinfectar, dado que influyen en la eficacia de la cloración: (i) la turbiedad siempre debe ser menor a 5 UNT (lo ideal es menor a 1 UNT), (ii) el pH menor a 8 y (iii) el tiempo de retención o contacto entre el agua y el desinfectante debe ser mínimo 30 minutos antes de su uso. El agua gris tratada (P-3) cumple con los parámetros debido a que presenta una turbiedad promedio de 3,1 UNT y un pH de 7.53.

OPS-CEPIS (2005), recomienda que para desinfectantes con un contenido de cloro entre 4 a 6 % usar 2 gotas por litro; sin embargo, esa dosis aplica para aguas de cuerpos naturales para desinfectar, como por ejemplo provenientes de una laguna o río. No obstante el agua que se quiere desinfectar es una gris tratada con presencia de coliformes fecales por encima de las recomendaciones de la OMS (1989), por ende se decidió usar dosis más elevadas.

Se realizó una verificación de la desinfección (Ver Anexo 1.45 y 1.46) para estimar la dosis necesaria para desinfectar el agua gris tratada, se usaron 2 dosis que se describen en la Tabla 25, asimismo se mandaron a analizar las muestras obteniéndose los siguientes resultados.

**Tabla 25: Prueba de cloración en el agua gris tratada**

Dosis	Gotas por Litro (Lejía Clorox 4% Hipoclorito de sodio)	Coliformes fecales (NMP/100ml)
P-3 Agua gris tratada	-	$1.1 \times 10^5$
P3-D1	5	< 1.8
P3-D2	20	< 1.8

Como se aprecia en la Tabla 25, para ambas dosis (D1 y D2) se han obtenido resultados óptimos, reduciendo aproximadamente 5 unidades logarítmicas/100ml (99.999%) de coliformes fecales en el agua gris tratada.

En términos generales, 1 gota equivale a 0.05 ml (20 gotas  $\approx$  1 ml), eso quiere decir que para un litro se requiere 0.25 ml, debido a que el agua gris tratada se almacena en dos tanques de 1100 litros de capacidad cada uno, esto implica que se requiere de 275 ml de Lejía para desinfectar 1100 litros de agua gris tratada. Se recomienda usar la desinfección mediante cloración en caso se requiera usar el agua gris tratada para vegetación de la Categoría A (Ver Tabla 5) es decir cultivos de consumo de tallo bajo (hortalizas), o áreas verdes de contacto con la población.

#### **b) Sistema de disposición de lodos**

Existen varias tecnologías o métodos para la disposición segura de los lodos generados en la trampa de grasa; sin embargo, el sistema a seleccionar debe considerar las condiciones actuales. El método de secado de lodos en superficie no se ha considerado debido a que podría generar un peligro sanitario por estar muy cerca de las viviendas, tampoco se consideró otros métodos que usen equipos para su secado. Una solución práctica es seguir disponiendo el lodo en el suelo pero considerando algunas medidas de control.

La zona de disposición de lodos estará ubicada a menor altura de la trampa de grasa lo que permitirá el movimiento de los lodos por gravedad. Implementar una zanja y colocar piedras en su interior, el principio de funcionamiento en que los líquidos van a filtrar por las paredes y fondo de la zanja, los sólidos se deshidratarán y se irán degradando por la presencia de oxígeno, además se puede colocar restos de plantas secas luego del vertimiento de los lodos ya que servirá de barrera para evitar la proliferación de vectores.

Es importante mencionar que la disposición en el terreno solo debe considerarse como una medida a corto plazo, debido a que es recomendable que los lodos deban ser retirados y tratados adecuadamente por una empresa especializada y no por los operarios con la finalidad de evitar riesgos a la salud. Sin embargo, para un adecuado manejo de lodos primero debe profundizarse en su estudio para determinar con mayor precisión los volúmenes generados.

#### **4.4.3. PROPUESTA DE ACTIVIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

En la Tabla 26 se presenta la propuesta de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento, es importante mencionar que actualmente la Municipalidad del distrito de Ate Vitarte es la encargada de la operación y mantenimiento del sistema, para lo cual tiene una persona encargada, la cual vive cerca del sistema y también es beneficiado con el lavadero multiuso.

Es importante recalcar que todas las actividades descritas en la Tabla 26 deben realizarse por personal con la indumentaria de seguridad correspondiente, como botas, guantes, traje impermeable que cubra la totalidad de su cuerpo, evitando tener zonas expuestas. Asimismo, todos los residuos (trapos, recipientes de plásticos, etc) generados durante la limpieza deben ser dispuestos de manera segura.

**Tabla 26: Actividades de operación y mantenimiento**

Unidad	Actividad	Frecuencia	Procedimiento	Observaciones
Trampa de grasa	Remoción de sólidos gruesos retenidos en rejilla	2 veces por semana	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Retirar la canastilla con los sólidos.</li> <li>2. Vaciar el contenido en una bolsa plástica.</li> <li>3. Colocar la canastilla, asegurándola correctamente.</li> <li>4. Los residuos deben ser dispuestos en los residuos.</li> </ol>	A la fecha se usa malla de plástico.
	Remoción de grasa acumulada	Según se requiera	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Retirar la grasa acumulada con el uso de un recipiente y llenar en un recipiente de mayor volumen con tapa.</li> <li>2. Tapar y colocar en un lugar seguro.</li> </ol>	----
	Disposición de lodos	3 meses	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar un extremo de la manguera en la tubería de salida de lodos y el otro sobre la zona de disposición (Zanja).</li> <li>2. Abrir la llave de paso de la tubería de salida.</li> <li>3. Dejar descargar los lodos a la zona de disposición hasta que se visualice un cambio en la coloración del agua (de color negro a gris) y cierre la llave de paso.</li> <li>4. Retirar la manguera.</li> </ol>	----
Humedal artificial	Limpieza de la zona de entrada	6 meses	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Remover la piedra chancada en la zona de entrada hasta unos 30 cm por debajo de la tubería de ingreso y colocarla sobre el terreno.</li> <li>2. Lavar las piedras chancadas con agua a presión para eliminar los sólidos adheridos. Si se va a colocar piedra chancada nueva, la retirada debe disponerse de manera segura.</li> <li>4. La piedra limpia o nueva debe colocarse en la zona de entrada.</li> </ol>	Realizar la limpieza de manera rápida y en horario de menor caudal.
	Limpieza de la tubería de distribución	6 meses	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Remover los tapones en cada extremo de la tubería.</li> <li>2. Con agua a presión limpiar el interior de la tubería, permitiendo remover los sólidos retenidos.</li> <li>3. Colocar los tapones y limpiar la tubería en el exterior.</li> </ol>	Realizar la limpieza de manera rápida y en horario de menor caudal.
	Corte de plantas	4 – 6 meses	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar el corte de las plantas hasta unos 30 – 50 cm de altura, sin cortar los brotes que estén emergiendo.</li> <li>2. Los restos de la poda puede ser dispuesto sobre el terreno o usarse para elaboración de compost.</li> </ol>	---
	Limpieza de la cámara de salida	6 meses	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Limpiar las paredes removiendo toda suciedad y/o formaciones de moho.</li> <li>2. Desinfectar las paredes con agua y Lejía.</li> <li>3. Limpiar y desinfectar la tubería de salida.</li> </ol>	Realizar la limpieza de manera rápida y en horario de menor caudal.

<b>Unidad</b>	<b>Actividad</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Observaciones</b>
Tanque de almacenamiento	Limpieza de tanques de almacenamiento	6 meses	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vaciar el agua del tanque.</li> <li>2. Limpiar las paredes removiendo toda suciedad y/o formaciones de moho.</li> <li>3. Desinfectar las paredes con agua con Lejía.</li> <li>4. El agua que se acumula por la actividad de limpieza debe de ser vaciada y no conectarse al sistema de riego para evitar obstrucción en los goteros.</li> </ol>	Realizar la limpieza de manera rápida.
Sistema de riego por goteo	Mantenimiento de mangueras y goteros	Según se requiera	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar una inspección a los goteros.</li> <li>2. Cambiar los goteros obstruidos.</li> </ol>	---

## V. CONCLUSIONES

Con respecto a las eficiencias de remoción de contaminantes del sistema de tratamiento:

1. El sistema de tratamiento presentó buena remoción de contaminantes fisicoquímicos (remoción de DBO<sub>5</sub> de 92.4 por ciento y SST de 96.6 por ciento) permitiendo obtener un efluente con buena calidad fisicoquímica. Sin embargo, el agua gris cruda presentó alta carga de contaminantes microbiológicos ( $2.76 \times 10^6$  coliformes fecales); y el sistema tuvo una remoción promedio de 97.3 por ciento; por lo cual se obtuvo un agua tratada mantenía una carga elevada de los coliformes fecales; es importa mencionar que no es común encontrar valores elevados de coliformes fecales en el agua gris.

Con respecto a los parámetros operacionales y características del sistema de tratamiento:

2. El sistema superó su capacidad de diseño debido al aumento del caudal de tratamiento ( $1.12 \text{ m}^3/\text{día}$ ) con respecto al diseño ( $0.51 \text{ m}^3/\text{día}$ ); sin embargo, debido a que se tenía un sobredimensionamiento en la trampa de grasa, no alteró la eficiencia en el tratamiento del agua gris, obteniéndose un agua tratada con buena calidad fisicoquímica. Asimismo, el filtro usado cumplió con las características granulométricas recomendadas y la vegetación usada (papiro paragüita) se adaptó y desarrollo un óptimo crecimiento.

Con respecto al cumplimiento de calidad del agua gris tratada con fines de reuso en riego de áreas verdes:

3. El agua tratada fue comparada con las recomendaciones de la guía de la OMS del año 1989; con respecto, al reuso actual (riego localizado plantas de tallo alto sin exposición de trabajadores y público) no existen valores recomendados en relación a los coliformes fecales y parásitos, por lo que no hay restricciones en su uso. Sin embargo, si se quisiera dar un reuso a otros tipos de cultivos no se estaría cumpliendo con lo establecido por la OMS (menor a 1000 NMP/100ml).

Con respecto al mejoramiento del sistema de tratamiento:

4. Los problemas identificados del sistema de tratamiento son la disposición de lodos generados en la trampa de grasa y el alto nivel de coliformes fecales en el agua tratada; por lo cual, se recomienda realizar el manejo de lodos mediante la disposición e infiltración sobre zanjas en el terreno y la desinfección química al efluente respectivamente. Además, se deben ejecutar las actividades de operación y mantenimiento recomendadas en la presente investigación para evitar problemas de colmatación del filtro del humedal.

Conclusión general:

5. De la evaluación del sistema, se puede concluir que funciona adecuadamente y cumple con las exigencias de tratamiento para el reuso actual del agua gris, sin embargo, deben aplicarse las mejoras mencionadas en la presente investigación para optimizar el desempeño del sistema de tratamiento.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Realizar capacitaciones a los usuarios de los lavaderos multiuso con la finalidad de mejorar las prácticas de uso, para evitar ingreso excesivo de aceites y grasas al sistema; así como en la limpieza de los lavaderos para evitar las altas concentraciones de coliformes en el agua gris cruda.
2. Los restos vegetales productos del corte de las macrófitas del humedal artificial pueden ser usados como insumos para la producción de compost, el cual podría ser reusado como mejorar textural del suelo donde se realiza la siembra de arbustos y árboles.
3. Para el mejoramiento del sistema se deben de implementar las propuestas de mejoras de la presente investigación; aplicando un manejo adecuado de los lodos mediante transporte y tratamiento por una empresa especializada.
4. En caso se requiera usar el agua tratada para otros usos, como el riego de áreas verdes en contacto con personas, o para cultivos comestibles; se recomienda aplicar la desinfección descrita en la presente investigación.
5. Se recomienda se realicen investigaciones enfocados en sistemas de desinfección para pequeños sistemas de tratamiento, que incluyan tecnologías económicas y de manejo práctico, que puedan ser utilizados en plantas de tratamiento que son operadas por los mismos usuarios, como en zonas rurales o periurbanas.
6. Es importante que se realice el mantenimiento adecuado según lo propuesto en la presente investigación para el correcto funcionamiento del sistema, para lo cual se debe de fortalecer la capacitación al personal encargado de la operación y mantenimiento.

7. Se recomienda realizar mediciones de los indicadores de contaminación biológica (coliformes) con frecuencia semestral, que permitan tener un control de la calidad biológica en el agua tratada.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA). 2010. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos – Ley N° 29338. Perú.
2. BRIX, H. 1994. Use of constructed Wetlands in water pollution control. Historical development, present status, and future perspective. *Wat. Sci. tech.*, 30 (8), pp 209-223.
3. CALIZAYA, J. y GAUSS, M. 2006. Saneamiento Ecológico: Lecciones aprendidas en zonas periurbanas de Lima. Perú.
4. DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (DIGESA), MINISTERIO DE SALUD. 2011. Decreto Supremo N° 031-2010-SA Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Perú.
5. DIXON, A. BUTLER., D. FEWKES, A. y ROBINSON, M. 1999. Measurement and modeling of quality changes in stored untreated grey water. *Urban Water*. pp. 293-306.
6. DURAN, I., REDAÑEZ, M. 2014. Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas grises. Tesis. Universidad nacional Agraria La Molina Facultad de Ciencias. Perú.
7. ESPINOZA, A. 2011. Evaluación de un sistema de saneamiento ecológico periurbano para el tratamiento de aguas grises, aguas negras y residuos agropecuarios. Tesis. Universidad nacional Agraria La Molina Facultad de Ciencias. Perú.
8. ERICKSSON, E., AUFFARTH, K., HENZE, M. y LEDIN, A. 2001. Characteristics of grey wastewater. Denmark: Environment y resource, Technical University of Denmark. Dinamarca.

