



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

EFICIENCIA DE LA ESPECIE CYPERUS PAPYRUS EN FUNCIÓN DE LA
GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA COMO MEDIO FILTRANTE PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Línea de investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambiental. Biorremediación

Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Ambiental

Autora:

De la Cruz Morales, Katherine Sofia

Asesor:

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

Jurado:

Naupay Vega, Marlitt

Alva Velasquez, Miguel

Sernaque Auccahuasi, Fernando

Lima - Perú

2025



“EFICIENCIA DE LA ESPECIE *Cyperus papyrus* EN FUNCIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA COMO MEDIO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
3	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
4	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Fundacion Universidad de America Trabajo del estudiante	<1%
6	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad San Francisco de Quito Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.uta.edu.ec	



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

EFICIENCIA DE LA ESPECIE CYPERUS PAPYRUS EN FUNCIÓN DE LA
GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA COMO MEDIO FILTRANTE PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Línea de Investigación

Tecnologías para residuos y pasivos ambiental. Biorremediación

Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Ambiental

Autora

De la Cruz Morales, Katherine Sofia

Asesor

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

Jurado

Naupay Vega, Marlitt

Alva Velasquez, Miguel

Sernaque Auccahuasi, Fernando

Lima – Perú

2025

Dedicatoria

A Dios, mi amado padre celestial, por su infinita compañía y protección a lo largo de este arduo y extenso trayecto que he recorrido en todos estos años. Por infundir en mí la fortaleza necesaria para superar cada obstáculo que se presentó en mi vida, así como por inspirar mi espíritu y guiar mi mente en la realización de este trabajo de investigación. Su amor y presencia han sido mi refugio.

A mi madre, Sofia Morales Remigio, mujer valerosa y de grandes cualidades. Gracias por tu inmenso amor, por confiar en mí y por enseñarme a nunca rendirme, siendo siempre perseverante en la búsqueda de mis ideales. Tu fortaleza y sabiduría han sido mi guía constante. A mi padre, Santos de la Cruz Lujan, fuiste un padre amoroso, cuya fortaleza y amor han sido faros inquebrantables en mi vida. Aunque esta no sea la profesión que deseabas que estudiara, y nuestras visiones diferían, siempre respetaste y confiaste las decisiones que tome a lo largo de mi vida.

A mis queridas hermanas, Susan Juliet, gracias por apoyarme económicamente en mis estudios preuniversitarios, sin ti no hubiera podido cumplir mi meta de estudiar en una universidad, y a ti Sharon Leslie, por enseñarme a confiar en mí misma, a no ser conformista, siempre has sido mi modelo a seguir, te admiro y respeto por todo lo que has logrado a nivel profesional

A mis amados sobrinos, Adrián y Katniss, hacedores de mis alegrías, los amo mucho.

Agradecimientos

A mi tío, Héctor Morales Garrido, quien es como un segundo padre para mí, gracias por tus consejos, por tu apoyo económico en los viajes realizados en la universidad, pero sobre todo por siempre estar ahí cuando más he necesitado de alguien. Así también a mi tía Neda Morales Garrido, por su confianza, y su ofrecimiento de apoyarme económicamente en mis estudios preuniversitarios. Los quiero mucho.

A Christopher Warren, por su ayuda en la redacción y traducción en inglés del resumen de mi tesis, gracias por tu apoyo emocional en momentos difíciles en mi vida, tus oraciones hacia mi familia fueron valiosas para mí, así también gracias por enseñarme amar más a Dios.

A mi asesor y gran amigo el Mg. Ing. Omar Vásquez Aranda, por su gran amistad. Sus enseñanzas han sido invaluable, su apoyo durante la fase experimental de mi tesis fue fundamental y sus correcciones han mejorado este proyecto. Gracias, querido profesor, nunca olvidare las hermosas palabras que dijo en mi sustentación.

Al Ingeniero Carlos Ballardo, gracias por su confianza en mi proyecto de investigación, sus palabras de aliento resonaron en mí, sé que los ángeles desde el cielo se sienten feliz de tenerlo.

A mis amigos, Nancy Vargas, por motivarme a iniciar mi tesis, por su apoyo en la recolección de muestras granulométricas, recolección de las aguas residuales y en el desarrollo de la fase experimental, así también a Juan Ticlla por su apoyo.

A mi querida Alma Mater Universidad Nacional Federico Villareal, por acogerme en su casa de estudios como alumna, por brindarme los conocimientos y las herramientas para fómame como una buena profesional.

INDICE

Resumen	12
Abstract.....	13
I. INTRODUCCION	14
1.1 Descripción y formulación del problema.....	15
1.2 Antecedentes	17
1.3 Objetivos	22
1.3.1 Objetivo General.....	22
1.3.2 Objetivos Específicos	22
1.4 Justificación	23
1.5 Hipótesis	24
II. MARCO TEORICO.....	25
2.1. Bases teóricas relacionadas al tema de investigación:	25
2.1.1. Aguas Residuales:.....	25
2.1.2. Clasificación de las aguas residuales	25
2.1.3. Composición de las aguas residuales domesticas	26
2.1.4. Tratamiento de aguas residuales	28
2.1.5. Características de importancia en aguas residuales	28
2.1.6. Principios del tratamiento biológico.....	32
2.1.7. Humedales artificiales	33
2.1.8. Funciones de los Humedales artificiales:	35
2.1.9. Especies Macrofitas	36
2.2. Marco Legal.....	42
III. METODO	45
3.1. Tipo de Investigación.....	45
3.2. Ámbito temporal y espacial	45
3.3. Variables.....	46
3.4. Población y Muestra	49
3.5. Instrumentos.....	49
3.6. Procedimientos.....	53
3.7. Analisis de datos	64
3.8. Consideraciones éticas.....	63
IV RESULTADOS	65
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	115

VI. CONCLUSIONES	118
VII. RECOMENDACIONES.....	119
VIII. REFERENCIAS	119
IX. ANEXOS	126

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Concentraciones de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales	26
Tabla 2 Límites máximos permisibles de los efluentes de PTAR.....	42
Tabla 3 Matriz de operacionalidad de la variable independiente	46
Tabla 4 Matriz operacional de la variable dependiente.....	47
Tabla 5 Lista de los equipos de laboratorio	48
Tabla 6 Lista de materiales del laboratorio	49
Tabla 7 Lista de Reactivos del Laboratorio.....	50
Tabla 8 Lista de materiales para la recolección de las aguas residuales domesticas.....	51
Tabla 9 Lista de materiales para la construcción del humedal de flujo subsuperficial.....	52
Tabla 10 Parámetros básicos registradas antes del tratamiento.....	64
Tabla 11 Promedio de la temperatura y potencial de hidrogeno de las aguas residuales domesticas de la PTAR antes de ser tratadas	66
Tabla 12 Resultados de parámetros fisicoquímicos del agua residual domestica antes de ser tratados	67
Tabla 13 Promedio de los parámetros fisicoquímicos del agua residual domestico de la PTAR antes del tratamiento.....	71
Tabla 14 Resultados de la temperatura y potencial de hidrogeno del sistema A	72
Tabla 15 Resultados de la temperatura y potencial de hidrogeno de las aguas residuales domesticas tratadas del sistema A.....	74
Tabla 16 Resultados de la temperatura y potencial de hidrogeno del sistema B.....	75

Tabla 17 Resultados de valores promedio de la temperatura y potencial de hidrogeno de las aguas residuales tratadas del sistema B.....	77
Tabla 18 Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno del sistema A	78
Tabla 19 Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxigeno del sistema B.....	80
Tabla 20 Promedio de los valores del DBO5 de los sistemas A y B.....	81
Tabla 21 Cuadro Comparativo del efluente inicial, sistema A y B	82
Tabla 22 Resultados de la Demanda Química de Oxigeno del Sistema A.....	84
Tabla 23 Resultados de la Demanda Química de Oxigeno del Sistema B.....	86
Tabla 24 Promedio de la Demanda Química de Oxigeno del Sistema A y B	87
Tabla 25 Cuadro Comparativo del efluente inicial del DQO, sistema A y B.....	88
Tabla 26 Resultados de los Solidos Suspendidos Totales del Sistema A.....	90
Tabla 27 Resultados de los Solidos Suspendidos Totales del Sistema B.....	93
Tabla 28 Promedio de los Solidos Suspendidos Totales de los Sistemas A y B.....	93
Tabla 29 Resultados de entrada y salida del efluente en el Sistema A y B.....	95
Tabla 30 Resultados de aceites y grasas del Sistema A	97
Tabla 31 Resultados de Aceites y Grasas del Sistema B.....	97
Tabla 32 Promedio de Aceites Y Grasas de los Sistemas A y B.....	97
Tabla 33 Resultados del ingreso y salida de aceites y grasas de los sistemas A y B	98
Tabla 34 Comparación porcentual de SST de los Sistemas A y B.....	100
Tabla 35 Promedio de remoción porcentual de SST de los Sistemas A y B.....	100
Tabla 36 Comparación Porcentual de la DBO de los Sistemas A y B.....	101
Tabla 37 Promedio de remoción porcentual de DBO5 de los Sistemas A y B	103

Tabla 38 Comparación porcentual de la DQO de los Sistemas A y B	103
Tabla 39 Promedio porcentual de la DQO de los Sistemas A y B	104
Tabla 40 Promedio porcentual de Aceites y Grasas de los Sistemas A y B.....	105
Tabla 41 Crecimiento de los esquejes de la especie <i>Cyperus papyrus</i> del sistema A	106
Tabla 42 Crecimiento del tallo de la especie <i>Cyperus papyrus</i> del Sistema A	111
Tabla 43 Crecimiento de los esquejes de la especie <i>Cyperus papyrus</i> del sistema B	112
Tabla 44 Crecimiento de los esquejes de la especie <i>Cyperus papyrus</i> del sistema B	112
Tabla 45 Crecimiento de tallos de la especie <i>Cyperus papyrus</i> del sistema B	113

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Metabolismo bacterial.....	29
Figura 2 Humedal artificial con la especie macrofita implantada.....	33
Figura 3 Especie <i>Cyperus papyrus</i>	36
Figura 4 Procesos de tratamiento de la PTAR María Reiche	40
Figura 5 Construcción del Humedal artificial usando la especie <i>Cyperus papyrus</i>	55
Figura 6 Potencial de hidrogeno de las aguas residuales del afluente.....	65
Figura 7 Temperaturas registradas de las aguas residuales del afluente	66
Figura 8 Resultados de la DBO de las aguas residuales domesticas antes del tratamiento.	68
Figura 9 Resultados de la Demanda Química de Oxigeno de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reiche antes del tratamiento.....	69
Figura 10 Resultados de Aceites y Grasas de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reiche antes del tratamiento.....	70
Figura 11 Resultados de Solidos Suspendidos Totales de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reiche antes del tratamiento.....	71
Figura 12 Resultados de los valores de temperatura del Sistema A.....	73
Figura 13 Resultados de los valores del potencial de Hidrogeno del Sistema A	74
Figura 14 Resultados de valores del potencial de hidrogeno del sistema B.....	76
Figura 15 Resultados de los valores de la temperatura del sistema B.....	77
Figura 16 Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del sistema A.....	79

Figura 17 Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del sistema B

81

Figura 18 Ingreso y Salida de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del Sistema A y B.....	83
Figura 19 Resultados de la Demanda Química de Oxígeno del Sistema A	85
Figura 20 Resultados de la Demanda Química de Oxígeno del Sistema B.....	87
Figura 21 Ingreso y Salida de la Demanda Química de Oxígeno del Sistema A y B	89
Figura 22 Resultados de los Solidos Suspendidos Totales del Sistema A	91
Figura 23 Resultados de los Solidos Suspendidos Totales del Sistema B	93
Figura 24 Ingreso y Salid de los Solidos Suspendidos Totales de los Sistemas A y B.....	94
Figura 25 Resultados de aceites y grasas del Sistema A	96
Figura 26 Ingreso y Salida de Aceites y Grasas de los Sistemas A y B.....	99
Figura 27 Promedio de remoción porcentual de SST de los Sistemas A y B.....	101
Figura 28 Promedio de remoción porcentual del DBO de los Sistemas A y B.....	103
Figura 29 Promedio de Remoción porcentual del DQO de los sistemas A y B.....	105
Figura 30 Promedios porcentuales de aceites y grasas de los Sistemas A y B.....	106
Figura 31 Relación entre los SST y la eficiencia en los Sistemas A y B.....	108
Figura 32 Relación entre los Aceites y Grasas y la eficiencia en los Sistemas A y B	108
Figura 33 Referencia de Demanda Bioquímica de Oxígeno en los sistemas A y B.....	109
Figura 34 Referencia de la Demanda Química de Oxígeno en los Sistemas A y B.....	110

Resumen

El objetivo es demostrar eficiencia de la granulometría de grava como medio filtrante utilizando la especie *Cyperus papyrus* para el tratamiento de aguas residuales. La investigación fue experimental, la metodología fue aplicada y el diseño tiene un enfoque cuantitativo. Las muestras de aguas residuales se obtuvieron de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales María Reiche, ubicada en el distrito de Miraflores. Las muestras fueron extraídas de la salida de la unidad de pretratamiento, para lo cual se instaló un depósito para distribuir las muestras residuales a los dos sistemas de humedales subterráneos. Se utilizaron diferentes tamaños de medios filtrantes en cada sistema, con un tamaño de grava que oscilaba entre 3/4 y 1 pulgada en el sistema A, mientras que en el sistema B, el tamaño de la grava era de 1 1/2 a 2 pulgadas. En ambos casos se utilizó la misma especie acuática, *Cyperus papyrus*. Esta investigación se realizó durante tres meses consecutivos, con un período de retención de siete días. La evaluación de las aguas residuales inicio antes de ingresar al humedal superficial y en la salida de los dos sistemas de humedales subsuperficiales. Se obtuvieron resultados de eficiencia de remoción de contaminantes de DBO en 94.61% y 78.13%, DQO en 84.40% y 77.26%, aceites y grasas en 90.61% y 80.14%, y SST en 90.23% y 72.97%, para el sistema A y B, respectivamente. En conclusión, se observó una diferencia en el porcentaje de eficiencia de eliminación de contaminantes en el sistema A en comparación con el sistema B. Los parámetros fisicoquímicos evaluados disminuyeron considerablemente después del tratamiento, especialmente en el sistema A.

Palabras clave: Humedales artificiales, sistema granulométrico, agua residual, grava

Abstract

The objective is to demonstrate efficiency of gravel granulometry as a filter medium using the *Cyperus papyrus* species for wastewater treatment. The research was experimental, the methodology was applied, and the design has a quantitative approach. The wastewater samples were obtained from the María Reiche Wastewater Treatment Plant, located in the district of Miraflores. These samples were extracted from the pre-treatment unit outlet, for which a tank was installed to distribute the residual samples to the two underground wetland systems. Different sizes of filtering media were used in each system, with the gravel size ranging from $\frac{3}{4}$ to 1 inch in system A, while in system B, the gravel size was 1 $\frac{1}{2}$ to 2 inches. The same aquatic species, *Cyperus papyrus*, was used in both cases. This research was conducted over three consecutive months, with a retention period of seven days. The evaluation of the wastewater started before entering the surface wetland, and at the outlet of the two subsurface wetland systems. Results of BOD at 94.61% and 78.13%, COD at 84.40% and 77.26 %, oils and greases at 90.61% and 80.14%, and TSS at 90.23% and 72.97%, for system A and B, respectively. In conclusion, a difference was observed in the percentage of pollutant removal efficiency in system A compared to system B. The physicochemical parameters evaluated decreased considerably after treatment, especially in system A.

Keywords: Artificial wetlands, granulometric system, wastewater, grave

I. INTRODUCCION

Se han explorado distintas técnicas y métodos para tratar las aguas residuales domésticas. Desde tecnologías tradicionales, como métodos fisicoquímicos y biológicos, hasta la utilización de reactivos químicos en la floculación y bacterias para descomponer contaminantes orgánicos. Sin embargo, el uso de productos químicos tiene a dejar residuos inorgánicos en el ambiente, mientras que los microorganismos enfrentan problemas ante compuestos que obstaculizan su crecimiento y desarrollo, lo que reduce la efectividad de estos métodos. Además, algunas técnicas, como el sistema de lodos activados, requieren energía adicional, pues las bacterias aeróbicas dependen de inyecciones de oxígeno para funcionar adecuadamente.

Los humedales artificiales han surgido como una opción para el tratamiento de aguas residuales, estos sistemas combinan plantas acuáticas y bacterias en una interacción simbiótica que logra resultados positivos. No obstante, la efectividad de los humedales artificiales depende de las características del lecho, que no siempre es el más adecuado para optimizar los niveles de depuración. La granulometría del lecho en estos sistemas es importante en cuanto a la capacidad para remover contaminantes orgánicos. Las granulometrías pueden variar desde gravas de diferentes tipos como los cantos rodados y cada tipo de lecho favorece distintas especies de plantas acuáticas que pueden mejorar la efectividad de tratamiento de aguas residuales domésticas.

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1 Descripción del problema

La falta de agua se considera un gran problema que se ha expandido a nivel global, el cual ha venido a nivel cuantitativo y cualitativo como recurso vital. Por eso para atender esta situación se proponen soluciones las cuales busquen resolver las dificultades para tener agua potable, así como el saneamiento básico. El cual incluye la gestión de las aguas residuales domésticas, ya sea para su reutilización o para reducirla contaminación de vertimientos. (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF], 2006).

A nivel mundial, se conoce que el 80% de las aguas residuales no tienen algún tratamiento, la cual perjudica a los países menos desarrollados que podrían verse afectados por la aparición de enfermedades que se podrían suscitar. El problema principal que aqueja a salud son aquellas aguas residuales que no tienen la disposición apropiada. Los tratamientos de aguas generan costos de inversión y operación muy altos que la mayoría de las comunidades no cuenta con los recursos para poder financiar (Rojas, 2021)

En América Latina y el Caribe solo el 77% no tiene acceso a un saneamiento seguro, tomando como resultado que solamente el 28% de las aguas residuales que se encuentran en la red pública son tratados previamente hacia el medio ambiente (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2017) . En el Perú el 70% de las aguas residuales no tienen tratamiento de aguas alguno, solo el 14% de las 143 plantas de tratamiento que existen cumplen con la normatividad vigente (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2008). Ante la difícil situación que presenta el sector de agua y saneamiento. En Lima se detallan que las aguas residuales generadas, solo el 15.3% son aguas tratadas, esto se debe a que la infraestructura de las PTAR no es suficiente para las cantidades que se generan de forma diaria, por lo cual estos podrían ocasionar no solo malos olores, sino también focos

infecciosos los cuales serían perjudiciales para la salud (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2015).

1.1.2 Formulación del Problema

a) Problema general

- ¿Cómo será la eficiencia de la especie *Cyperus papyrus* en función a la granulometría de la grava como medio filtrante en el tratamiento de aguas residuales domesticas?

b) Problemas específicos

- ¿Cómo será los resultados de los parámetros fisicoquímicos del afluente antes del tratamiento, con los valores de los límites máximos permisibles de la calidad de agua?
- ¿Cuál de los dos humedales artificiales de diferentes tamaños granulométricos, ambos utilizando *Cyperus papyrus*, es más eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas?
- ¿Cómo es el porcentaje de remoción de contaminantes de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas después del tratamiento?