9. ERICKSSON, E., BAUN, A., HENZEN, M. y LEDIN, A. 2006. Phytotoxicity of grey wastewater evaluated by toxicity tests. *Urban wáter*. v.3. n.1, pp.13-20.
10. GARCÍA, J. y CORZO, A. 2008. Depuración con humedales construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial.
11. GERBA, P., STRAUB, M., Rose, J.B. Karpiscak, M.M. Foster, K.E. y Brittain, R.G. (1995). Water quality study of graywater treatment systems. *Water Resources Bulletin*. pp.109-116.
12. GONZÁLES G. 2012. Microbiología del agua: conceptos y aplicaciones. Editorial escuela colombiana de ingeniería. Colombia. 414 p.
13. GTZ. 2003. 10 Recomendaciones para la acción, acordadas en el Simposio de Luebeck sobre saneamiento ecológico. International water association. Alemania. Disponible en: <http://www.gtz.de/ecosan/download/ecosan-Symposium-Luebeck-Recommendations-for-action-esp.pdf>.
14. GULYAS, H. 2007. Greywater reuse: concepts, benefits, risks and treatment technologies. International Conference on Sustainable Sanitation, food and Water Security for Latin America, Fortaleza, Brasil. pp 1-2.
15. HAMMEL, B., GRAYUM, M., HERRERA, C. y ZAMORA, N. 2003. Manual de plantas de Costa Rica. Missouri Botanical Garden. INBio, Museo Nacional de Costa Rica. Estados Unidos.
16. HOFFMAN, H., PLATZER, C., WINKER, M. y VON MUENCH, E. 2011. Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas. Alemania. pp. 25.

17. INSTITUTO AUSTRIACO DE NORMAS. ONORM B2505. 1997. Subsurface flow constructed wetlands, application, dimensioning, installation and operation. Vornorm I. Austria.
18. IRIDRA. 2016. Separación y recuperación de las aguas grises. Italia. Disponible en: <http://www.irdra.eu/es/saneamiento-sostenible/recuperacion-de-las-aguas-grises.html>
19. LAMBE, T., WHITMAN, R. Y TUPIA, R. 2007. - Mecánica de suelos. Perú, México.
20. METCALF & EDDY. 1998. Ingeniería de aguas residuales. 3ra edición. MacGraw-Hill. España. 1485p.
21. MIGLIO, R. 2003. Sistema de tratamiento de aguas residuales con el uso de plantas acuáticas. Tesis. Universidad nacional Agraria La Molina Facultad de Ciencias. Perú.
22. MIGLIO, R. y SPITTLER, H. 2009. Saneamiento Ecológico (ecosan) como instrumento para ahorrar agua en el transporte de excretas.
23. MIGLIO, R. 2012. Aguas grises, caracterización, tecnologías de tratamiento. Módulo III - Diplomado en Saneamiento Sostenible. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
24. MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). 2008. Decreto supremo N° 002-2008-MINAM – Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Perú.
25. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO (MVCS). 2006. Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma IS.010 Instalaciones sanitarias para edificaciones. Perú.
26. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO (MVCS). 2006. Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma IS.020 Tanques sépticos. Perú.

27. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO (MVCS). 2006. Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales. Perú.
28. MOREL A. Y DIENER S. 2006. Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland.
29. ORGANISMO NO GUBERNAMENTAL SERVICIOS EDUCATIVOS EL AGUSTINO (ONG SEA). 2012. Planta piloto para el tratamiento de aguas grises de la asociación de vivienda señor de la justicia, distrito ate vitarte, Lima. Perú.
30. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). Aguas para uso agrícola. 1985.
31. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agricultura and aquaculture. Suiza.
32. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 2006. Guidelines for the use of wastewater, excreta and greywater. Volume IV: excreta and greywater use in agriculture. Francia.
33. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS-CEPIS). 2005. Guía para la desinfección del agua para consumo en sistemas rurales de abastecimiento de agua por gravedad y bombeo. Perú.
34. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS-CEPIS). 2005. Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Perú.
35. OTTOSSON, J. 2003. Hygiene aspects of greywater and greywater reuse. Licentiate thesis, Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

36. PALMQUIST, H. y HANAUEUS, J. 2005. Hazardous substances in separately collected grey and blackwater from ordinary Swedish households. *Sci. Tot. Environ.* v. 348, pp.151-163.
37. REED S.C, CRITES R.W Y MIDDLEBROKS E.J. 1995. *Natural systems for waste management and treatment*. 2da edición. Estados Unidos.
38. RIDDERSTOLPE, P. 2004. *Introducción the greywater management*. Ecosanres. Suecia.
39. RIVAS H, RAMIREZ G, BALDERAS C Y GARCÍA M. 1997. *Diseño y diagnóstico de sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante humedales (wetlands)*. Instituto mexicano de tecnología del agua. México.
40. ROMERO, J. 2004. *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño*. Editorial escuela colombiana de ingeniería. Colombia.
41. ROMERO J. 2009. *Calidad del agua*. 3ra edición. Editorial escuela colombiana de ingeniería. Colombia. 485 p.
42. ROSE, B., SUN, G., GERBA. P., y SINCLAIR, N.1991. Microbial quality and persistence of enteric pathogens in graywater from various household sources. pp. 37-42.
43. SCHLICK, J. y WERNER, C. 2002. *Presentación de enfoques de circuito cerrado en el manejo de aguas residuales y saneamiento*. Alemania.
44. SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO (SUNASS). 2016. *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. Perú.

45. UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD). 2016. Manejo de aguas residuales en pequeñas comunidades. Lección 22: Sedimentadores. Colombia. Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin\\_22\\_sedimentadores.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin_22_sedimentadores.html)
46. UTEP & EPA. 1993. “Subsurface flow constructed wetlands Conference”. University of TEXAS at El Paso and U.S. Environmental Protection Agency. Estados Unidos.
47. WOOD, A. 1995. Constructed wetlands in water pollution control: fundamentals to their understanding. *Water Science and Technology* 32 (3), 21-29.

## **VIII. ANEXOS**



## ANEXO 1

### GALERÍA FOTOGRÁFICA

#### CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA



**Anexo 1.1:** Tubería de distribución del agua gris al ingreso del humedal, se aprecia las perforaciones por donde se distribuye el agua.



**Anexo 1.2:** Tubería de recolección del agua gris tratada a la salida del humedal, con perforaciones para la recolección del agua tratada.



**Anexo 1.3:** Llenado del filtro en la zona de salida del humedal.



**Anexo 1.4:** Humedal artificial iniciando su operación en octubre del año 2012.

## SISTEMA DE TRATAMIENTO



**Anexo 1.5:** Lavadero multiuso instalados en las viviendas, de material de granito.



**Anexo 1.6:** Vista exterior de la trampa de grasa.



**Anexo 1.7:** Vista interior de la trampa de grasa, se visualiza diferencia entre el lado izquierdo y derecho producto de la retención de los aceites y grasas.

## SISTEMA DE TRATAMIENTO



**Anexo 1.8:** Malla de plástico usada como rejilla para retener solidos gruesos.



**Anexo 1.9:** Solidos gruesos retenidos en la malla de plástico.



**Anexo 1.10:** Vista del humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal

## SISTEMA DE TRATAMIENTO



**Anexo 1.11:** Zona de entrada del agua gris al humedal, se aprecia tubería con aguas grises provenientes de la trampa de grasa.



**Anexo 1.12:** Zona de salida del humedal, no se visualiza la tubería por encontrarse debajo del filtro.



**Anexo 1.13:** Vista de zona de salida, se aprecia la distribución del humedal y los tanques de almacenamiento.



**Anexo 1.14:** Vista superior de la cámara de salida de agua gris tratada del humedal y los tanques de almacenamiento.

## SISTEMA DE TRATAMIENTO



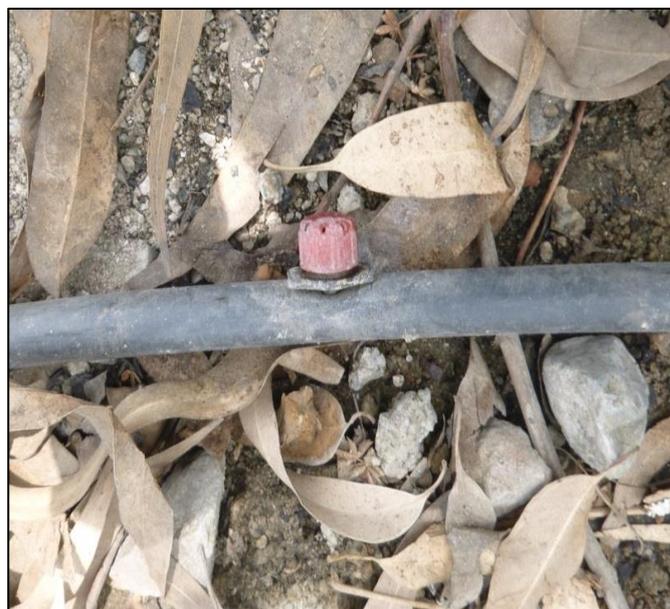
**Anexo 1.15:** Tanques de almacenamiento de agua gris tratada, cada uno tiene una capacidad de 1100 litros.



**Anexo 1.16:** Se visualiza la conexión entre los tanques de almacenamiento y el sistema de riego por goteo. Asimismo, se visualiza dos tuberías libres que sirven para el desfogue de agua en exceso de cada tanque de almacenamiento.



**Anexo 1.17:** Red de riego por goteo.



**Anexo 1.18:** Gotero.

## MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA



**Anexo 1.19:** Recolección de muestra puntual para la formación de muestra compuesta en P-1 (agua gris cruda), además de medición del caudal por método volumétrico.



**Anexo 1.20:** Llenado de frascos de la muestra compuesta en el punto de muestreo P-1.



**Anexo 1.21:** Uso de preservantes químicos para muestras que lo requieren, ej. Aceites y grasas.

## MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA



**Anexo 1.22:** Recolección de muestra puntual para la formación de muestra compuesta en P-2 (agua gris ingreso del humedal o salida de trampa de grasa).



**Anexo 1.23:** Llenado de frascos de la muestra compuesta en el punto de muestreo P-2.



**Anexo 1.24:** Muestras recolectadas en P-2. Se agregaron preservantes en los parámetros que lo requieren.

## MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA



**Anexo 1.25:** Punto de muestreo P-3 (agua gris tratada), ubicado en la cámara de salida del humedal, también se aprecia tubería perpendicular que regula el nivel de agua en el filtro del humedal.

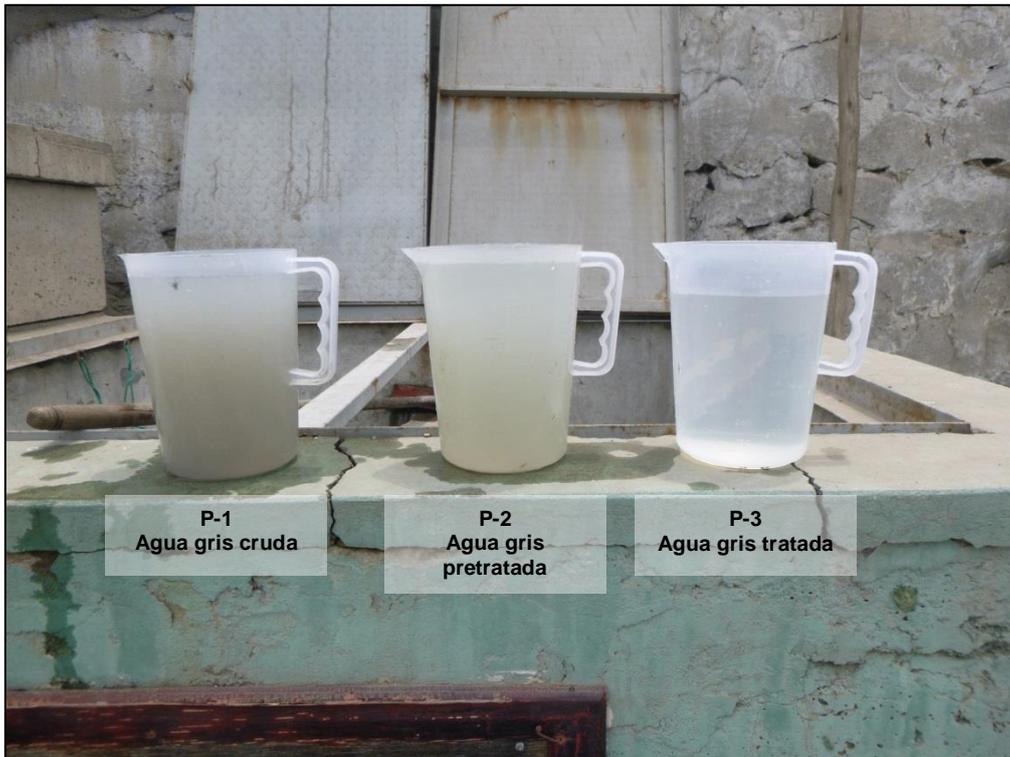


**Anexo 1.26:** Llenado de frascos de la muestra compuesta en el punto de muestreo P-3.



**Anexo 1.27:** Muestras recolectadas en P-3. Se agregaron preservantes en los parámetros que lo requieren.

## MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA



**Anexo 1.28:** Aspecto de las muestras recolectadas en cada punto de muestreo. Se observa un aspecto aceptable del agua tratada (P-3)



**Anexo 1.29:** Mediciones con el equipo multiparametro portátil, permite medir Temperatura, pH y Conductividad eléctrica.



**Anexo 1.30:** Acondicionamiento de muestras para el transporte al laboratorio.

## MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA



**Anexo 1.31:** Uso del turbidímetro en laboratorio para la determinación de la turbiedad en las muestras recolectadas.



**Anexo 1.32:** Determinación en laboratorio de los sólidos sedimentables con uso de los conos Imhoff para las muestras recolectadas.

## EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO



**Anexo 1.33:** Muestreo de lodos, se visualiza la tubería de salida para los lodos.



**Anexo 1.34:** Toma de muestra del filtro (confitillo) para análisis granulométrico por tamizado.



**Anexo 1.35:** Medición de altura de las macrófitas del humedal (papiro paragüita).

## EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO



**Anexo 1.36:** Apariencia del confitillo o grava fina, usado como filtro del humedal.



**Anexo 1.37:** Apariencia de la piedra chancada, usado como material para drenaje en la zona de entrada y salida del humedal.