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes Internacionales

Padilla (2019) En su trabajo de investigación “Remoción de Contaminantes inorgánicos de agua residuales industriales con *Eichhornia crassipes* o Jacinto de agua” el objetivo de este trabajo de investigación fue eliminar la carga orgánica para lo cual diseño un sistema piloto el cual estuvo compuesto por dos sistemas en paralelo. De acuerdo con los resultados que se obtuvieron en las aguas industriales donde la (DBO) fue entre 65% y 85%, Fosforo, se obtuvo 30% y 45 %, Nitrógeno fue de 40% y 60%, por lo que se puede concluir que representa una opción efectiva.

Paredes (2021), Construyó un humedal artificial en Ecuador , que tuvo como medio de tratamiento un girasol y un piñón , para ello utilizan la metodología aplicada y descriptiva , una vez ejecutado el procedimiento usando el girasol se logró a obtener del DBO₅ una remoción de 94.96% , en coliformes fecales el resultado fue de 100% y de SST el resultado fue 94.96% , respecto al uso del piñón se obtuvo la remoción del DBO₅ al 92.8% , en coliformes fecales el resultado fue de 99.47% , para SST el resultado fue de 90.53%, concluyendo que el girasol fue más eficaz.

Moreno (2018), en Colombia se usó una especie acuática lenteja de agua (*Lemna minor*) como tratamiento para la industria de curtiembres, el uso de la lenteja de agua para este tipo de tratamientos ha destacado puesto que se considera que esta especie acuática es muy eficiente para la remoción de materia orgánica, nitrógeno y fosforo, para el tratamiento de las muestras residuales contaminantes con el cromo divalente, el PRH fue de 18 horas, utilizo 300 gr de lenteja de agua y 4300 gramos de grava. Los resultados fueron DQO 97.11% en la *Lemna minor* y 99.91% para el cromo. Se llega a concluir que la *Lemna minor* retiene los contaminantes de los desechos generados en la industria curtiembre en Bogotá, considerándose un sistema económico, efectivo y de fácil instalación.

Lu (2004), en un estudio titulado “Removal of Cadmium and Zinc by Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*” uso plantas acuáticas para la fitorremediación utilizando humedales artificiales, el objetivo es eliminar (Cd) y (Zn), se usó el jacinto de agua con agua potable y se obtuvo diversas concentraciones de Cd (0,5;1;2 y 4 mg/l) Zn (5;10;20 y 40mg/l), los experimentos se realizaron en 4, 8 y 12 días, por lo que se observó que las plantas no se desarrollaban, ya que se veía afectada por los metales, y que estos se eliminaban de forma más rápida. Los jacintos que fueron tratados con 4mg/l de Cd tuvieron más acumulación en las raíces (2044mg/kg) brotes (113,2 mg/kg) en los 8 días; 40mg/l de Zn acumularon más en raíces (9652.1 mg/kg) y brotes (1926.7 mg/kg) en los 4 días. Se observó altos valores de bioconcentración de Cd (622.3) y Zn (788.9). Acorde a los resultados, el jacinto de agua actúa absorbiendo las concentraciones de los metales, para la remediación de aguas contaminadas así descendiendo los componentes de Cd y Zn.

1.2.2 *Antecedentes Nacionales*

Infante y Peña (2012) En su proyecto titulado “Evaluación de la eficiencia de remoción de un humedal artificial en función de la granulometría de grava en el medio filtrante” tienen por objetivo determinar la remoción de contaminantes, en relación con el tamaño del medio granulométrico del medio filtrante. Esta investigación duró por tres meses consecutivos comparando las eficiencias de remoción de los tres sistemas de humedal que habían construido los cuales denominó sistema (A) el cual es el humedal de grava pequeña, sistema (B) humedal de grava mediana y sistema (C) humedal de grava grande. El tamaño de las gravas osciló entre ½-¾ pulgadas, 1-1½ pulgadas y 2-2.12 pulgadas, respecto a la T°, pH y turbiedad, y la (DBO), (DQO) se midieron una vez por semana, respecto al DBO₅ los resultados de remoción de los sistemas fueron los siguientes: en el sistema (A) registro 86.34% sistema (B) 86.34% y en el sistema (C) 93.17%, en el caso de la remoción del DQO el sistema (A) registro 70.64%, sistema (B) 68.56%, sistema (C) 68.06%, los valores promedio del DBO₅ y DQO al ingreso y la salida de los humedales en el sistema (A) 64.14 mg/l y 186.89 mg/l, sistema (B) 17.34 mg/l y 73.00 mg/l y sistema (C) 35.29 mg/l y 79.22 mg/l respectivamente, en el caso de los resultados de evapotranspiración promedio fue de 744.06 cm³ en el primer mes, ya finalizando la fase experimental resultó ser 14137.17 cm³.

Valverde y Peña (2021) En su tesis titulada “Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el uso de humedales artificiales mejoradas con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis*”. cuya finalidad es analizar la eficacia de las cuatro variantes mejoradas en Humedales Artificiales utilizando dos plantas acuáticas, teniendo en cada sistema el mismo sustrato y las mismas condiciones ambientales, con un periodo de retención de tres días, una vez que se tuvo los cuatro prototipos de Humedales Artificiales Mejorados (HAM), en el prototipo HAM 4 se observó que fue mucho más eficiente puesto que incluyó a las dos especies acuáticas y tuvo un rendimiento superior en la eliminación de contaminantes

fisicoquímicos en comparación con otros modelos, en el HAM 3 redujo a un 99.9% los coliformes termo tolerantes, respecto al HAM 2 y HAM 1 tuvo niveles de remoción más bajos y tuvo una eficiencia inferior respectivamente, por lo cual se destaca la efectividad para reducir la contaminación del agua.

Gómez (2017), En su investigación titulada "Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales utilizando *Cyperus alternifolius* (paragüitas) y *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) para el tratamiento de aguas residuales", se estudiaron dos humedales artificiales verticales sembrados con estas dos especies de plantas macrofitas, en un piloto desarrollado en la UNALM, durante el período de enero a noviembre de 2016. Los resultados obtenidos con *Cyperus alternifolius* indicaron una reducción significativa en varios parámetros de las aguas residuales, como Coliformes Termo tolerantes, DQO, NH₄, DBO₅, SST, NT y PT, con eficiencias de remoción que oscilaron entre el 48.82% y el 99.59%. Por otro lado, con *Chrysopogon zizanioides*, se observaron reducciones similares en los mismos parámetros, aunque las eficiencias de remoción variaron entre el 56.59% y el 91.04%. Estos hallazgos demuestran el potencial de ambos tipos de plantas para purificar las aguas residuales, con *Cyperus alternifolius* mostrando una eficacia ligeramente superior en comparación con *Chrysopogon zizanioides*.

Valladares (2018) en la investigación llamada "Comparación de la eficiencia en remoción de carga orgánica entre el conjunto de especies de un Humedal artificial" que presenta solamente la macrófita *Chrissopogon zizanioides* (H1), un humedal artificial que no presenta macrófita (H2) y un humedal artificial que presenta el conjunto de macrófitas *Chrissopogon Zizanioides- Phragmites australis* (H3), esta investigación se desarrollado en los ambientes de CITRAR – UNI, durante un periodo de 5 meses, en dos etapas, 9 semanas en cada etapa, que tuvo un caudal de 250l/día, y segunda etapa fue de 09 semanas con un caudal de 350l/día obteniendo como resultado que el H3 la remoción de DBO₅ fue el H3 (60.03%

primera etapa y 55.53% segunda etapa) al igual que DQO (64.13% y 58.58%) en el caso de SST fue de (72.22% y 68%) Se concluyó que el consorcio de macrófitas es una opción efectiva para la degradación de desechos.

Reyna (2016), realizó un trabajo de “Tratamiento de aguas residuales domesticas a nivel familiar, con humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal”, mediante la especie macrofita emergente *Cyperus papyrus* cuyo finalidad fue determinar la eficiencia de remoción de las muestras residuales mediante humedales cuyo caudal de ingreso fue 0.03m³/día, los parámetros físico químicos analizados fueron (Coliformes Totales, Turbidez, pH, Conductividad Eléctrica, O.D, SDT, DBO, DQO, P. Total y N. Total). Se obtuvieron los Coliformes Termo tolerantes se redujeron de 7.9E+10 NMP/100 a 4E+1 NMP/100, alcanzando una eficiencia del 100 %, la Turbidez se redujeron de 527 NTU a 19.3 NTU alcanzando una remoción del 96 %, la DQO se redujo de 694.2 mg/l a 30.45 mg/l alcanzando una remoción del 96 %, y la DBO5 se redujo de 285.1 mg/l a 12.38 mg/l alcanzando una remoción del 96 %.

Mellado (2018), en su tesis “Determinación de la eficiencia de tres especies macrofitas para el tratamiento de aguas residuales domesticas” uso tres especies: *Typha dominguensis* (totora), *Phragmites australis* (carricillo) y *Schoenoplectus americanus* (junco), el TRH fue de 48 horas. Se midió los parámetros físicoquímicos antes y después del ingreso en cada sistema. La eficiencia del (DBO5) fue de 86.7%, 83.4% y 87% para *Typha dominguensis* (totora), *Phragmites australis* (carricillo) y *Schoenoplectus americanus* (junco) respectivamente; para la DQO se obtuvo, 70.37%, 72.85% y 70.12% en cada uno; para el caso de A y G, 97.10%, 95.91% y 96.90%.