**Anexo 1.38:** Altura del papiro paragüita al inicio de la evaluación del sistema.



**Anexo 1.39:** Altura del papiro paragüita al finalizar la evaluación del sistema.

## REUSO DE LAS AGUAS GRISES TRATADAS



**Anexo 1.40:** Ladera del cerro antes del sembrado de plantas, año 2012. Se visualiza viviendas en la parte baja.



**Anexo 1.41:** Área sembrada con arbustos y árboles, el reuso del agua gris tratada es mediante riego por goteo.



**Anexo 1.42:** Áreas verdes y ubicación del humedal, se puede apreciar que no es una zona transitable por la población, por ende no hay exposición al agua.



**Anexo 1.43:** Ampliación de las áreas verdes como medida de protección y prevención de derrumbes.

## COLMATACIÓN DEL HUMEDAL Y PRUEBA DE CLORACIÓN



**Anexo 1.44:** Colmatación en la zona de entrada del humedal.



**Anexo 1.45:** Aplicación de la dosis de cloro en muestra de agua gris tratada (P-3), para prueba de cloración.

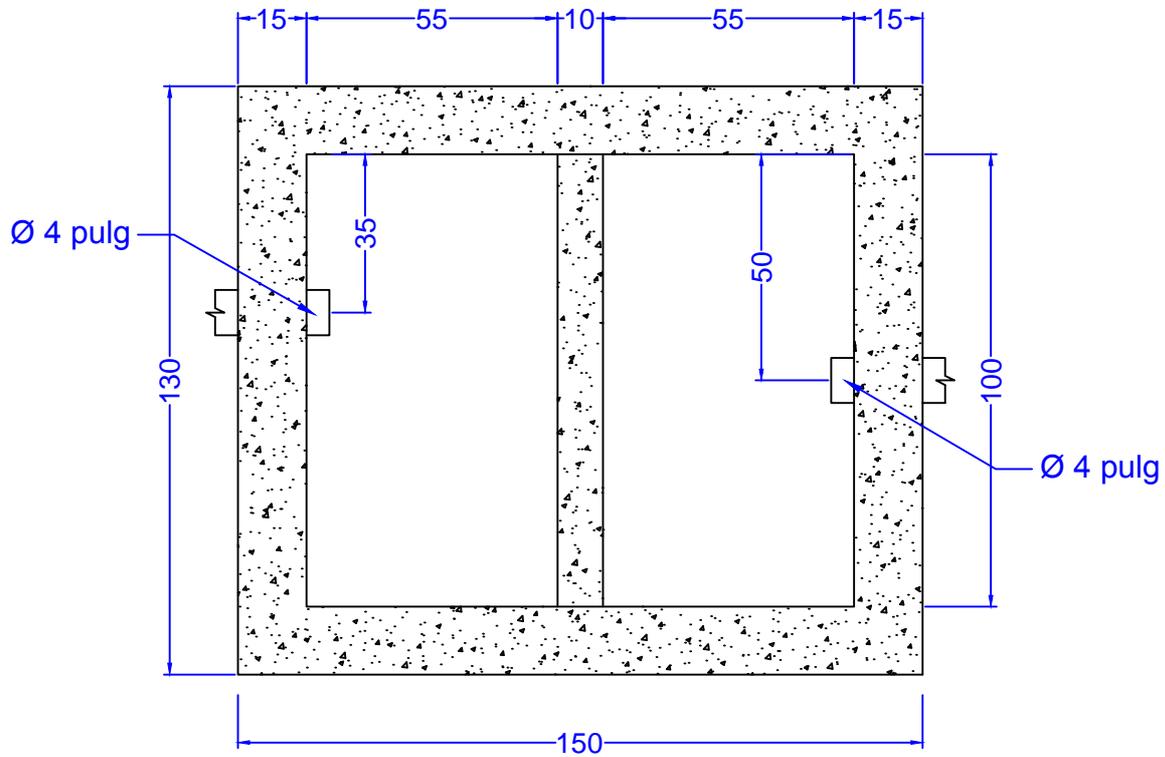


**Anexo 1.46:** Prueba de cloración en el agua gris tratada (P-3) mediante el uso de desinfectante (Clorox), se aplicaron dos dosis (D1 y D2), y las muestras se enviaron a laboratorio para el análisis de coliformes fecales.

## ANEXO 2 PLANO - TRAMPA DE GRASA

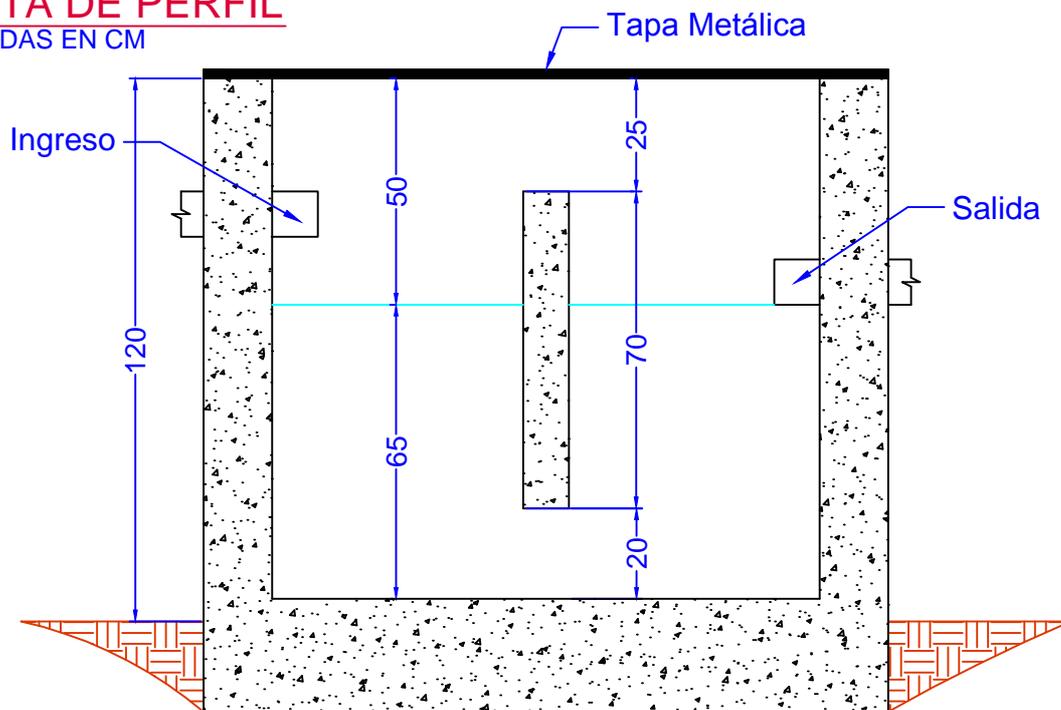
1

### VISTA DE PLANTA MEDIDAS EN CM



2

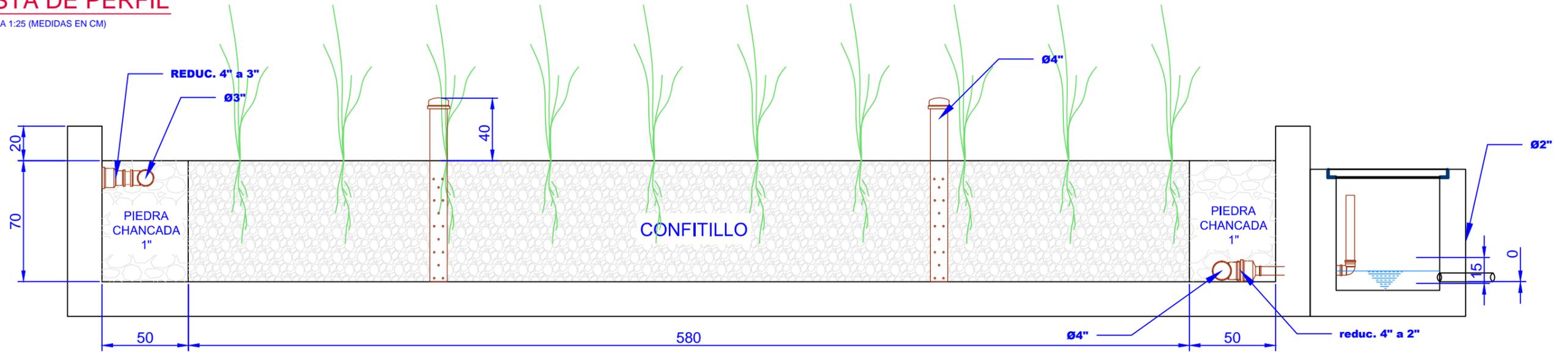
### VISTA DE PERFIL MEDIDAS EN CM



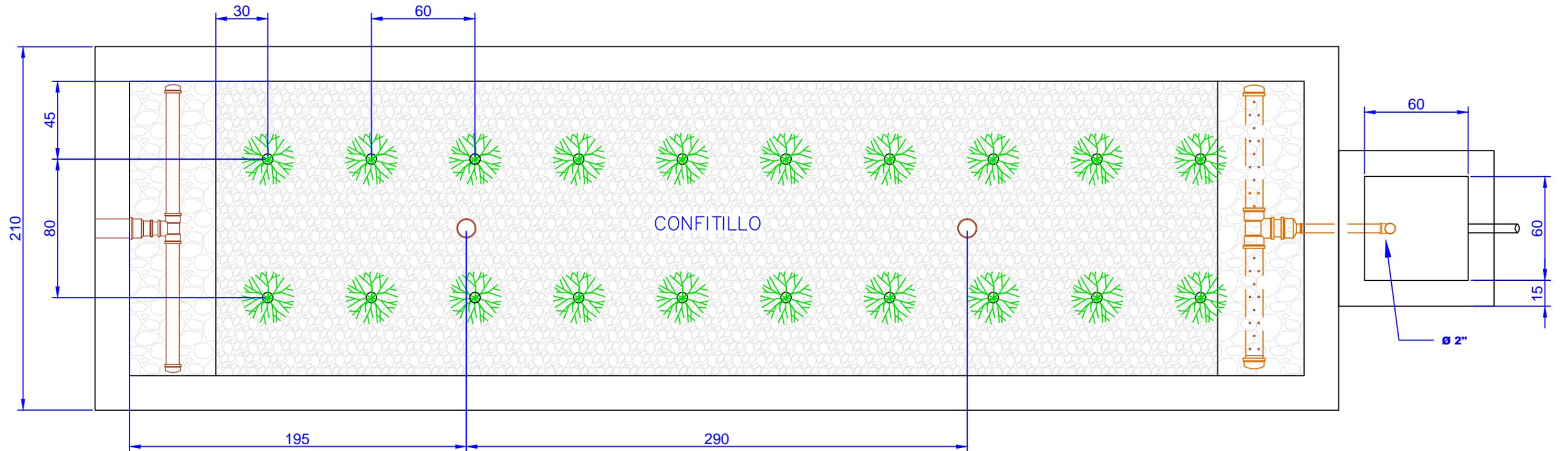


# ANEXO 3 PLANO - HUMEDAL ARTIFICIAL

**1 VISTA DE PERFIL**  
ESCALA 1:25 (MEDIDAS EN CM)



**2 VISTA DE PLANTA**  
ESCALA 1:25 (MEDIDAS EN CM)



**SERVICIOS EDUCATIVOS  
EL AGUSTINO**  
HUMEDAL PARA EL TRATAMIENTO DE  
AGUAS GRISAS - ASOC. VIVIENDAS SR. DE  
LA JUSTICIA - ATE - LIMA



## ANEXO 4

### RESUMEN DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS Y EFICIENCIA DE REMOCIÓN

**Anexo 4.1: Resultados de la Temperatura del agua (Medición *in situ*)**

Temperatura del agua (°C)			
Fecha	P-1 Agua gris cruda	P-2 Entrada Humedal	P-3 Salida Humedal
17-ene-16	23.4	23.3	23.1
31-ene-16	23.1	23.6	23.5
07-feb-16	22.3	22.6	22.4
11-feb-16	21.1	23.7	22.9
17-feb-16	24.8	23.6	23.8
<b>Promedio</b>	<b>22.9</b>	<b>23.4</b>	<b>23.1</b>
CV <sup>1</sup>	5.98%	1.93%	2.34%

**Anexo 4.2: Resultados del pH (Medición *in situ*)**

pH			
Fecha	P-1 Agua gris cruda	P-2 Entrada Humedal	P-3 Salida Humedal
17-ene-16	7.2	7.4	7.6
31-ene-16	7.15	7.2	7.7
07-feb-16	7.08	7.12	7.48
11-feb-16	7.12	7.35	7.35
17-feb-16	7.2	7.3	7.54
<b>Promedio</b>	<b>7.15</b>	<b>7.27</b>	<b>7.53</b>
CV	0.73%	1.56%	1.74%

**Anexo 4.3: Resultados de la conductividad eléctrica (Medición *in situ*)**

Conductividad eléctrica (µS/cm)			
Fecha	P-1 Agua gris cruda	P-2 Entrada Humedal	P-3 Salida Humedal
17-ene-16	1050	1230	1250
31-ene-16	1070	1080	1270
07-feb-16	1180	1240	1240
11-feb-16	1270	1270	1130
17-feb-16	1270	1310	1250
<b>Promedio</b>	<b>1168</b>	<b>1226</b>	<b>1228</b>
CV	9.03%	7.12%	4.55%

<sup>1</sup> Coeficiente de variabilidad

#### Anexo 4.4: Resultados de los Aceites y grasas

Aceites y Grasas (mg/l)			
Fecha	P-1 Agua gris cruda	P-2 Salida Trampa de Grasa modificada	Remoción (%) Trampa de grasa modificada
17-ene-16	29.84	0.5	98
31-ene-16	0.5	0.5	0
07-feb-16	21.87	4.42	80
<b>Promedio</b>	<b>17.4</b>	<b>1.8</b>	<b>90</b>
CV	87.19%	125.73%	-