Solís et al. (2016), en el artículo “Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales utilizando diferentes especies de vegetación macrofita” se establecieron los humedales artificiales con *Typha dominguensis* (espadaño) y *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) para flujo libre y *Paspalum paniculatum* (camalote) y *Cyperus articulatus* (chintul) de flujo subsuperficial. Se usó los controles de laguna sin especies macrofitas y únicamente con grava. El análisis Kruskal – Wallis reveló que la *T. dominguensis* fue más eficiente, siendo los resultados DQO 97.8%, DBO₅ 97.5%, SST 97.7%, y las especies *E. crassipes* y *C. articulatus* mostraron las menores eficiencias. Los PRH fueron 5.5 y 7.5 días.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia de la especie *Cyperus papyrus* en función a la granulometría de la grava como medio filtrante para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los resultados de los parámetros fisicoquímicos del afluente antes del tratamiento, con los valores de los límites máximos permisibles de la calidad del agua
- Determinar cuál de los dos humedales artificiales de diferentes tamaños granulométricos utilizando *Cyperus papyrus* es más eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas
- Evaluar el porcentaje de remoción de contaminantes de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas después del tratamiento

1.4 Justificación

1.4.1 Teórica

Se contemplo usar plantas acuáticas en los sistemas de humedales artificiales constituyen un papel fundamental en el tratar las aguas domésticas, puesto que son muy efectivas para la remoción de la materia orgánica a través de procesos físicoquímicos y biológicos, adicional a ello absorben metales pesados, nutrientes, lo que produce que los niveles de fosforo y nitrógeno se reduzcan; las raíces de dichas especies macrofitas y los sedimentos granulométricos facilitan la difusión del oxígeno, proporcionan una superficie extensa para la actividad microbiana, donde aumenta los procesos de aumento de la nitrificación y desnitrificación.

Así también al realizar el trabajo de investigación se consideró el tamaño de la granulometría de la grava en un humedal artificial debido al papel importante que ejercen en la eficiencia de las muestras residuales, los tamaños de partícula que son más grande, el flujo del agua es mejor ya que evitan la obstrucción, es decir es fundamental para la oxigenación, sin embargo, cuando se tiene la grava de tamaño más pequeño, proporciona una mayor superficie específica para la adhesión de biofilms microbianos logra que la eficiencia sea alta en la erradicación de nutrientes de material biológico.

1.4.2 Metodológica

La fitorremediación es una estrategia para proceso de las aguas servidas cuyo enfoque es económico, ecológico y sobre todo eficiente, por ello la fitorremediación así como la fitodegradación, fitoextracción y rizofiltración son fundamentales para el funcionamiento de los humedales, los cuales utilizan especies macrofitas permite el proceso de las aguas servidas, el cual emplea un diseño optimo a fin de maximice la interacción del agua, plantas y el lecho granular; para la elección de la granulometría adecuada es importante balancear el flujo

hidráulico, una vez integrado dentro del sistema de humedal que este sistema pueda ser óptimo, eficiente y sostenible así también permita la eliminación de desechos mediante los procesos físicos, químicos y biológicos, por lo que es sostenible, el costo es bajo para el procesamiento de las aguas servidas.

1.4.3 Práctica

Los humedales artificiales con diferentes tamaños granulométricos para el tratamiento de aguas servidas permite a nivel medio ambiental mejorar considerablemente la calidad del agua lo cual ayuda en la reducción de patógenos y enfermedades transmitidas por agua, así también promover la biodiversidad , tal como reducir la huella de carbono mediante procesos biológicos y naturales , conservan los recursos naturales ya que reduce la dependencia de productos químicos , y en cuanto a nivel social proporcionan soluciones a bajo costo de implementación y mantenimiento. ya que, al ser menos costosas, permite a las comunidades rurales y de bajos recursos realizar las construcciones de este tipo de sistemas de tratamiento.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

La eficiencia de la especie *Cyperus papyrus* varía en función a la granulometría de la grava como medio filtrante para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Los resultados de los parámetros fisicoquímicos de afluente antes del tratamiento exceden los valores límites máximos permisibles de la calidad de agua.
- El humedal artificial que utiliza la especie *Cyperus papyrus* con menor tamaño granulométrico es más eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas.
- La caracterización final de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas permitirá conocer el porcentaje de remoción de contaminantes.

II. MARCO TEORICO

2.1. Bases teóricas relacionadas al tema de investigación:

2.1.1. *Aguas Residuales:*

Es una mezcla de líquidos, así como también desechos que son transportados mediante el agua, a través de diversas fuentes urbanas e industriales (García, 2012). Son como el flujo de agua usada de hogares, negocios, actividades comerciales, entre otras fuentes las cuales se vierten en las alcantarillas (Metcalf y Eddy, 2014). Es un término usado por el cual se puede describir como el flujo de agua el cual será usado por la comunidad, estructura de dichas aguas servidas se puede ver afectada por la naturaleza de la comunidad y condiciones de la infraestructura (Mark, 2012).

2.1.2. *Clasificación de las aguas residuales*

2.1.2.1. **Aguas residuales domesticas:**

Desechos residenciales y comerciales, los cuales incluyen a los desechos fisiológicos u otros residuos, estos son generados por la actividad humana, por lo cual deben ser eliminados de forma correcta (Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental [OEFA], 2014). Estas aguas se descargan en las fuentes residenciales tales como hogares, instituciones y edificios (Metcalf y Eddy, 2014). Estas se generan en las actividades domésticas desarrolladas en el hogar, así también se consideran como aguas servidas, aguas fecales (Tchobanoglous et al., 2003)

2.1.2.2. **Aguas residuales industriales**

Estas aguas se consideran aquellas que resultan del proceso de desarrollo productivo, las cuales se considera los generados en los procesos de actividad energética, minera y agrícola,

agroindustrial (Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental [OEFA], 2014). Los efluentes generados por los procesos de producción en industrias, que pueden contener contaminantes específicos acorde a la actividad industrial (Metcalf y Eddy, 2014). Adicional a ello también sus efluentes de procesos productivos que pueden contener sustancias toxicas y estos se requiere una gestión adecuada (Bishop, 2015)

2.1.2.3. Aguas residuales municipales

Aguas industriales o pluviales que pasaron por un proceso de tratamiento, las cuales serían transportadas a las alcantarillas de tipo combinado. (OEFA, 2014)

2.1.3. *Composición de las aguas residuales domesticas*

(Seoanez, 1995) Están constituidos como físicos, biológicos y químicos. Tales como SST, patógenos, los, biodegradables, por lo que se realiza el procedimiento de tratamiento a fin de que pueden eliminarse. La composición puede variar, así como los rangos de contaminantes que tengan en su interior tales como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1*Concentraciones de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales*

Componente	Concentración Fuerte (mg/L)	Concentración Media (mg/L)	Concentración Débil (mg/L)
Solidos Totales	1200	720	35
Disueltos	950	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sedimentables	20	10	5
DBO	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrógeno Total	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fosforo Total	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad	200	100	50

Grasas- Aceites	150	100	50
-----------------	-----	-----	----

Nota: Adaptado de Metfcalf and Eddy, 1985

2.1.4. Tratamiento de aguas residuales

2.1.4.1. Tratamiento Preliminar

La finalidad de este tipo de tratamiento es eliminar los residuos que se puedan encontrar en las aguas residuales que pueden ocasionar interferencias en futuros procesos de tratamiento (Massieu, 2008)

A) Tratamiento Primario:

A lo que denominamos procesos de forma industrial, podríamos afirmar que las eficiencias que se generan no son absolutas. Las aguas tratadas constan de diferentes etapas, por lo que la finalidad de este tipo de tratamientos es eliminar los sólidos suspendidos que pasaron por un tratamiento preliminar para no interferir con el tratamiento secundario. (Massieu, 2008). El proceso elimina entre un 60% y 70% de SST y hasta el 30% de (DBO) orgánica sedimentable. Así también se emplean tanques de sedimentación primaria, tanques de flotación y lagunas primarias en sistemas de lagunas de estabilización. (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2010).

B) Tratamiento Secundario:

Son tratamientos microbiológicos principalmente buscan eliminar la materia orgánica disuelta y biodegradable dentro de tiempos de residencia hidráulica, es importante entender los aspectos microbiológicos, bioquímicos, que influyen en estos procesos antes de describir los equipamientos (Massieu, 2008). La predominancia del tratamiento son las reacciones bioquímicas por microorganismos logrando remover entre 50% y el 95% de la (DBO), los

cuales son usados en los lodos activados, lagunas de estabilización y biofiltros biológica. (MINAM, 2010).

C) Tratamiento Terciario:

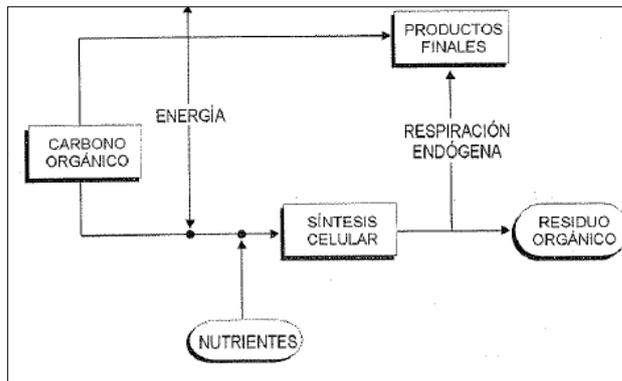
En este procedimiento elimina N, O, P. Generalmente, la meta de este nivel de tratamiento evitar la descarga de aguas previamente tratadas cause eutroficación o el crecimiento excesivo de algas en lagos, lagunas u otros cuerpos de agua con baja circulación.

Este fenómeno disminuye el OD, lo cual perjudica el ciclo vital acuático del cuerpo receptor. El efluente de las PTARS terciario se utilizan para el riego de terrenos agrícolas. Adicional a ello se puede usar como suministro de agua para uso industrial. (MINAM, 2010).

2.1.5. Características de importancia en aguas residuales

a) Bacterias:

Estos organismos son eubacteriales procarióticos unicelulares, pueden ser bacilos, cocos, espirales o espiroquetas filamentosas. Organismos importantes para la normalización del material biológico, estas se encuentran presenten en las excretas humanas, las cuales originan los problemas sanitarios si habitan en áreas muy poco insalubres. El crecimiento de estas bacterias se produce con un potencial de hidrogeno entre 6.5 a 7.5 y mayor a 9.5 y menores a 4 (Rojas, 2010)

Figura 1*Metabolismo bacterial*

Nota. Tomado de Rojas 2010 “Tratamiento de aguas residuales domesticas”

a) **Color:**

Estas aguas tienen una coloración grisácea, conforme a la antigüedad, esta se puede tornar en agua gris oscura y posterior a ello se vuelven negras (Rojas, 2010).

b) **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Para que los microorganismos degraden material orgánico es importante que tengan oxígeno, lo que permite evaluar la calidad de las aguas superficiales y residuales. Por eso se conoce cuanta demanda de oxígeno será requerido para equilibrar biológicamente la materia en el agua. (Rojas, 2010).

c) **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Permite medir el oxígeno de la sustancia orgánica oxidable químicamente, realizada por un químico oxidante, es por ello por lo que, para oxidar los compuestos orgánicos difíciles, se usa al sulfato de plata como catalizador, así también mide la carga del material orgánico en los diferentes tipos de agua, las cuales puedan afectar al medio ambiente. El poder interpretar de forma correcta los resultados de DO para la oxidación del material orgánico se ejecuta por el DBO o DQO, para ello se evalúan por medio de diversos factores. (Rojas, 2010).

d) Aceites y grasas (AyG)

Estas muestras se realizan con el reactivo hexano, son el C, H, O que se encuentran en el agua residual, estos en su forma emulsificada pueden tratarse en plantas de tratamiento biológico, sin embargo, si sus concentraciones son altas, esto se debería a la procedencia de grasas emulsificadas tales como, frigoríficos entre otros, lo que podría ocasionar dificultades en el cuidado de la PTAR (Rojas, 2010).

e) Materia Orgánica

Se puede estimar que los SST de aguas negras contiene un 75% de material biológico está constituida por (CHON), las proteínas comprenden entre el 40% al 60%, los carbohidratos entre 25% y 50%, aceites y grasas 10%, así como otros grupos (Rojas, 2010).

f) pH:

Son los iones de hidrogeno presentes en el agua. Donde las aguas residuales con las concentraciones inadecuadas de estos iones se consideran complicadas a tratar de manera biológica las aguas con un pH inferior a seis en un proceso de tratamiento biológico donde se da el crecimiento de los hongos en lugar de las bacterias. Un pH apropiado es importante para los procedimientos y tratamientos de supervivencia de los organismos biológicos, estos oscilan entre el rango de 6.5 y 8.5. En el caso de la descarga de efluentes, el rango será de 6.0 y 9.0. Respecto a las aguas duras, cuando se observa que la alcalinidad es predominante en los carbonatos e hidróxidos, se debe al aumento del pH, lo que produce el aumento de la precipitación del carbonato de Ca, ocasionando que el potencial de hidrogeno siga en aumento. (Rojas, 2010).

2.1.6. Principios del tratamiento biológico

2.1.6.1. Proceso Aeróbico:

Se trata del proceso de respiración de oxígeno, el oxígeno realiza la transferencia de electrones, durante este proceso, se genera la oxidación de otros compuestos con el carbono. Los organismos importantes son las bacterias, ya que, en un tratamiento aeróbico el material biológico se oxida de forma efectiva, porque forman una capa floculante que presenta buenas características para la remoción del material biológico. El oxígeno aeróbico entra en proceso para tener energía. necesaria para sintetizar un tejido celular nuevo, en la oxidación, el oxígeno libre es fundamental para los organismos aeróbicos como agentes para la oxidación de material orgánico. (Rojas, 2010).

De acuerdo con lo que menciona (Grady y Daigger, 2011) estas son las bacterias que aparecen en el proceso aeróbico.

- **Nitrosomonas spp.:** Realiza la oxidación del amoníaco (NH_3) en el proceso de nitrificación.
- **Nitrobacter spp.:** Realiza la oxidación de nitrito (NO_2^-) a nitrato (NO_3^-) complementando el proceso de nitrificación.

2.1.1.1. Proceso Anaeróbico. Se considera oxidación de materiales orgánicos, el cual no está presente el oxígeno libre, el cual es vital para el desarrollo los organismos anaeróbicos. Este proceso es de baja eficiencia en generar energía que el aerobio, debido a que la mayoría de la energía que se libera en el catabolismo anaeróbico proviene de las sustancias descompuesta que se reducirán como el metano. (Rojas, 2010)

Al estar en contacto con las especies macrófitas en un humedal artificial, estas proporcionan la estructura física y química, lo que genera la actividad de microorganismos

anaeróbicos, las raíces de estas especies macrofitas hacen que exuden los compuestos orgánicos los cuales son fuente de sustrato para los microorganismos (Vyzmazal, 2011)

Acorde a lo que menciona (Maier et al., 2009) Las Bacterias que se generan en el proceso anaeróbico son las siguientes

- **Clostridium spp.:** Participa en el hidrolisis y la fermentación de la materia orgánica
- **Methanobacterium spp.** y **Methanosaeta spp.:** Son productores de metano durante el proceso de metanogénesis.
- **Desulfovibrio spp.:** Reduce los sulfatos y la formación de sulfuro de hidrogeno

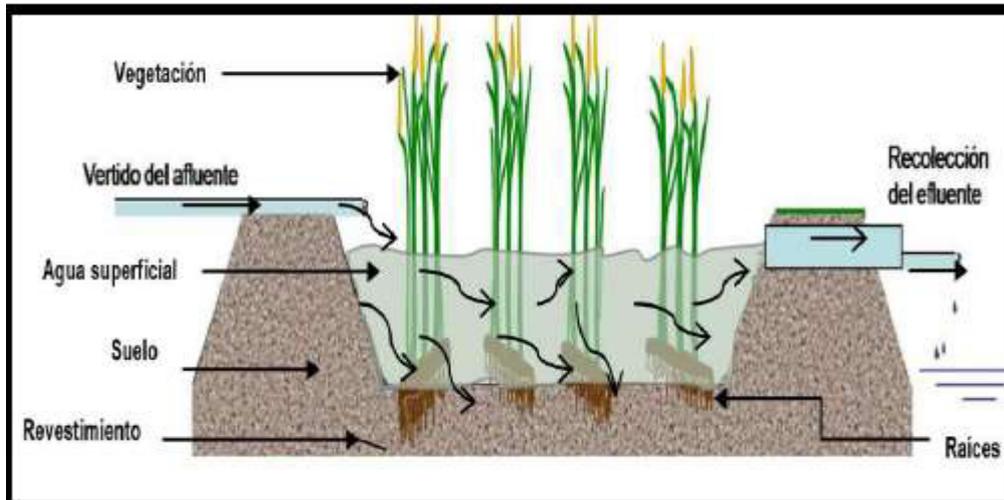
De acuerdo con lo que menciona (Brien, 2008) mencionan acerca de los virus son los menos estudiados si se hace una comparación con las bacterias, tales como los bacteriófagos.

2.1.7. Humedales artificiales

Se refieren a estructuras construidas las cuales tienen en su interior vegetaciones que están sumergidas, los cuales recrean naturalidad para el proceso los desechos de las aguas domésticas (Odum, 2000). Para tratar las aguas, podemos determinar los humedales de diferentes tipos. (Arias, 2010).

Figura 2

Humedal artificial con la especie macrofita implantada



Nota. Vegetación macrofita implantada en el humedal artificial. Tomado de García y Corzo (2008)

a. *Humedales artificiales utilizando especies macrofitas de hojas flotantes*

Entre las especies macrófitos podemos destacar el jacinto de agua y lenteja de agua, las cuales posee angiospermas sobre los suelos aneados (Delgadillo et al., 2010).

b. *Humedales artificiales utilizando especies basados en macrofitas sumergidas*

Entre las especies macrofitas que se encuentran dentro de este grupo son los musgos, carofitas, helechos, estas especies macrofitas, y demasiadas angiospermas vasculares únicamente llegan a 10 metros de profundidad (Delgadillo et al., 2010).

c. *Humedales artificiales con macrofitas enraizadas emergentes*

Se presentan como humedales de flujo superficial y subsuperficial, en el primer humedal se presenta cuando el agua pasa por entre los tallos de las macrofitas, en el segundo humedal se presenta cuando el agua recorre por debajo del lecho granular. (Delgadillo et al., 2010).

2.1.7.1. Humedal artificial de flujo Superficial

Consideran como zonas de terreno donde el agua superficial que circulan de manera temporal o permanente. Esto puede determinarlo en vista que se observa el agua se mantiene en la superficie de forma prolongada, estos humedales son importantes ya que permiten la regulación del ciclo del agua, así como la filtración de contaminantes (Gosselink y Mitsch., 2015) Generan gran cantidad de hábitats para diversas especies debido a que mitigan de inundaciones y regular el flujo hídrico (Gibbons et al., 1994), los cuales son importantes para la biodiversidad y la conservación del agua (Henry y Baird, 2021).