#### Anexo 4.5: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno

DBO <sub>5</sub> (mg/l)					
Fecha	P-1 Agua gris cruda	P-2 Entrada Humedal	P-3 Salida Humedal	Remoción (%) Trampa de grasa modificada	Remoción (%) Humedal
17-ene-16	232	200.5	6.65	14	97
31-ene-16	115.67	105	15.3	9	85
07-feb-16	235.5	171.67	6.6	27	96
11-feb-16	360	300	40	17	87
17-feb-16	220	140	20	36	86
<b>Promedio</b>	<b>232.6</b>	<b>183.4</b>	<b>17.7</b>	<b>21</b>	<b>90</b>
CV	37.28%	40.49%	77.55%	-	-

#### Anexo 4.6: Resultados de la demanda química de oxígeno

DQO (mg/l)					
Fecha	P-1 Agua gris cruda	P-2 Entrada Humedal	P-3 Salida Humedal	Remoción (%) Trampa de grasa modificada	Remoción (%) Humedal
17-ene-16	644.94	391.9	29.84	39	92
31-ene-16	402.32	364.35	110.64	9	70
07-feb-16	314.24	223.81	31.2	29	86
11-feb-16	811.8	617.6	70.6	24	89
17-feb-16	453.2	247.6	58.7	45	76
<b>Promedio</b>	<b>525.3</b>	<b>369.1</b>	<b>60.2</b>	<b>30</b>	<b>84</b>
CV	38.22%	42.45%	55.20%	-	-

**Anexo 4.7: Resultados de los sólidos suspendidos totales**

Sólidos suspendidos totales (mg/l)					
Fecha	P-1 Agua gris cruda	P-2 Entrada Humedal	P-3 Salida Humedal	Remoción (%) Trampa de grasa modificada	Remoción (%) Humedal
17-ene-16	227	56	12	75	79
31-ene-16	169	98	6	42	94
07-feb-16	169	37	5	78	86
11-feb-16	217	100	2	54	98
17-feb-16	200	110	8	45	93
<b>Promedio</b>	<b>196.3</b>	<b>80.2</b>	<b>6.6</b>	<b>59</b>	<b>92</b>
CV	13.63%	39.67%	56.29%	-	-

**Anexo 4.8: Resultados de los sólidos sedimentables**

Sólidos sedimentables (ml/l)			
Fecha	P-1 Agua gris cruda	P-2 Salida Trampa de Grasa modificada	Remoción (%) Trampa de grasa modificada
17-ene-16	2.9	0.1	97
31-ene-16	1.3	0.1	92
07-feb-16	4.7	0.1	98
11-feb-16	3.2	0.1	97
17-feb-16	2.5	0.1	96
<b>Promedio</b>	<b>2.9</b>	<b>0.1</b>	<b>97</b>
CV	42.40%	0.00%	-

**Anexo 4.9: Resultados de la turbiedad**

Turbiedad (UNT)					
Fecha	P-1 Agua gris cruda	P-2 Entrada Humedal	P-3 Salida Humedal	Remoción (%) Trampa de grasa modificada	Remoción (%) Humedal
17-ene-16	189	94	2.3	50	98
31-ene-16	166	117	4.1	30	96
07-feb-16	208	89.7	1.8	57	98
11-feb-16	82.3	41.3	2.9	50	93
17-feb-16	251	102.5	4.2	59	96
<b>Promedio</b>	<b>179.3</b>	<b>88.9</b>	<b>3.1</b>	<b>50</b>	<b>97</b>
CV	34.88%	32.15%	34.49%	-	-

#### Anexo 4.10: Resultados de los coliformes fecales

Coliformes fecales (NMP/100 ml)			
Fecha	P-2 Entrada Humedal	P-3 Salida Humedal	Remoción (%) Humedal
17-ene-16	$1.60 \times 10^3$	$1.60 \times 10^3$	-
31-ene-16	$1.30 \times 10^7$	$7.90 \times 10^4$	99.4
07-feb-16	$7.00 \times 10^5$	$4.90 \times 10^4$	93
12-feb-16	$1.60 \times 10^6$	$1.60 \times 10^6$	-
25-feb-16	$2.30 \times 10^6$	$1.10 \times 10^5$	95
<b>Media Geométrica (*)</b>	<b><math>2.76 \times 10^6</math></b>	<b><math>7.52 \times 10^4</math></b>	<b>97</b>

#### Anexo 4.11: Resultados de los coliformes totales

Coliformes totales (NMP/100 ml)			
Fecha	P-2 Entrada Humedal	P-3 Salida Humedal	Remoción (%) Humedal
17-ene-16	$1.60 \times 10^3$	$1.60 \times 10^3$	-
31-ene-16	$1.70 \times 10^7$	$3.30 \times 10^5$	98
07-feb-16	$4.90 \times 10^8$	$2.80 \times 10^6$	99
12-feb-16	$1.60 \times 10^6$	$1.60 \times 10^6$	-
25-feb-16	$1.10 \times 10^7$	$2.30 \times 10^6$	79
<b>Media Geométrica (*)</b>	<b><math>4.52 \times 10^7</math></b>	<b><math>1.29 \times 10^6</math></b>	<b>97</b>

(\*) Los resultados de los muestreos del 17-ene-16 y 12-feb-16, para coliformes fecales y totales no son considerados para el cálculo de la media geométrica o la remoción, debido que en ambas mediciones se superaron los límites de detección del laboratorio.

**ANEXO 5**  
**INFORMES DE ENSAYO DE LABORATORIO**





**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE-022**



Registro N°LE -022

**INFORME DE ENSAYO  
N° ENE1137.R16**

**SOLICITANTE :** JUAN GAMARRA ROJAS

**DOMICILIO LEGAL :** Mz B Lt 20 Asociación Villa Del Mar  
Villa El Salvador, Lima,

**SOLICITADO POR :** Juan Gamarra Rojas

**SOLICITUD DE SERVICIO AMBIENTAL:** SSA N° 31-16  
Cadena de Custodia N° 88-16/CERTIMIN

**REFERENCIA :** Asoc. de Viviendas Señor de la Justicia  
Ate Vitarte / Lima  
Humedad Artificial Aguas Grises

**FECHA DE MUESTREO :** 2016/01/17

**PROTOCOLO :** --

**TIPO DE MUESTRA:** Agua Residual Doméstica

**NÚMERO DE MUESTRAS :** 3

**PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS :** Frascos de polietileno y vidrio refrigerados y sellados.

**CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS :** Muestra en buena condición para el análisis solicitado.

**RECEPCIONADAS**

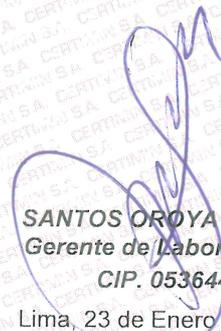
**FECHA DE RECEPCIÓN :** Lunes, 18 de Enero de 2016

**IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS :** Según se indica.

**FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO :** 2016-01-18 al 2016-01-23

**FECHA DE REPORTE :** Sábado, 23 de Enero de 2016

**PERIODO DE CUSTODIA :** Hasta un mes. De acuerdo a las recomendaciones de la metodología o norma empleada.

  
**SANTOS OROYA ROJAS**  
Gerente de Laboratorios  
CIP. 053644  
Lima, 23 de Enero de 2016

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN S.A."  
"Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce".  
Los resultados corresponden a las muestras indicadas.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022**



**INFORME DE ENSAYO**  
N° ENE1137.R16

Registro N°LE-022

**RESULTADOS**

Muestras		Elementos					
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Limite de Detección ID	MON0000 Fecha Monitoreo	MON0000 Tipo Muestra	MA0002 AcyG mg/L	MA0756 DBO mg/L	MA0757 DQO mg/L	MA0174 STS mg/L
1	P-1	2016-01-17 17:20:00	Agua Residual Doméstica	29.84	232.00	644.34	227
2	P-2	2016-01-17 17:10:00	Agua Residual Doméstica	<0.50	200.50	391.90	56
3	P-3	2016-01-17 17:00:00	Agua Residual Doméstica	--	6.65	29.84	12

Muestras proporcionadas por el cliente.  
Las muestras perechibles fueron analizadas dentro de las 24 horas.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022**



**INFORME DE ENSAYO**  
N° ENE1137.R16

Registro NTE -022

**CONTROL DE CALIDAD**

N°	Muestras QC	Elementos				
		MA0002 AcyG mg/L 0.50	MA0756 DBO mg/L 2.00	MA0757 DQO mg/L 10.00	MA0174 ST5 mg/L 5	
1	Adición (% Recup.)	98.8	--	99.6	--	--
2	Adición (% Recup.)	91.0	--	100.3	--	--
3	Adición Rango (%)	85.0 - 115.0	--	80.0 - 120.0	--	--
4	STD - Recuperación Obtenido (%)	94.8	107.5	102.0	102.0	102.0
5	STD - Rango (%)	90.0-110.0	84.6-115.4	80.0-120.0	80.0-120.0	91.0-109.0
6	P-1 (Original)	--	232.00	--	--	227
7	P-1 (Dup)	--	217.33	--	--	213
8	P-2 (Original)	<0.50	--	391.90	--	--
9	P-2 (Dup)	<0.50	--	394.93	--	--
10	Blanco	<0.50	<0.20	<10.00	--	<5

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022**



**INFORME DE ENSAYO**  
N° ENE1137.R.16

Registro N°LE-022

**MÉTODOS DE ENSAYO Y CODIGOS DE SERVICIO**

N°	Análisis	Denominación	Cod. Serv.	Descripción
1	AcyG	Aceites y grasas	MA0002	SMEWW 22nd Ed. 2012. Part-5520 B. Pág 5-40. APHA-AWWA-WEF. Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition - Gravimetric Method
2	DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno	MA0756	SMEWW 22nd Ed. 2012. Part-5210 B. Pág 5-5. APHA-AWWA-WEF. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5- Day BOD Test.
3	DQO	Demanda Química de Oxígeno	MA0757	SMEWW 22nd Ed. 2012. Part-5220 D. Pág. 5-20 APHA-AWWA-WEF. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.
4	STS	Sólidos Totales Suspendidos	MA0174	SMEWW 22nd Ed. 2012. Part-2540 D. Pág 2-66 APHA AWWA WEF. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.

(1) SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

APHA : American Public Health Association.

AWWA : American Water Works Association.

WEF : Water Environment Federation.

EPA : Environmental Protection Agency.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

ISO: International Organization for Standardization.

NTP: Norma Técnica Peruana.

NIOSH: The National Institute for Occupational Safety and Health.

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE.



## INFORME DE ENSAYO N° 1601043 - LMT

**SOLICITANTE** : JUAN GAMARRA ROJAS

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA RESIDUAL GRIS  
**1601043) SIN TRATAR**

PROCEDENCIA	: Ate Vitarte
TIPO DE ENVASE	: Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA	: 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN	: En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO	: 2016 - 01 - 17
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2016 - 01 - 18
FECHA DE INICIO DE ENSAYO	: 2016 - 01 - 18
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2016 - 01 - 22

### RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1601043	Agua de Consumo (DIGESA)*
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100mL)	> 16 x 10 <sup>2</sup>	< 2.2
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100mL)	> 16 x 10 <sup>2</sup>	< 2.2

(\*)Especificaciones dadas por DIGESA para agua de consumo, en la NTS N° 071-MINSA/DIGESA-V.01, Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. XVI.4 Agua y hielo para consumo humano.

Nota: Los valores < 1.8 y < 2.2 indican ausencia de microorganismos en ensayo.

#### Método:

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

#### **Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio, en muestra proporcionada por el solicitante.

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

Validez del documento: Este documento es válido solo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2016



**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° 1601044 - LMT

SOLICITANTE : JUAN GAMARRA ROJAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA RESIDUAL GRIS  
1601044) TRATADA

PROCEDENCIA : Ate Vitarte  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 01 - 17  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 01 - 18  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 18  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 01 - 22

### RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1601044	Agua de Consumo (DIGESA)*
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100mL)	> 16 x 10 <sup>2</sup>	< 2.2
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100mL)	> 16 x 10 <sup>2</sup>	< 2.2

(\*)Especificaciones dadas por DIGESA para agua de consumo, en la NTS N° 071-MINSA/DIGESA-V.01, Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. XVI.4 Agua y hielo para consumo humano.

Nota: Los valores < 1.8 y < 2.2 indican ausencia de microorganismos en ensayo.

#### Método:

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

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio, en muestra proporcionada por el solicitante.

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

Validez del documento: Este documento es válido solo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2016



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)



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE-022**



Registro N°LE -022

## INFORME DE ENSAYO N° FEB1023.R16

<b>SOLICITANTE :</b>	JUAN GAMARRA ROJAS
<b>DOMICILIO LEGAL :</b>	Mz B Lt 20 Asociación Villa Del Mar Villa El Salvador, Lima,
<b>SOLICITADO POR :</b>	Juan Gamarra Rojas
<b>SOLICITUD DE SERVICIO AMBIENTAL:</b>	SSA N° 69-16; Cadena de Custodia N° 137-16/CERTIMIN
<b>REFERENCIA :</b>	Asoc. De Viviendas Señor de la Justicia / Ate Vitarte / Lima Humedal Artificial - Aguas Grises Monitoreo de Calidad de Agua
<b>FECHA DE MUESTREO :</b>	2016/01/31
<b>PROTOCOLO :</b>	--
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual Doméstica
<b>NÚMERO DE MUESTRAS :</b>	3
<b>PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS :</b>	Frascos de polietileno y vidrio refrigerados y sellados.
<b>CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS : RECEPCIONADAS</b>	Muestra en buena condición para el análisis solicitado.
<b>FECHA DE RECEPCIÓN :</b>	Lunes, 01 de Febrero de 2016
<b>IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS :</b>	Según se indica.
<b>FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO :</b>	2016-02-01 al 2016-02-08
<b>FECHA DE REPORTE :</b>	Lunes, 08 de Febrero de 2016
<b>PERIODO DE CUSTODIA :</b>	Hasta un mes. De acuerdo a las recomendaciones de la metodología o norma empleada.