2.1.7.2. Humedal artificial de flujo Subsuperficial

Constituyen diferentes tipos de humedales (Delgadillo et al., 2010)

2.1.8. Funciones de los Humedales artificiales:

Conforme a lo que menciona (García y Corzo, 2008) las funciones son las siguientes:

- Control de inundaciones: Los humedales absorben el exceso de agua durante las lluvias intensas por lo cual permiten controlar las inundaciones.

- Calidad del agua: Otra de las funciones es optimizar calidad del agua es decir filtrar los contaminantes que pudiera tener lo cual hace que el agua sea mucho más segura.
- Filtración de Contaminantes: Realiza la eliminación de sustancias perjudiciales para el agua como nutrientes (nitrógeno y fosforo), metales pesados, materia orgánica, patógenos a través de los procesos biológicos, químicos y físicos.
- Estudio e investigación: Permiten realizar estudios e investigaciones en materia ambiental, estudios ecológicos y temas referentes al tratamiento de aguas.

2.1.9. Especies Macrofitas

Son importantes plantas para los humedales ya que proporcionan habitats para diversas especies acuaticas y contribuyen a darle estabilidad al suelo asi como brindar calidad al agua (Gosselink y Mitsh, 2015). Estas plantas estan constituidas por especies emergentes y sumergidas , estas especies macrofitas influyen en la dinamica del ecosistema al crear zonas de reproduccion y alimentacion para las diversas especies acuaticas (Gosselink y Mitsh, 2007).Contribuyen a la salud humana ya que reduce los riesgos con la contaminacion acuatica (Henry y Baird, 2021).

2.1.9.1. *Cyperus papyrus*

Reino : Plantae

Phylum : Magnoliophyta

Clase : Liliopsida

Orden : Cyperaceae

Se considera una planta acuatica, la cual presenta raices rizomatosas , la cual permite el rapido crecimiento , esta especie acuatica puede crecer hasta los 5 metros de altura, tiene hojas pequeñas en su base, sus inflorescencia se organiza en una umbela compuesta, su

bracteras son mas cortas que sus radios, las espiguillas son delgadas y de coloracion marron , esta especie florece durante la primavera y el verano (Inbuy, 2011). Nativa de los humedales de Africa y considerada como una planta ornamental (Carballeira y Souto, 2018). La temperatura optima de esta especie es de 20°C a 33°C, y tiene un pH varia de 6 y 8.5 (Turner, 1999).Las hojas son basales diminutas de coloración verdosa, alargadas, delgadas tambien con espigas marrones, de 10 a 30 cm de largo y sus hojas en forma de estrella. (Patiño y Zhinin , 2015).Esta especie macrofita crece en terrenos cuya caracteristica es arenosa y con mucha humedad, y demasiado sol durante todo el año , con ello su tronco puede estar totalmente sumergido en el agua (Zhinnin, 2011)

Figura 3

Especie Cyperus papyrus



Nota. Tomado de Asturnatura *Cyperus papyrus* <https://www.asturnatura.com/especie/cyperus-papyrus>

2.1.10. Medio filtrante de la construcción de humedales artificiales.

El medio filtrante, denominado poroso, granular o sustrato, es importante en los humedales artificiales. Sus funciones incluyen brindar el lecho a las plantas, se incentiva la unión de microorganismos y ayuda al asentamiento y retención de impurezas. (Li et al., 2010). Las propiedades de este medio influyen considerablemente en el comportamiento de los HFSSV, afectan el sistema como la permeabilidad del agua y del potencial de hidrogeno en líquido. (Kadlec y Wallace, 2008), la estructura microbiana (Huang et al., 2013; Li et al., 2010). El lecho granulométrico de los humedales, opera a través de diferentes maneras para la eliminación de sólidos. Tchobanoglous (1970) presenta algunos de ellos:

- **Retención mecánica:** Los fragmentos de más tamaño dimensiones de poros de medio de filtración permanecen retenidos por un efecto físico.
- **Retención por contacto:** Los fragmentos que son de menor dimensión que los poros se retienen al entrar en interacción con el lecho, un proceso denominado intercepción.
- **Sedimentación:** Algunas partículas se depositan en el lecho, esto se da por efecto de la gravedad.

Impactación: Las partículas que son más pesadas no siguen el curso del flujo

Se pueden dar otros mecanismos de depuración de solidos dependiendo de las propiedades del sustrato, entre ellos tenemos la degradación de material orgánico en el medio filtrante. (Kadlec, 1996):

- **Filtración/sedimentación:** El material orgánico fraccionado está presente en los sólidos presentes en las aguas negras, por procesos de depuración física y asentamiento a un parte de los compuestos orgánicos.
- **Biodegradación aerobia/anaerobia:** La alimentación intermitente y los procedimientos

de oxigenación en los ecosistemas, hacen que existan sistemas de zonas con presencia y ausencia de oxígeno dentro del lecho, lo cual favorece al desarrollo de las diferentes comunidades bacterianas, las cuales degradaran el material orgánico mediante diferentes vías. Organismos que están adheridos al lecho forman láminas de biopelículas y su desarrollo requiere del carbono, este proviene del material biológico que presente en las muestras residuales. La eliminación del N^+ tiene relación al sustrato mediante el proceso de filtración (Kadlec, 1996). La captación se comprende como el proceso acelerado de remoción en los humedales. (Huang et al., 2013).

Los lechos filtrantes son utilizados en los humedales, puesto que el lecho forma la base de las guías de diseño de humedales de flujo vertical. El área forma parte del lecho filtrante, el cual es muy usado para el tratar las aguas potables, así como el tratamiento terciario de aguas negras. El material presente en los sedimentos y dimensiones de sus partículas es de 60 μm y 2mm (Kadlec y Wallace, 2008) La arena puede clasificarse de diferentes tipos , pero se considera un material fino de mucha utilidad para la construcción de humedales para tratar las aguas negras, en comparación con la grava y otros sustratos , la grava tiene procedencia de lechos de los ríos así como en las costas de las playas donde es conocida como canto rodado que debido a la erosión natural, adquieren bordes redondeados, debido al constante movimiento genera que las rocas se desgasten ,su tamaño oscila entre 2 y 64 mm (Kadlec y Wallace, 2008), lo que genera poros más amplios que permiten un drenaje eficiente del agua, a fin de evitar el taponamiento (García et al., 2010). Las propiedades fisicoquímicas de la grava pueden variar por su origen lo que contribuye en la degradación de sus desechos (Stefanakis y Tsihrintzis, 2009).

2.1.11. Descripción de la Planta de Tratamiento María Reiche -Miraflores

A cargo de la empresa Capital Wáter cuenta con un área de terreno de 400 m², cuyo caudal de diseño es de 750m³ / día, la cual sirve para el riego de 15 parques, esta PTAR suministra un efluente apto para las áreas verdes con acceso al público, sometidos a procesos fisicoquímicos y microbiológicos para el riego tecnificado.

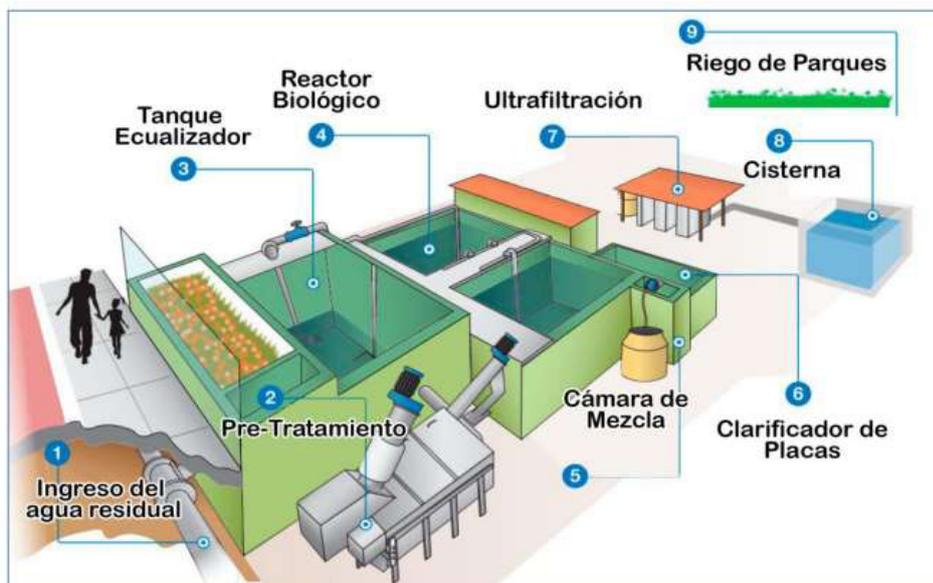
Procesos de Tratamiento de la PTAR María Reiche

- **Pre-Tratamiento:** Aquí se reserva las aguas residuales o aguas grises, en una de las cámaras de almacenamiento que tiene, las cuales son distribuidas por medio de un equipo mecánico que realizara el proceso de separación de los sólidos de gran tamaño, grasas, aceites del efluente.
- **Tanque Ecuilizador:** Espacio donde se almacena el agua pretratada, permaneciendo en dicho espacio por algunas horas a fin de regular el abastecimiento de los reactores.
- **Reactor Biológico de Lecho Móvil (MBBR):** Se da la modificación del proceso de lodos, el cual se añaden ciertos equipos que pueden ser plásticos, el trabajo de estos dispositivos es facilitar la adhesión de los microorganismos, una vez dada esta adhesión se formaran biopelículas que tienen por finalidad descomponer los restos orgánicos biodegradable que están presentes agua residual, lo que permite la densidad de microorganismos disminuyendo el volumen y los tiempos de retención. La biopelícula se desarrolla en las superficies del relleno, generando mayor efectividad superior en comparación con los flóculos biológicos.

- **Cámara de Mezcla:** En este lugar se procede a mezclar el agua que proviene de los reactores con el Sulfato de Aluminio cuyo propósito es facilitar la separación de los restos orgánicos.
- **Claridad de Placas:** Aquí por medio de un procedimiento físico se separan los sólidos del agua, que por medio de una tubería sale el agua por gravedad hacia la cisterna que alimenta el tratamiento terciario.
- **Cisterna:** Almacena el agua y con la ayuda de electrobombas sumergibles impulsan hacia el sistema de filtros
- **Sistema de Filtros:** Ayuda que la eficiencia de remoción de los SST, bacterias, entre otros, el agua filtrada pasa por una tubería hacia la cisterna de almacenamiento.
- **Desinfección:** Se añade NaClO para eliminar y disminuir la cantidad de microorganismos patógenos, aquí el agua tratada es almacenada en reservorios subterráneos

Figura 4

Procesos de tratamiento de la PTAR María Reiche



Nota. Tomado de la revista Miraflores en tu corazón (2016)

2.2. Marco Legal

Ley N° 28611- Ley General del Ambiente

Artículo N° 121 Del vertimiento de aguas residuales

El Estado, otorga una autorización preliminar para el vertido de aguas residuales domésticas, industriales o provenientes de otras actividades que realizan las personas naturales o jurídicas. Será posible si el vertido no perjudique la calidad del agua del cuerpo receptor ni afecte la posible reutilización para otros propósitos conforme a los ECA y la normativa legal vigente.

Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o Municipales – Decreto Supremo N° 003 – 2010-MINAM

En este decreto se establece los (LMP) para los efluentes de PTAR de aguas negras, con el objetivo de regular y definir los límites de concentración de sustancias nocivas en los desechos que se colocan en los cuerpos acuáticos. La norma fija las concentraciones máximas permitidas de diversos contaminantes en las aguas tratadas, define requisitos y límites para diferentes tipos de tratamiento, y especifica las condiciones técnicas que deben cumplir las PTAR para asegurar que los efluentes no sobrepasen los rangos establecidos en el D.S N° 003 – 2010 – MINAM.

Tabla 2*Límites máximos permisibles de los efluentes de PTAR*

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y Grasas	mg/L	20
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 mL	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota. Tomado de D.S. N° 003-2010-MINAM.

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua – D.S N° 004-2017-MINAM

Los ECA determinan definen los límites de concentración de contaminantes en cuerpos de agua para cuidar la naturaleza y la humanidad, lo cual permite garantizar las aguas superficiales y subterráneas que se mantengan en un estado adecuado, este decreto supremo permite garantizar una adecuada protección del recurso hídrico y promover prácticas que reduzcan la contaminación y preservación del agua buscando una mejor gestión de los recursos hídricos.

Ley General del Ambiente N° 28611

De acuerdo con lo que establece el MINAM, el estado debe garantizar que las personas tengan un nivel de calidad de vida digno, lo cual implica controlar y prevenir la degradación ambiental y de recursos naturales.

En el artículo 74, mencionan la prohibición de descargas de sustancias las cuales puedan generar contaminación y por ende generar un declive a los ecosistemas o en su defecto alterar la calidad del ambiente sin previo tratamiento, para lo cual es responsabilidad de las autoridades del estado hacerse responsables de las medidas de control, así como realizar muestreos para garantizar el cumplimiento de dicha disposición

Norma Técnica OS – 090 “Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”

D.S N°022-2009 – VIVIENDA, la cual promueve las prácticas de prevención de contaminación y así poder minimizar el impacto ambiental de las operaciones de tratamiento de aguas residuales, así también disponer de una correcta gestión de subproductos de tratamiento como lodos y residuos.

III. METODO

3.1. Tipo de Investigación

Es aplicada, puesto que se pretende utilizar los conocimientos adquiridos para resolver un problema relacionado al tratamiento de aguas residuales con el uso de una especie fitorremediadora y su tamaño de grano en el lecho filtrante. De acuerdo con Quezada (2015) “Los estudios aplicados contrastan los preceptos teóricos con la realidad, aplicándolos dentro del trabajo de campo o experimental” (p.25).

El enfoque del diseño de esta investigación es cuantitativo se define como experimental puro, ya que a nivel del laboratorio tenemos control absoluto de la variable independiente, es decir se modificará la variable independiente en relación con la especie fitorremediadora y las granulometrías del lecho filtrante, las cuales serán aplicadas en dos tratamientos diferentes.

3.2. Ámbito temporal y espacial

3.2.1. *Ámbito temporal*

Se ejecuto en los meses de marzo y setiembre del 2019, empezando con la recolección de material bibliográfico en marzo de ese año y el desarrollo de la fase experimental, construcción del humedal, recolección de la especie macrofita, aguas residuales, lecho granulométrico y análisis en laboratorio fueron entre mayo a setiembre del 2019.

3.2.2. *Ámbito Espacial*

Corresponde a las aguas residuales de un sector del distrito de Miraflores que ingresan a la Planta de Tratamiento “María Reich” (Coordenadas UTM: 12°06'56.6"S 77°02'55.1"W), aguas residuales domesticas que aún no son tratadas, los ensayos experimentales con las especies fitorremediadoras y sus granulometrías, así como los análisis de los parámetros fisicoquímicos serán llevados a cabo en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la

Facultad de Ingeniería Ambiental y Ecoturismo de la UNFV (Coordenadas UTM: 12°02'45.8"S
77°02'52.8"W)

3.3. Variables

3.3.1. Variables Independientes

- Eficiencia de la especie *Cyperus papyrus*
- Granulometría de la grava

3.3.2. Variables Dependientes

- Aguas Residuales Domesticas.

Tabla 3

Matriz operacional de la variable independiente

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
VARIABLE INDEPENDIENTE Eficiencia de la especie <i>Cyperus papyrus</i>	El <i>Cyperus papyrus</i> , es una planta acuática que crece en forma de matas que se extienden horizontalmente, además de un sistema radicular amplio. Sus tallos, son conocidos como cañas, son erectos, y alcanzan alturas de 2 a 5 metros, y tiene una base para medir de 6cm de ancho. Los tallos son lisos y tienen un tejido esponjoso que contiene grandes espacios intercelulares, los cuales permiten la circulación del aire y el transporte de oxígeno hacia las partes sumergidas de toda la planta. (Patiño. y Zhinin .)	La especie <i>Cyperus papyrus</i> se utiliza en el laboratorio para el tratamiento de aguas residuales domésticas, puesto que tienen compuestos para fijar nutrientes que son derivados de la mineralización de la materia orgánica. Se realiza dos pruebas experimentales con diferentes tamaños granulométricos, que se evaluaron a lo largo del tiempo para poder observar el desarrollo de la especie acuática.	Desarrollo	Tallo	Centímetros
				Tiempo	Días
				Esquejes	Unidad
VARIABLE INDEPENDIENTE Granulometría de la Grava	Parte de la Petrografía que trata de la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas de los suelos (RAE). Medida de las dimensiones y los porcentajes de las partículas o granos de una sustancia granulosa cualquiera, que se aplica a los sedimentos detríticos no compactados (Diccionario Geológico)	Los materiales que se han utilizado como soporte de filtración será la grava, y se clasifica en diferentes dimensiones de partículas para evaluar su impacto junto con el <i>Cyperus papyrus</i> en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.	Propiedades físicas	Tamaño	Pulgadas

Nota. Elaboración propia del desarrollo de las variables independientes

Tabla 4*Matriz operacional de la variable dependiente*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Dependiente	De manera específica, las aguas residuales domésticas hacen referencia a aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.), consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares (Mara, 1990).	Agua residual de naturaleza orgánica procedente de la actividad doméstica, o que se incorporan a estas por el escurrimiento a las redes de alcantarillado causado por las lluvias las cuales son tratadas en la PTAR "María Reich" en Miraflores, el cual presenta sustancias contaminantes que deben ser determinados mediante parámetros fisicoquímicos y no deben exceder los Límites Máximos permisibles establecidos por norma.	Parámetros físicos	Temperatura	C°
				pH	0 - 14
				SST	mg/L
			Parámetros químicos	Aceites y Grasas	
				DBO	mg/L
				DQO	

Nota. Elaboración propia del desarrollo de la variable dependiente

3.4. Población y Muestra

3.4.1. Población

Las muestras residuales fueron extraídas de la PTAR “María Reich” captadas de un sector del distrito de Miraflores. cuyo caudal de diseño es de $750\text{m}^3 / \text{día}$, la cual sirve para el riego de 15 parques.

3.4.2. Muestra

La muestra para tomar para la parte experimental será de aproximadamente 168 litros. Sabiendo que los ensayos consideran dos sistemas de tratamiento con granulometrías diferentes, el total de muestras a tomar en cuenta será aproximadamente 84 litros para cada sistema

3.5. Instrumentos

Se usaron los siguientes:

- Ficha de recolección de datos.
- Protocolo de toma de muestras de las aguas residuales domésticas.
- Métodos estandarizados para determinaciones fisicoquímicas.
- Fichas textuales.