*Santos Oroya Rojas*  
**SANTOS OROYA ROJAS**  
Gerente de Laboratorios  
CIP. 053644

Lima, 8 de Febrero de 2016

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN S.A."

"Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce".

Los resultados corresponden a las muestras indicadas.

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022**



**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Biotiempo  
Acreditado

**INFORME DE ENSAYO**  
N° FEB1023.R16

Registro N°LE -022

**RESULTADOS**

Muestras		Elementos							
N°	Codigo de Servicio	MON0000	MON0000	MA0002	MA0789	MA0786	MA0756	MA0757	MA0174
Limite de Detección	Elemento	Fecha	Tipo Muestra	Acyg	Coliformes Fecales	Coliformes Totales	DBO	DOO	STS
Unidad	Unidad	Monitoreo		mg/L	NMP/100mL	NMP/100mL	mg/L	mg/L	mg/L
				0.50	1.8	1.8	2.00	10.00	5
1	P-1	2016-01-31 16:40:00	Agua Residual Doméstica	<0.50	--	--	115.67	402.32	169
2	P-2	2016-01-31 16:20:00	Agua Residual Doméstica	<0.50	13000000.0	17000000.0	105.00	364.35	98
3	P-3	2016-01-31 16:00:00	Agua Residual Doméstica	--	79000.0	330000.0	15.30	110.64	6

Muestras proporcionadas por el cliente.  
Las muestras percibibles fueron analizadas dentro de las 24 horas.

“EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE”



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022**



**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

**INFORME DE ENSAYO**  
N° FEB1023.R16

Registro N°LE -022

**CONTROL DE CALIDAD**

Muestras QC		Elementos						
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Limite de Detección LD	MA0002 Acyg/L 0.50	MA0789 Coliformes Fecales NMP/100mL 1.8	MA0786 Coliformes Totales NMP/100mL 1.8	MA0756 DBO mg/L 2.00	MA0757 DQO mg/L 10.00	MA0174 STS mg/L 5	
1	Adición (% Recup.)	105.3	--	--	--	100.1	--	
2	Adición (% Recup.)	98.3	--	--	--	98.8	--	
3	Adición Rango (%)	85.0 - 115.0	--	--	--	80.0 - 120.0	--	
4	STD - Recuperación Obtenido (%)	103.3	--	--	107.5	97.1	96.0	
5	STD - Rango (%)	90.0-110.0	--	--	84.6-115.4	80.0-120.0	91.0-109.0	
6	P-1 (Original)	--	--	--	115.67	--	--	
7	P-1 (Dup)	--	--	--	118.33	--	--	
8	P-2 (Original)	<0.50	13000000.0	--	--	364.35	--	
9	P-2 (Dup)	<0.50	13000000.0	--	--	371.74	--	
10	P-3 (Original)	--	--	330000.0	--	--	6	
11	P-3 (Dup)	--	--	330000.0	--	--	6	
12	Blanco	<0.50	--	--	<2.00	<10.00	<5	

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-022**



**INFORME DE ENSAYO**  
N° FEB1023.R16

Registro N°LE -022

**MÉTODOS DE ENSAYO Y CODIGOS DE SERVICIO**

N°	Análito	Denominación	Cod. Serv	Descripción
1	AcyG	Aceites y grasas	MA0002	SMEWW 22nd Ed. 2012.Part-5520 B Pag 5-40. APHA-AWWA-WEF. Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition - Gravimetric Method
2	Coliformes Fecales.	Coliformes Fecales (Termotolerantes)	MA0789	SMEWW 22nd Ed.2012. Part-9221 E1. Pág.9-74,9-75. APHA-AWWA-WEF. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant coliform test (EC medium).
3	Coliformes Totales	Coliformes Totales	MA0786	SMEWW 22nd Ed. 2012. Part-9221 B. Pág 9-66, 9-69. APHA-AWWA-WEF. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
4	DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno	MA0756	SMEWW 22nd Ed. 2012.Part-5210 B. Pag 5-5. APHA-AWWA-WEF. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5- Day BOD Test.
5	DQO	Demanda Química de Oxígeno	MA0757	SMEWW 22nd Ed.2012. Part-5220 D. Pág 5-20 APHA-AWWA-WEF. Chemical Oxygen Demand (COD).Closed Reflux, Colorimetric Method.
6	STS	Sólidos Totales Suspensidos	MA0174	SMEWW 22nd Ed. 2012.Part-2540 D. Pág 2-66 APHA AWWA WEF. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.

(1) SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

APHA : American Public Health Association.

AWWA: American Water Works Association.

WEF : Water Environment Federation.

EPA : Environmental Protection Agency.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

ISO: International Organization for Standardization.

NTP: Norma Técnica Peruana.

NIOSH: The National Institute for Occupational Safety and Health.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE-022



Página 1 de 4

DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

Registro N° LE -022

INFORME DE ENSAYO  
N° FEB1099.R16

<b>SOLICITANTE :</b>	JUAN GAMARRA ROJAS
<b>DOMICILIO LEGAL :</b>	Mz B Lt 20 Asociación Villa Del Mar Villa El Salvador, Lima,
<b>SOLICITADO POR :</b>	Juan Gamarra Rojas
<b>SOLICITUD DE SERVICIO AMBIENTAL:</b>	SSA N° 88-16 Cadena de Custodia N° 212-16/CERTIMIN
<b>REFERENCIA :</b>	Asoc. De Vivienda Señor de la Justicia Ate Vitarte / Lima / Lima Humedal Artificial-Aguas Grises
<b>FECHA DE MUESTREO :</b>	2016/02/07
<b>PROTOCOLO :</b>	--
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual Doméstica
<b>NÚMERO DE MUESTRAS :</b>	3
<b>PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS :</b>	Frascos de polietileno y vidrio correctamente refrigerados y sellados.
<b>CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS : RECEPCIONADAS</b>	Muestra en buena condición para el análisis solicitado.
<b>FECHA DE RECEPCIÓN :</b>	Lunes, 08 de Febrero de 2016
<b>IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS :</b>	Según se indica.
<b>FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO :</b>	2016-02-08 al 2016-02-17
<b>FECHA DE REPORTE :</b>	Miércoles, 17 de Febrero de 2016
<b>PERIODO DE CUSTODIA :</b>	Hasta un mes. De acuerdo a las recomendaciones de la metodología o norma empleada.

  
SANTOS OROYA ROJAS  
Gerente de Laboratorios

CIP. 053644

Lima, 17 de Febrero de 2016

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN S.A."

"Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce".

Los resultados corresponden a las muestras indicadas.

**RESULTADOS**

Muestras		Elementos									
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Limite de Detección ID	MON0000 Fecha Monitoreo	MON0000 Tipo Muestra	MA0002 AcyG mg/L	MA0757 DBO mg/L	MA0756 DBO mg/L	MA0174 STS mg/L	MA0789 Coliformes Fecales NVE/100mL	MA0786 Coliformes Totales NVE/100mL		
1	P-1	2016-02-07 16:30:00	Agua Residual Doméstica	21.87	314.24	235.50	169	--	--		
2	P-2	2016-02-07 16:20:00	Agua Residual Doméstica	4.42	223.81	171.67	37	700000.0	490000000.0		
3	P-3	2016-02-07 16:10:00	Agua Residual Doméstica	--	31.20	6.60	<5	49000.0	2800000.0		

Las muestras perecibles fueron analizadas dentro de las 24 horas.  
Muestras proporcionadas por el cliente.

**CONTROL DE CALIDAD**

N°	Muestras QC		Elementos							
	Codigo de Servicio	Elemento	MA0002	MA0757	MA0756	MA0174	MA0789	MA0786		
	Unidad		AcyG	DQO	DBO	STS	Coliformes Fecales	Coliformes Totales		
	Limite de Detección	LD	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100mL	NMP/100mL		
1	Adición (% Recup.)		107.1	97.6	--	--	--	--	--	
2	Adición (% Recup.)		104.4	98.2	--	--	--	--	--	
3	Adición Rango (%)		85.0 - 115.0	80.0 - 120.0	--	--	--	--	--	
4	STD - Recuperación Obtenido (%)		96.5	107.7	108.8	100.0	--	--	--	
5	STD - Rango (%)		90.0-110.0	80.0-120.0	84.6-115.4	91.0-109.0	--	--	--	
6	P-1 (Original)		--	--	235.50	--	--	--	--	
7	P-1 (Dup)		--	--	228.67	--	--	--	--	
8	P-2 (Original)		4.42	223.81	--	37	700000.0	--	--	
9	P-2 (Dup)		4.26	240.91	--	39	700000.0	--	--	
10	P-3 (Original)		--	--	--	--	--	2800000.0	--	
11	P-3 (Dup)		--	--	--	--	--	2200000.0	--	
12	Blanco		<0.50	<10.00	<2.00	<5	--	--	--	

## MÉTODOS DE ENSAYO Y CODIGOS DE SERVICIO

N°	Análito	Denominación	Cod.Serv	Descripción
1	AcyG	Aceites y grasas	MA0002	SMEWW 22nd Ed. 2012, Part-5520 B. Pág 5-40. APHA-AWWA-WEF. Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition - Gravimetric Method
2	DOO	Demanda Química de Oxígeno	MA0757	SMEWW 22nd Ed.2012. Part-5220 D. Pág.5-20 APHA-AWWA-WEF. Chemical Oxygen Demand (COD),Closed Reflux, Colorimetric Method.
3	DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno	MA0756	SMEWW 22nd Ed. 2012, Part-5210 B. Pág 5-5. APHA-AWWA-WEF. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5- Day BOD Test.
4	STS	Sólidos Totales Suspendidos	MA0174	SMEWW 22nd Ed. 2012,Part-2540 D. Pág 2-66 APHA AWWA WEF.Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.
5	Coliformes Fecales.	Coliformes Fecales (Termotolerantes)	MA0789	SMEWW 22nd Ed.2012. Part-9221 E1. Pág.9-74,9-75. APHA-AWWA-WEF. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant coliform test (EC medium).
6	Coliformes Totales	Coliformes Totales	MA0786	SMEWW 22nd Ed. 2012. Part-9221 B. Pág 9-66, 9-69. APHA-AWWA-WEF. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

- (1) SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.  
 APHA: American Public Health Association.  
 AWWA: American Water Works Association.  
 WEF: Water Environment Federation.  
 EPA: Environmental Protection Agency.  
 ASTM: American Society for Testing and Materials.  
 ISO: International Organization for Standardization.  
 NTP: Norma Técnica Peruana.  
 NIOSH: The National Institute for Occupational Safety and Health.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

**Nº 003003**

**ANALISIS FISICO-QUIMICO  
DE AGUA**

**SOLICITANTE** : JUAN GAMARRA ROJAS  
**PROYECTO** : Humedad artificial- tratamiento de aguas grises  
**PROCEDENCIA** : Asoc. De Viviendas " Señor de la Justicia" Ate Vitarte Lima  
**RESPONSABLE ANALISIS** : Ing. Nore Arévalo Flores  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 23 de Febrero del 2016

<b>Nº LABORATORIO</b>	<b>3003</b>
<b>Nº DE CAMPO</b>	P - 1 fecha muestreo: 11-02-16
<b>DBO<sub>5</sub> mgO<sub>2</sub>/L</b>	360.00
<b>DQO mgO<sub>2</sub>/L</b>	811.76
<b>Solidos Suspendidos Totales mg/L</b>	216.67

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO  
ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ  
JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

**Nº 003004**

**ANALISIS FISICO-QUIMICO  
DE AGUA**

**SOLICITANTE** : JUAN GAMARRA ROJAS  
**PROYECTO** : Humedad artificial- tratamiento de aguas grises  
**PROCEDENCIA** : Asoc. De Viviendas " Señor de la Justicia" Ate Vitarte Lima  
**RESPONSABLE ANALISIS** : Ing. Nore Arévalo Flores  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 23 de Febrero del 2016

<b>Nº LABORATORIO</b>	<b>3004</b>
<b>Nº DE CAMPO</b>	P - 2 fecha muestreo: 11-02-16
<b>DBO<sub>5</sub> mgO<sub>2</sub>/L</b>	300.00
<b>DQO mgO<sub>2</sub>/L</b>	617.65
<b>Solidos Suspendidos Totales mg/L</b>	100.00

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ  
JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

**Nº 003005**

**ANALISIS FISICO-QUIMICO  
DE AGUA**

**SOLICITANTE** : JUAN GAMARRA ROJAS  
**PROYECTO** : Humedad artificial- tratamiento de aguas grises  
**PROCEDENCIA** : Asoc. De Viviendas " Señor de la Justicia" Ate Vitarte Lima  
**RESPONSABLE ANALISIS** : Ing. Nore Arévalo Flores  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 23 de Febrero del 2016

<b>Nº LABORATORIO</b>	<b>3005</b>
<b>Nº DE CAMPO</b>	P - 3 fecha muestreo: 11-02-16
<b>DBO<sub>5</sub> mgO<sub>2</sub>/L</b>	40.00
<b>DQO mgO<sub>2</sub>/L</b>	70.59
<b>Solidos Suspendidos Totales mg/L</b>	2.00

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

  
ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ  
JEFE DE LABORATORIO





## INFORME DE ENSAYO N° 1602101 - LMT

SOLICITANTE : JUAN GAMARRA ROJAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA

1602101) P - 2

PROCEDENCIA : Ate Vitarte  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 02 - 12  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 02 - 12  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 02 - 17  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 02 - 17

### RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1602101	Agua de Consumo (DIGESA)*
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100mL)	> 16 x 10 <sup>5</sup>	< 2.2
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100mL)	> 16 x 10 <sup>5</sup>	< 2.2

(\*)Especificaciones dadas por DIGESA para agua de consumo, en la NTS N° 071-MINSA/DIGESA-V.01, Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. XVI.4 Agua y hielo para consumo humano.

Nota: Los valores < 1.8 y < 2.2 indican ausencia de microorganismos en ensayo.

#### Método:

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

#### Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio, en muestra proporcionada por el solicitante.

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

Validez del documento: Este documento es válido solo para la muestra descrita.

La Molina, 17 de febrero de 2016



*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)



## INFORME DE ENSAYO N° 1602102 - LMT

SOLICITANTE : JUAN GAMARRA ROJAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA

1602102) P – 3

PROCEDENCIA : Ate Vitarte  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 02 - 12  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 02 - 12  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 02 - 17  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 02 - 17

### RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1602102	Agua de Consumo (DIGESA)*
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes totales (NMP/100mL)	> 16 x 10 <sup>5</sup>	< 2.2
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/100mL)	> 16 x 10 <sup>5</sup>	< 2.2

(\*Especificaciones dadas por DIGESA para agua de consumo, en la NTS N° 071-MINSA/DIGESA-V.01, Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. XVI.4 Agua y hielo para consumo humano.

Nota: Los valores < 1.8 y < 2.2 indican ausencia de microorganismos en ensayo.

#### Método:

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

#### **Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio, en muestra proporcionada por el solicitante.

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

Validez del documento: Este documento es válido solo para la muestra descrita.

La Molina, 17 de febrero de 2016



*p. claudia...*

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)



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

**Nº 003006**

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO  
DE AGUA**

**SOLICITANTE** : JUAN GAMARRA ROJAS  
**PROYECTO** : Humedad artificial- tratamiento de aguas grises  
**PROCEDENCIA** : Asoc. De Viviendas " Señor de la Justicia" Ate Vitarte Lima  
**RESPONSABLE ANÁLISIS** : Ing. Nore Arévalo Flores  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 01 de Marzo del 2016

<b>Nº LABORATORIO</b>	<b>3006</b>
<b>Nº DE CAMPO</b>	P - 1 fecha muestreo: 17-02-16
<b>DBO<sub>5</sub> mgO<sub>2</sub>/L</b>	220.00
<b>DQO mgO<sub>2</sub>/L</b>	453.15
<b>Sólidos Suspendidos Totales mg/L</b>	200.00

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO  
  
ING. ANTONIO ENCISO GUTIÉRREZ  
JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

**Nº 003007**

**ANALISIS FISICO-QUIMICO  
DE AGUA**

**SOLICITANTE** : JUAN GAMARRA ROJAS  
**PROYECTO** : Humedad artificial- tratamiento de aguas grises  
**PROCEDENCIA** : Asoc. De Viviendas " Señor de la Justicia" Ate Vitarte Lima  
**RESPONSABLE ANALISIS** : Ing. Nore Arévalo Flores  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 01 de Marzo del 2016

<b>Nº LABORATORIO</b>	<b>3007</b>
<b>Nº DE CAMPO</b>	P - 2 fecha muestreo: 17-02-16
<b>DBO<sub>5</sub> mgO<sub>2</sub>/L</b>	140.00
<b>DQO mgO<sub>2</sub>/L</b>	247.55
<b>Solidos Suspendidos Totales mg/L</b>	110.00

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

  
ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ  
JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

**Nº 003008**

**ANALISIS FISICO-QUIMICO  
DE AGUA**

**SOLICITANTE** : JUAN GAMARRA ROJAS  
**PROYECTO** : Humedad artificial- tratamiento de aguas grises  
**PROCEDENCIA** : Asoc. De Viviendas " Señor de la Justicia" Ate Vitarte Lima  
**RESPONSABLE ANALISIS** : Ing. Nore Arévalo Flores  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 01 de Marzo del 2016

<b>Nº LABORATORIO</b>	<b>3008</b>
<b>Nº DE CAMPO</b>	P - 3 fecha muestreo: 17-02-16
<b>DBO<sub>5</sub> mgO<sub>2</sub>/L</b>	20.00
<b>DQO mgO<sub>2</sub>/L</b>	58.74
<b>Solidos Suspendidos Totales mg/L</b>	8.00

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

  
ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ  
JEFE DE LABORATORIO





## INFORME DE ENSAYO N° MAR1010.R16

<b>SOLICITANTE :</b>	JUAN GAMARRA ROJAS
<b>DOMICILIO LEGAL :</b>	Mz B Lt 20 Asociación Villa Del Mar Villa El Salvador, Lima,
<b>SOLICITADO POR :</b>	Juan Gamarra Rojas
<b>SOLICITUD DE SERVICIO AMBIENTAL:</b>	SSA N° 140-16 Cadena de Custodia N° 402-16/CERTIMIN
<b>REFERENCIA :</b>	Asoc. de Viviendas Señor de La Justicia Ate - Vitarte / Lima Humedad Artificial - Tratamiento de Aguas Grises
<b>FECHA DE MUESTREO :</b>	2016/02/25
<b>PROTOCOLO :</b>	--
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual Doméstica
<b>NÚMERO DE MUESTRAS :</b>	4
<b>PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS :</b>	Frascos de polietileno refrigerados y sellados.
<b>CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS : RECEPCIONADAS</b>	Muestra en buena condición para el análisis solicitado
<b>FECHA DE RECEPCIÓN :</b>	Jueves, 25 de Febrero de 2016
<b>IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS :</b>	Según se indica.
<b>FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO :</b>	2016-02-25 al 2016-03-03
<b>FECHA DE REPORTE :</b>	Jueves, 03 de Marzo de 2016
<b>PERIODO DE CUSTODIA :</b>	No Aplica

**SANTOS OROYA ROJAS**  
**Gerente de Laboratorios**

**CIP. 053644**

Lima, 3 de Marzo de 2016

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN S.A."

"Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce".

Los resultados corresponden a las muestras indicadas.



**INFORME DE ENSAYO**  
**N° MAR1010.R16**

**RESULTADOS**

Muestras		Elementos			
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Monitoreo	MON0000 Tipo Muestra	MA0789 Coliformes Fecales. NMP/100mL 1.8	MA0786 Coliformes Totales NMP/100mL 1.8
1	P-2	2016-02-25 12:10:00	Agua Residual Doméstica	2300000.0	11000000.0
2	P-3	2016-02-25 12:20:00	Agua Residual Doméstica	110000.0	2300000.0
3	P3-D1	2016-02-25 12:30:00	Agua Residual Doméstica	<1.8	--
4	P3-D2	2016-02-25 12:30:00	Agua Residual Doméstica	<1.8	--

Muestras proporcionadas por el cliente.  
Las muestras perecibles fueron analizadas dentro de las 24 horas.

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO  
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



Registro N°LE -022

INFORME DE ENSAYO  
N° MAR1010.R16

## CONTROL DE CALIDAD

Muestras QC		Elementos	
N°	Codigo de Servicio	MA0789	MA0786
	Elemento	Coliformes Fecales.	Coliformes Totales
	Unidad	NMP/100mL	NMP/100mL
	Limite de Detección LD	1.8	1.8
1	P-2 (Original)	--	11000000.0
2	P-2 (Dup)	--	7900000.0
3	P-3 (Original)	110000.0	--
4	P-3 (Dup)	79000.0	--



## METODOS DE ENSAYO Y CODIGOS DE SERVICIO

N°	Descripción			
	Analito	Denominación	Cod.Serv	(1) Norma o Referencia
1	Coliformes Fecales.	Coliformes Fecales (Termotolerantes)	MA0789	SMEWW 22nd Ed.2012. Part-9221 E1. Pág.9-74,9-75. APHA-AWWA-WEF. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant coliform test (EC medium).
2	Coliformes Totales	Coliformes Totales	MA0786	SMEWW 22nd Ed. 2012. Part-9221 B, Pág 9-66, 9-69. APHA-AWWA-WEF. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.

- (1) SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.  
 APHA : American Public Health Association.  
 AWWA: American Water Works Association.  
 WEF : Water Environment Federation.  
 EPA : Environmental Protection Agency.  
 ASTM: American Society for Testing and Materials.  
 ISO: International Organization for Standardization.  
 NTP: Norma Técnica Peruana.  
 NIOSH: The National Institute for Occupational Safety and Health.



## INFORME DE ENSAYO N° 1602089 - LMT

SOLICITANTE : JUAN GAMARRA ROJAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA :

1602089) LODO PRIMARIO

PROCEDENCIA : Ate Vitarte  
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
CANTIDAD DE MUESTRA : 02 muestra x 01 und. x 2 500 mL aprox.  
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 02 - 04  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 02 - 04  
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 02 - 04  
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 02 - 15

### RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1602089
<sup>1</sup> Conteo de larvas y huevos de Helminths, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/100mL)	11

#### **Método:**

<sup>1</sup>Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversión Waste in South Africa.(2008), Water Research Commission, Part 2. WRC Report N° TT322/08.

#### **Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio, en muestra proporcionada por el solicitante.

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

Validez del documento: Este documento es válido solo para la muestra descrita.

La Molina, 17 de febrero de 2016



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: [lmnt@lamolina.edu.pe](mailto:lmnt@lamolina.edu.pe)



## INFORME DE ENSAYO N° 1602090 - LMT

**SOLICITANTE** : JUAN GAMARRA ROJAS

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : AGUA

**1602090) P - 3**

**PROCEDENCIA** : Ate Vitarte  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 02 muestra x 01 und. x 2 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2016 - 02 - 04  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2016 - 02 - 04  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2016 - 02 - 04  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2016 - 02 - 15

### RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Análisis Microbiológico	Muestra 1602090
1Conteo de larvas y huevos de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. (N°/L)	0

**Método:**

1SMEWW 21st Ed. 2005, Part 10750. APHA-AWWA-WEF.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio, en muestra proporcionada por el solicitante.

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

Validez del documento: Este documento es válido solo para la muestra descrita.

La Molina, 17 de febrero de 2016



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)



**Nº 002922**

## **ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA**

**SOLICITANTE** : JUAN GAMARRA ROJAS  
**PROCEDENCIA** : Ate Vitarte -Lima  
**RESPONSABLE ANALISIS** : Ing. Nore Arévalo Flores  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 16 de Febrero del 2016

<b>Nº LABORATORIO</b>	<b>2922</b>
<b>Nº DE CAMPO</b>	<b>P - 3</b>
<b>Fosforo soluble mgP/L</b>	<b>1.40</b>
<b>Nitratos mg/L</b>	<b>0.77</b>

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

  
ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ  
JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**  
Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 002920**

## **ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA**

**SOLICITANTE** : JUAN GAMARRA ROJAS  
**PROCEDENCIA** : Ate Vitarte -Lima  
**RESPONSABLE ANALISIS** : Ing. Nore Arévalo Flores  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 16 de Febrero del 2016

<b>Nº LABORATORIO</b>	<b>2920</b>
<b>Nº DE CAMPO</b>	<b>P - 1</b>
<b>Nitrogeno mg N-NH<sub>4</sub>/L</b>	<b>20.22</b>
<b>Alcalinidad Tota mg CaCO<sub>3</sub>/L</b>	<b>424.23</b>

**LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO**

  
**ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ**  
JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**  
Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 002921**

## **ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA**

**SOLICITANTE** : JUAN GAMARRA ROJAS  
**PROCEDENCIA** : Ate Vitarte -Lima  
**RESPONSABLE ANÁLISIS** : Ing. Nore Arévalo Flores  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 16 de Febrero del 2016

<b>Nº LABORATORIO</b>	<b>2921</b>
<b>Nº DE CAMPO</b>	<b>LODOS PRIMARIOS</b>
<b>Sólidos totales mg/L</b>	<b>4313.00</b>

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

  
ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ  
JEFE DE LABORATORIO





## ANEXO 6

### CÁLCULO DE PARÁMETROS OPERACIONALES

#### Anexo 6.1: Estimación del caudal de tratamiento

Hora	Caudal (l/s)					Promedio Horario (l/s)
	17-ene-16	31-ene-16	07-feb-16	11-feb-16	17-feb-16	
07:00	0.0155	0.0171	0.0122	0.0153	0.0091	<b>0.014</b>
08:00	0.0152	0.0196	0.0127	0.0133	0.0148	<b>0.015</b>
09:00	0.0125	0.0161	0.0190	0.0100	0.0208	<b>0.016</b>
10:00	0.0120	0.0154	0.0157	0.0083	0.0118	<b>0.013</b>
11:00	0.0123	0.0149	0.0115	0.0045	0.0033	<b>0.009</b>
12:00	0.0162	0.0151	0.0143	0.0053	0.0058	<b>0.011</b>
13:00	0.0152	0.0197	0.0150	0.0087	0.0123	<b>0.014</b>
14:00	0.0170	0.0212	0.0160	0.0118	0.0141	<b>0.016</b>
15:00	0.0130	0.0154	0.0127	0.0178	0.0106	<b>0.014</b>
16:00	0.0135	0.0146	0.0127	0.0087	0.0141	<b>0.013</b>
17:00	0.0117	0.0144	0.0102	0.0083	0.0075	<b>0.01</b>
18:00	0.0115	0.0137	0.0103	0.0055	0.0071	<b>0.01</b>
<b>Promedio diario</b>	(l/s)	<b>0.014</b>	<b>0.0164</b>	<b>0.0135</b>	<b>0.010</b>	<b>0.0109</b>
<b>Promedio diario</b>	(m <sup>3</sup> /día)	<b>1.21</b>	<b>1.42</b>	<b>1.17</b>	<b>0.86</b>	<b>0.94</b>
<b>Promedio diario</b>	(l/s)	<b>0.013</b>				
<b>Caudal</b>	(m <sup>3</sup> /día)	<b>1.12</b>				
<b>Máximo horario</b>	(l/s)	<b>0.0212</b>				
<b>Mínimo horario</b>	(l/s)	<b>0.0033</b>				

### TRAMPA DE GRASA MODIFICADA

#### Anexo 6.2: Cálculo del tiempo de retención hidráulico

FECHA	Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Volumen útil (m <sup>3</sup> )	Tiempo de retención hidráulico (días)	Tiempo de retención hidráulico (horas)
<b>Calculo :</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=B/C</b>	<b>24xC</b>
17-ene-16	1.21	0.78	0.64	15.5
31-ene-16	1.42	0.78	0.55	13.2
07-feb-16	1.17	0.78	0.67	16
11-feb-16	0.86	0.78	0.91	21.8
17-feb-16	0.94	0.78	0.83	19.9
<b>Promedio</b>	<b>1.12</b>	<b>0.78</b>	<b>0.70</b>	<b>16.7</b>

## HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL

### Anexo 6.3: Cálculo del tiempo de retención hidráulico

FECHA	Área superficial (m <sup>2</sup> )	Altura del filtro (m)	Porosidad del filtro (%)	Caudal promedio (m <sup>3</sup> .día)	Tiempo de retención hidráulico (días)	Tiempo de retención hidráulico (horas)
<b>Calculo :</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>(AxBxC)/(Dx100)</b>	<b>24*(AxBxC)/(Dx100)</b>
17-ene-16	11.6	0.70	32.40	1.21	2.2	52.8
31-ene-16	11.6	0.70	32.40	1.42	1.9	45.6
07-feb-16	11.6	0.70	32.40	1.17	2.2	52.8
11-feb-16	11.6	0.70	32.40	0.86	3.1	74.4
17-feb-16	11.6	0.70	32.40	0.94	2.8	67.2
<b>Promedio</b>	<b>11.6</b>	<b>0.70</b>	<b>32.40</b>	<b>1.12</b>	<b>2.3</b>	<b>55.2</b>

### Anexo 6.4: Cálculo de la carga hidráulica superficial

Fecha	Caudal promedio (m <sup>3</sup> /día)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga Hidráulica superficial (mm/día)
<b>Calculo :</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A/(Bx1000)</b>
17-ene-16	1.21	11.6	104
31-ene-16	1.42	11.6	122
07-feb-16	1.17	11.6	101
11-feb-16	0.86	11.6	74
17-feb-16	0.94	11.6	81
<b>Promedio</b>	<b>1.12</b>	<b>11.6</b>	<b>97</b>

### Anexo 6.5: Cálculo de la carga orgánica

Fecha	Caudal promedio (m <sup>3</sup> /día)	DBO <sub>5</sub> ingreso humedal (mg/l)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga orgánica (g.DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> .día)
<b>Calculo :</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>AxB/C</b>
17-ene-16	1.21	200.5	11.6	20.9
31-ene-16	1.42	105	11.6	12.9
07-feb-16	1.17	171.67	11.6	17.3
11-feb-16	0.86	300	11.6	22.2
17-feb-16	0.94	140	11.6	11.3
<b>Promedio</b>	<b>1.12</b>	<b>183.4</b>	<b>11.6</b>	<b>17.7</b>

### Anexo 6.6: Cálculo de la superficie específica

FECHA	Área superficial (m <sup>2</sup> )	Caudal promedio (m <sup>3</sup> .día)	Superficie específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> .día)
<b>Calculo :</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A/B</b>
17-ene-16	11.6	1.21	9.6
31-ene-16	11.6	1.42	8.2
07-feb-16	11.6	1.17	9.9
11-feb-16	11.6	0.86	13.5
17-feb-16	11.6	0.94	12.3
<b>Promedio</b>	<b>11.6</b>	<b>1.12</b>	<b>10.4</b>

### Anexo 6.7. Cálculo de las personas equivalentes

FECHA	Caudal promedio (m <sup>3</sup> .día)	DBO <sub>5</sub> ingreso humedal (mg/l)	Carga unitaria (g DBO <sub>5</sub> /PE)	Personas equivalentes
<b>Calculo :</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>(AxBx1000)/C</b>
17-ene-16	1.21	200.5	50	5
31-ene-16	1.42	105	50	3
07-feb-16	1.17	171.67	50	4
11-feb-16	0.86	300	50	5
17-feb-16	0.94	140	50	3
<b>Promedio</b>	<b>1.12</b>	<b>183.4</b>	<b>50</b>	<b>4</b>



## ANEXO 7

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y

CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DOT-C-LMS 030/2016

Solicitante : JUAN GAMARRA ROJAS

Calicata : CONFITILLO

Proyecto : HUMEDAL ARTIFICIAL - TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES

Muestra : MAB

Ubicación : ATE - VITARTE - LIMA

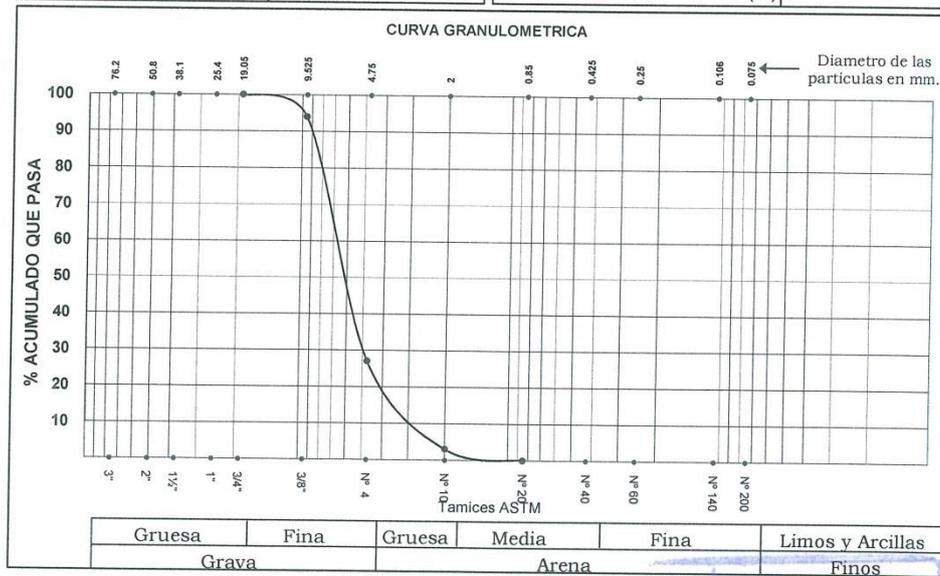
Profundidad : -

Fecha : La Molina, 12 de febrero de 2016

Tec. : M.M.R.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO NTP 339.128 / ASTM - D 422			LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM - D 427 / D 4318	
MALLA	ABERTURA mm.	% QUE PASA	Limite liquido (%)	-
3"	76.20		Limite plastico (%)	-
2"	50.80		Indice plastico (%)	-
1 1/2"	38.10		Limite de contraccion (%)	-
1"	25.40		Resultados: ASTM - D 2487 / D 3282	
3/4"	19.05	100	<b>Coefficiente de :</b>	
3/8"	9.525	94	-Uniformidad	
Nº 4	4.750	27	-Curvatura	
Nº 10	2.000	3	<b>Material :</b>	
Nº 20	0.850	0	-Grava	%
Nº 40	0.425		-Arena	%
Nº 60	0.250		-Finos	%
Nº 140	0.106			73
Nº 200	0.075			27
				0
			<b>Clasificación :</b>	
			-AASHTO	
			-SUCS	
			<b>Nombre de grupo:</b>	
			<b>CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216</b>	
			Humedad natural (%)	-



NOTA: La Muestra ha Sido Proporcionada e Identificada por el Solicitante.



Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta  
Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



## ANEXO 8

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### 1. Temperatura (°C)

##### Estadísticas descriptivas: P-1. P-2. P-3

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
P-1	22.940	1.369	1.873	5.97	21.100	23.100	24.800
P-2	23.360	0.451	0.203	1.93	22.600	23.600	23.700
P-3	23.140	0.541	0.293	2.34	22.400	23.100	23.800

##### ANOVA unidireccional: P-1. P-2. P-3

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	0,441	0,221	0,28	0,761
Error	12	9,476	0,790		
Total	14	9,917			

$S = 0,8886$      $R\text{-cuad.} = 4,45\%$      $R\text{-cuad. (ajustado)} = 0,00\%$

*ICs de 95% individuales para la media  
basados en Desv.Est. agrupada*

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
P-1	5	22,940	1,369	(-----*-----)
P-2	5	23,360	0,451	(-----*-----)
P-3	5	23,140	0,541	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				22,20      22,80      23,40      24,00

*Desv.Est. agrupada = 0,889*

*Agrupar información utilizando el método de Tukey*

	N	Media	Agrupación
P-2	5	23,3600	A
P-3	5	23,1400	A
P-1	5	22,9400	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

*Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas*

*Nivel de confianza individual = 97,94%*

*Se restó P-1 a:*

	Inferior	Centro	Superior	
P-2	-1,0782	0,4200	1,9182	(-----*-----)
P-3	-1,2982	0,2000	1,6982	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				-1,0      0,0      1,0      2,0

Se restó P-2 a:

	Inferior	Centro	Superior	
P-3	-1,7182	-0,2200	1,2782	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				-1,0      0,0      1,0      2,0

## 2. pH

### Estadísticas descriptivas: P-1. P-2. P-3

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
P-1	7,1500	0,0520	0,0027	0,73	7,0800	7,1500	7,2000
P-2	7,2740	0,1135	0,0129	1,56	7,1200	7,3000	7,4000
P-3	7,5340	0,1311	0,0172	1,74	7,3500	7,5400	7,7000

### ANOVA unidireccional: P-1. P-2. P-3

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	0,3841	0,1920	17,58	0,000
Error	12	0,1310	0,0109		
Total	14	0,5151			

S = 0,1045    R-cuad. = 74,56%    R-cuad. (ajustado) = 70,32%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
P-1	5	7,1500	0,0520	(-----*-----)
P-2	5	7,2740	0,1135	(-----*-----)
P-3	5	7,5340	0,1311	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				7,05      7,20      7,35      7,50

Desv.Est. agrupada = 0,1045

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
P-3	5	7,5340	A
P-2	5	7,2740	B
P-1	5	7,1500	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 97,94%

Se restó P-1 a:

	Inferior	Centro	Superior	-----+-----+-----+-----+-----+-----
P-2	-0,0522	0,1240	0,3002	(-----*-----)
P-3	0,2078	0,3840	0,5602	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----+-----
	-0,25	0,00	0,25	0,50

Se restó P-2 a:

	Inferior	Centro	Superior	-----+-----+-----+-----+-----+-----
P-3	0,0838	0,2600	0,4362	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----+-----
	-0,25	0,00	0,25	0,50

### 3. Conductividad eléctrica (µS/cm)

#### Estadísticas descriptivas: P-1. P-2. P-3

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
P-1	1168,0	105,5	11120,0	9,03	1050,0	1180,0	1270,0
P-2	1226,0	87,3	7630,0	7,12	1080,0	1240,0	1310,0
P-3	1228,0	55,9	3120,0	4,55	1130,0	1250,0	1270,0

#### ANOVA unidireccional: P-1. P-2. P-3

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	11613	5807	0,80	0,473
Error	12	87480	7290		
Total	14	99093			

S = 85,38 R-cuad. = 11,72% R-cuad. (ajustado) = 0,00%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+-----+-----	
P-1	5	1168,0	105,5	(-----*-----)	
P-2	5	1226,0	87,3	(-----*-----)	
P-3	5	1228,0	55,9	(-----*-----)	
				-----+-----+-----+-----+-----+-----	
		1140	1200	1260	1320

Desv.Est. agrupada = 85,4

Agrupar información utilizando el método de Tukey

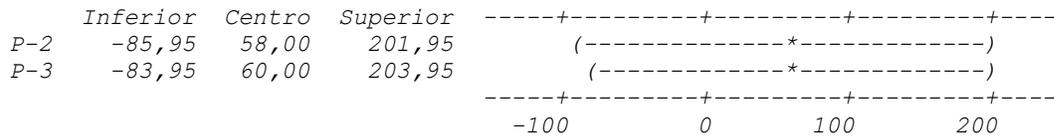
	N	Media	Agrupación
P-3	5	1228,00	A
P-2	5	1226,00	A
P-1	5	1168,00	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

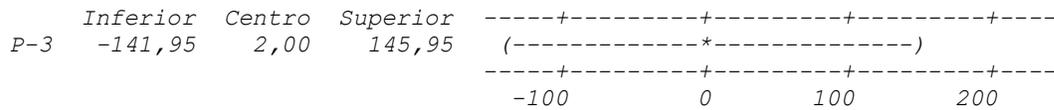
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 97,94%

Se restó P-1 a:



Se restó P-2 a:



#### 4. Aceites y grasas (mg/l)

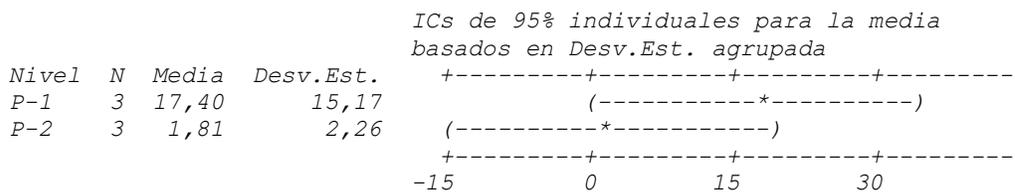
#### Estadísticas descriptivas: P-1. P-2

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
P-1	17,40	15,17	230,17	87,18	0,50	21,87	29,84
P-2	1,81	2,26	5,12	125,27	0,50	0,50	4,42

#### ANOVA unidireccional: P-1. P-2

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	1	365	365	3,10	0,153
Error	4	471	118		
Total	5	835			

S = 10,85    R-cuad. = 43,67%    R-cuad. (ajustado) = 29,59%



Desv.Est. agrupada = 10,85

Agrupar información utilizando el método de Tukey

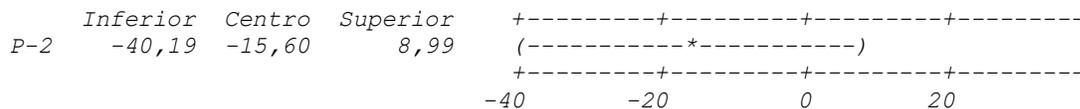
	N	Media	Agrupación
P-1	3	17,40	A
P-2	3	1,81	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 95,00%

Se restó P-1 a:



## 5. Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)

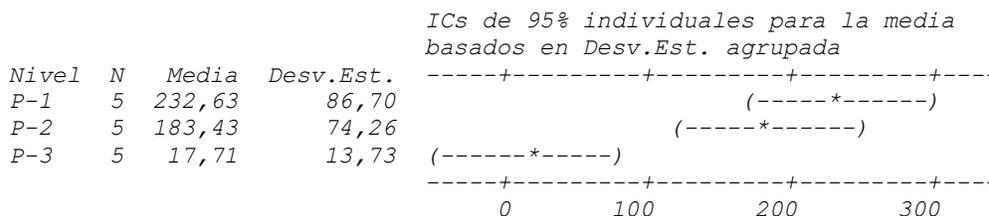
### Estadísticas descriptivas: P-1. P-2. P-3

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
P-1	232,6	86,7	7517,7	37,27	115,7	232,0	360,0
P-2	183,4	74,3	5513,9	40,48	105,0	171,7	300,0
P-3	17,71	13,73	188,41	77,51	6,60	15,30	40,00

### ANOVA unidireccional: P-1. P-2. P-3

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	126796	63398	14,39	0,001
Error	12	52880	4407		
Total	14	179676			

S = 66,38    R-cuad. = 70,57%    R-cuad. (ajustado) = 65,66%



Desv.Est. agrupada = 66,38

Agrupar información utilizando el método de Tukey

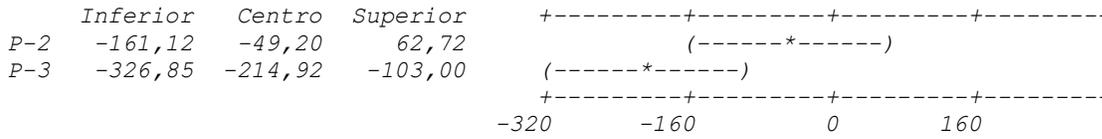
	N	Media	Agrupación
P-1	5	232,63	A
P-2	5	183,43	A
P-3	5	17,71	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

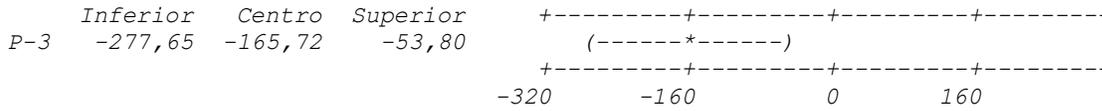
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 97,94%

Se restó P-1 a:



Se restó P-2 a:



## 6. Demanda química de oxígeno (mg/l)

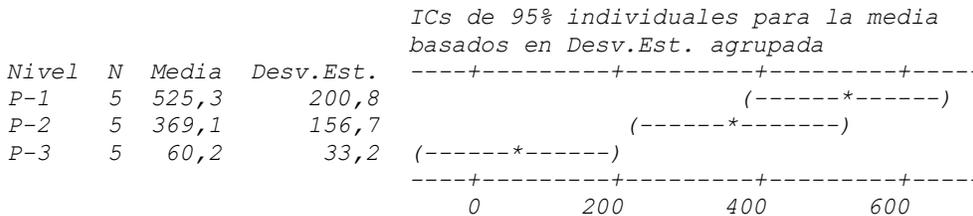
### Estadísticas descriptivas: P-1. P-2. P-3

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
P-1	525,3	200,8	40312,9	38,22	314,2	453,1	811,8
P-2	369,1	156,7	24550,4	42,46	223,8	364,4	617,6
P-3	60,2	33,2	1104,2	55,20	29,8	58,7	110,6

### ANOVA unidireccional: P-1. P-2. P-3

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	560162	280081	12,74	0,001
Error	12	263870	21989		
Total	14	824032			

S = 148,3    R-cuad. = 67,98%    R-cuad. (ajustado) = 62,64%



Desv.Est. agrupada = 148,3

Agrupar información utilizando el método de Tukey

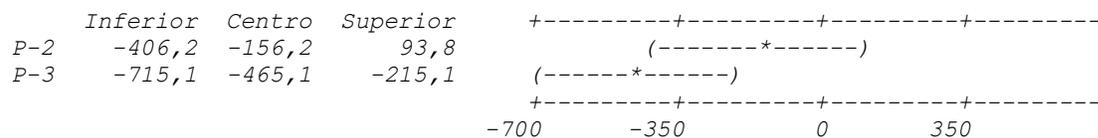
	N	Media	Agrupación
P-1	5	525,3	A
P-2	5	369,1	A
P-3	5	60,2	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

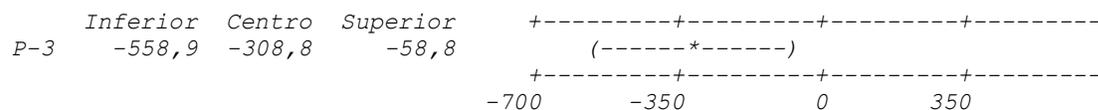
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 97,94%

Se restó P-1 a:



Se restó P-2 a:



## 7. Sólidos suspendidos totales (mg/l)

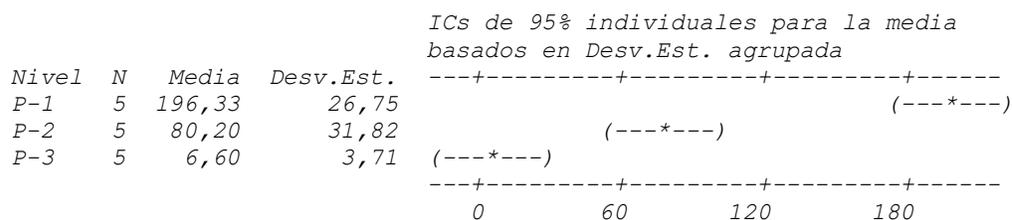
### Estadísticas descriptivas: P-1. P-2. P-3

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
P-1	196,3	26,7	715,4	13,62	169,0	200,0	227,0
P-2	80,2	31,8	1012,2	39,67	37,0	98,0	110,0
P-3	6,60	3,71	13,80	56,29	2,00	6,00	12,00

### ANOVA unidireccional: P-1. P-2. P-3

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	91504	45752	78,82	0,000
Error	12	6966	580		
Total	14	98470			

S = 24,09    R-cuad. = 92,93%    R-cuad. (ajustado) = 91,75%



Desv.Est. agrupada = 24,09

Agrupar información utilizando el método de Tukey

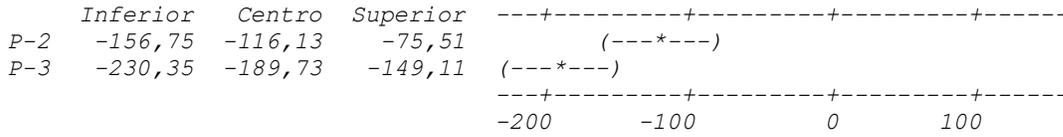
	N	Media	Agrupación
P-1	5	196,33	A
P-2	5	80,20	B
P-3	5	6,60	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

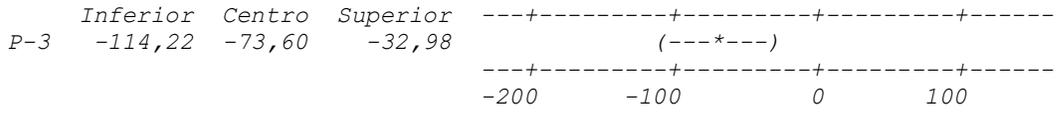
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
 Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 97,94%

Se restó P-1 a:



Se restó P-2 a:



**8. Solidos sedimentables (ml/l)**

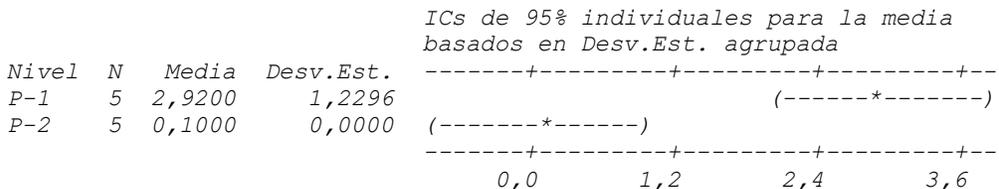
**Estadísticas descriptivas: P-1. P-2**

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
P-1	2,920	1,230	1,512	42,11	1,300	2,900	4,700
P-2	0,10000	0,000000	0,000000	0,00	0,10000	0,10000	0,10000

**ANOVA unidireccional: P-1. P-2**

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	1	19,881	19,881	26,30	0,001
Error	8	6,048	0,756		
Total	9	25,929			

S = 0,8695    R-cuad. = 76,67%    R-cuad.(ajustado) = 73,76%



Desv.Est. agrupada = 0,8695

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
P-1	5	2,9200	A
P-2	5	0,1000	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 95,00%

Se restó P-1 a:

	Inferior	Centro	Superior	
P-2	-4,0881	-2,8200	-1,5519	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				-3,0      -1,5      0,0      1,5

## 9. Turbiedad (UNT)

### Estadísticas descriptivas: P-1. P-2. P-3

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
P-1	179,3	62,5	3911,1	34,89	82,3	189,0	251,0
P-2	88,9	28,6	816,7	32,15	41,3	94,0	117,0
P-3	3,060	1,069	1,143	34,94	1,800	2,900	4,200

### ANOVA unidireccional: P-1. P-2. P-3

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	77633	38817	24,62	0,000
Error	12	18916	1576		
Total	14	96549			

S = 39,70    R-cuad. = 80,41%    R-cuad. (ajustado) = 77,14%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
P-1	5	179,26	62,54	(-----*-----)
P-2	5	88,90	28,58	(-----*-----)
P-3	5	3,06	1,07	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----  
0      70      140      210

Desv.Est. agrupada = 39,70

Agrupar información utilizando el método de Tukey

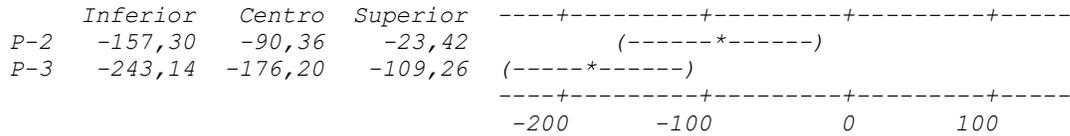
	N	Media	Agrupación
P-1	5	179,26	A
P-2	5	88,90	B
P-3	5	3,06	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

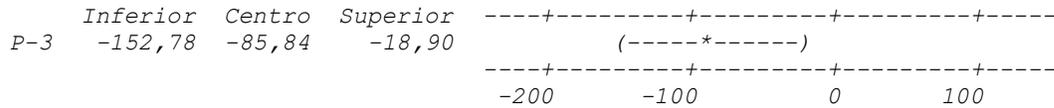
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 97,94%

Se restó P-1 a:



Se restó P-2 a:



## 10. Coliformes fecales (NMP/100ml)

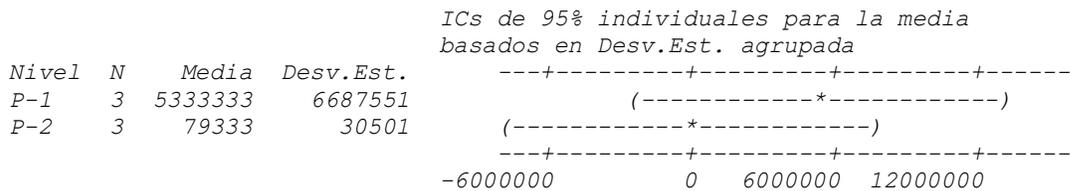
### Estadísticas descriptivas: P-1. P-2

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
P-1	5333333	6687551	4,47233E+13	125,39	700000	2300000	13000000
P-2	79333	30501	930333333	38,45	49000	79000	110000

### ANOVA unidireccional: P-1. P-2

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	1	4,14068E+13	4,14068E+13	1,85	0,245
Error	4	8,94485E+13	2,23621E+13		
Total	5	1,30855E+14			

S = 4728862    R-cuad. = 31,64%    R-cuad. (ajustado) = 14,55%



Desv.Est. agrupada = 4728862

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
P-1	3	5333333	A
P-2	3	79333	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones en parejas  
 Nivel de confianza individual = 95,00%

Se restó P-1 a:

	Inferior	Centro	Superior
P-2	-15974130	-5254000	5466130
-----+-----+-----+-----+-----			
P-2	(-----*-----)		
-----+-----+-----+-----+-----			
	-1,4E+07	-7000000	0 7000000

## 11. Coliformes totales (NMP/100ml)

### Estadísticas descriptivas: P-1. P-2

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana
P-1	172666667	274835102	7,55343E+16	159,17	11000000	17000000
P-2	1810000	1305871	1,70530E+12	72,15	330000	2300000

Variable	Máximo
P-1	490000000
P-2	2800000

### ANOVA unidireccional: P-1. P-2

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	1	4,37880E+16	4,37880E+16	1,16	0,342
Error	4	1,51072E+17	3,77680E+16		
Total	5	1,94860E+17			

S = 194339958 R-cuad. = 22,47% R-cuad. (ajustado) = 3,09%

ICs de 95% individuales para la media  
 basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+-----			
P-1	3	172666667	274835102	(-----*-----)			
P-2	3	1810000	1305871	(-----*-----)			
				-----+-----+-----+-----+-----			
				-2,0E+08	0	2,00E+08	4,00E+08

Desv.Est. agrupada = 194339958

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
P-1	3	172666667	A
P-2	3	1810000	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%  
 Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 95,00%

Se restó P-1 a:

	Inferior	Centro	Superior
P-2	-611417177	-170856667	269703844

P-2	+-----+-----+-----+-----			
	(-----*-----)			
	+-----+-----+-----+-----			
	-6,0E+08	-3,0E+08	0	3,00E+08