3.5.1. Materiales y equipos para el análisis desarrollado en el laboratorio

A) Equipos de Laboratorio

Tabla 5

Lista de los equipos de laboratorio

Equipos de Laboratorio	Medición de Parámetro
Incubadora	Demanda Bioquímica de Oxígeno
Potenciómetro marca HACCH	

Esterilizador seco	Aceites y Grasas
Maquina destiladora	
Bomba de vacío GE Comercial	
Lampara Infrarroja	Solidos Suspendidos Totales
Colorímetro DR/890 Colorimeter	
Balanza Analítica	
Reactor Digital	Demanda Química de Oxigeno
Potenciómetro manual	pH
Termómetro manual	Temperatura

B) Materiales de Laboratorio

Tabla 6

Lista de materiales del laboratorio

Materiales	Cantidad
Matraz Erlenmeyer	02 unid
Desecador	01 unid
Pipetas de 2-5 ml	06 unid
Soporte universal	01 unid
Fiola de 100ml	04 unid
Probetas de 50ml	02 unid
Tubos de Ensayo	03 unid
Pinzas de metal	01 unid

Vaso precipitado de 50ml	02 unid
Fiola de 100ml	04 unid
Vaso precipitado de 50ml	02 unid

C) Reactivos

Tabla 7

Lista de Reactivos del Laboratorio

Insumos Químicos	Cantidad
Ácidos sulfúricos	400 ml
Ácido clorhídrico	180 ml
Hexano	900 ml
Fosfato diácido de potasio (K)	10 gr
solución de digestión DQO	120 ml
Diácido de potasio	03 gr
Cloruro férrico	03 gr
Cloruro de amonio	12 gr
Sulfato de Mercurio (Hg)	10 gr
Sulfato de Plata (Ag)	08 gr

3.5.2. *Materiales para la recolección de muestras de las aguas residuales domesticas*

Los materiales utilizados para la recolección de las muestras de aguas residuales de la PTAR María Reiche fueron los siguientes:

Tabla 8

Lista de materiales para la recolección de las aguas residuales domesticas

Materiales	Cantidad
Cooler	01 unidad
Galoneras de 15 litros de capacidad	02 unidades
Potenciómetro	01 unidad
Guantes quirúrgicos	100 pares
Termómetro	01 unidad
Frascos de 100 ml	02 unidades
Frasco de 100 ml esmerilado	01 unidad
Guardapolvo	01 unidad
Papel toalla	01 unidad

3.5.3. *Materiales para la construcción del humedal artificial de flujo subsuperficial*

A continuación, se detalle la lista de materiales que se usaron para realizar la construcción del humedal artificial.

Tabla 9

Lista de materiales para la construcción del humedal de flujo subsuperficial

Materiales	Cantidad
Llaves de ingreso de media pulgada (1/2")	03 unid
01 metro de tubo de media pulgada	01 unid
Conectores (hembra y macho)	03 unid
Codos de 1 pulgada	02 unid
Recipientes de PVC de 30 litros de Medidas 47.4*77.5*45.7 cm	03 unid
	02 unid

3.6. Procedimientos

3.6.1. Dimensionamiento de los Humedales artificiales

Estas se determinan por las ecuaciones dadas por el EPA (Environmental Protection Agency) usado para aplicar criterios de construcción de humedales artificiales.

Hallando la constante de velocidad de reacción: Se aplica la siguiente formula, la cual depende de la temperatura.

$$K_r = K_{20} * 1.05^{(T-20)}$$

Donde:

K_{20} : Es el valor constante de reacción a 20° C

T: Temperatura media en el humedal, en este caso fue de 15.7 °C

Reemplazando los valores tenemos:

$$K_r = K_{20} * 1.05^{(15.7-20)}$$

$$K_r = 1.2 * 1.05^{-4.3}$$

$$K_r = 1.2 * 0.814$$

$$K_r = 1.2 * 0.9768 \text{ día}^{-1}$$

Hallando el área superficial (As): Se calcularía de la siguiente manera:

$$As: 0.775\text{m} * 0.474\text{m}$$

$$As: 0.367\text{m}^2$$

Hallando el Q: Caudal, tendríamos que aplicar lo siguiente:

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

Donde:

TRH: Es el tiempo de retención hidráulica (días)

V: Volumen efectivo del humedal (m^3)

Q: Caudal ($\text{m}^3/\text{día}$)

Usando los valores que tenemos:

$$As: 0.367 \text{ m}^2$$

$$y: 0.457\text{m}$$

$$n: 0.5$$

$$V: As * y * n$$

$$V: 0.367 * 0.457 * 0.5$$

$$V: 0.0839\text{m}^3$$

Hallando el Caudal:

$$Q = \frac{V}{\text{TRH}} = \frac{0.0839 \text{ m}^3}{07 \text{ días}}$$

Reemplazando valores

$$Q: 0.012\text{m}^3/\text{ día}$$

3.6.2. Procedimiento de la construcción del humedal artificial

a) Se construye los dos humedales artificiales, los cuales serán empleados para tratar las aguas residuales, el prototipo de humedales se construyó en la parte externa del laboratorio de Geografía y Ambiental (LAGEMA)

b) La captación de las muestras domesticas se recopilaron en la PTAR María Reiche, los humedales fueron construidos de plástico, con las siguientes dimensiones 45.7x47.4x77.5cm. El material que se utilizó como medio filtrante fue la arena gruesa y la grava contenida de diferentes tamaños en cada humedal artificial de diferentes rangos, en el sistema A se tendrá la grava de $\frac{3}{4}$; 1 pulgada de tamaño, y en el sistema B se tendrá la grava 1 $\frac{1}{2}$, 2 pulgadas de tamaño

c) Se realizo la instalación de la unión de los tubos, con los respectivos accesorios, como válvulas, tubos, codos, y se instaló las cañerías en la parte superior de los humedales de los sistemas A y B.

d) Después se deposita la grava dentro de los sistemas A y B de diferentes tamaños, posterior a ello se coloca la arena gruesa.

e) Después se implanta la especie emergente *Cyperus papyrus*.

f) Por último, se ejecuta la P. Hidráulica para así comprobar la funcionalidad del humedal, no se presentó estancamiento de las aguas limpias, y en las dos cañerías instaladas en la parte superior de cada sistema, se podría recoger las muestras, una vez verificado

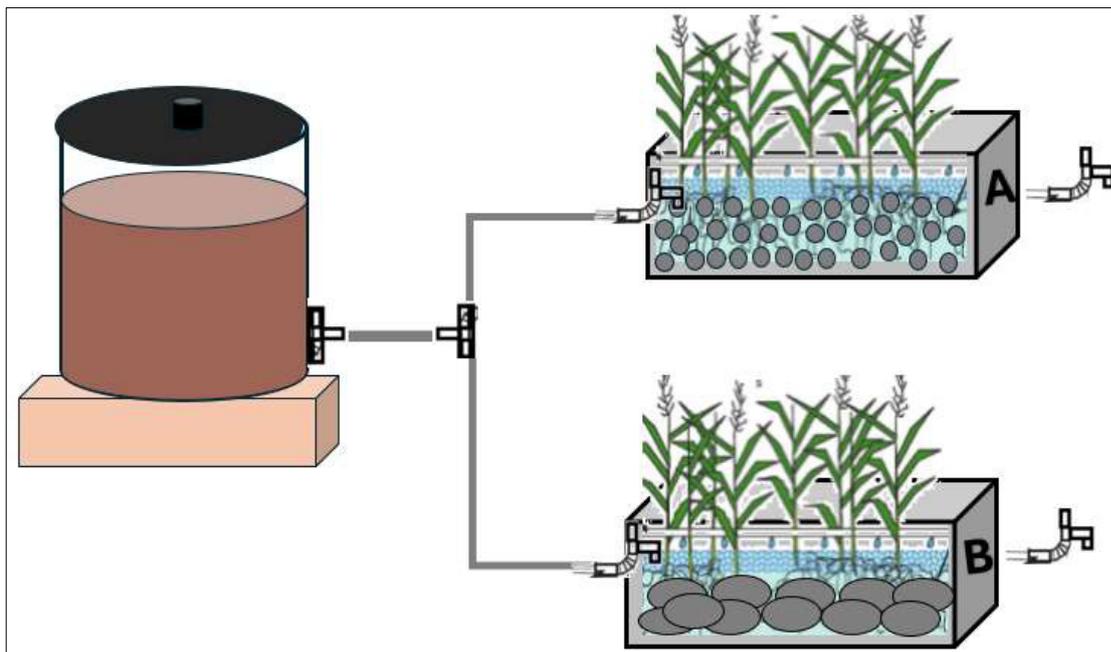
g) El funcionamiento de todo el sistema se procedió a colocar en el reservorio mayor el agua residual doméstica.

h) Monitoreo del funcionamiento del humedal:

i) Luego que ya se instaló los sistemas A y B, se dejó pasar el proceso de depuración por 7 días, el cual fue el periodo de retención hidráulica, posterior a ello, se realizó la evaluación de los parámetros fisicoquímicos entre las 7:30 am hasta las 12pm

Figura 5

*Construcción del Humedal artificial usando la especie *Cyperus papyrus**



Nota. Se realizó la construcción de 02 humedales con diferentes tipos de tamaños granulométricos, ambos con la misma especie macrofita *Cyperus papyrus*.

3.6.3. Procedimiento para el Análisis de los parámetros fisicoquímicos antes del tratamiento:

Análisis de los parámetros fisicoquímicos

- Caracterización del agua residual doméstica, donde se analizarán los parámetros fisicoquímicos iniciales como la DBO, DQO, SST y Aceites y Grasa. Todos los ensayos serán realizados en el laboratorio LAGEMA de la FIGAE-UNFV. Todos los ensayos serán realizados de acuerdo con los métodos de la APHA.

- Mediciones periódicas y registro de datos de la especie fitorremediadora, etapa donde se llevará a cabo el control y mediciones del desarrollo de la especie en el tiempo considerado en el estudio de julio a setiembre del 2019.

- Análisis de los parámetros fisicoquímicos después de cada tiempo de tratamiento, hasta cumplir los tres meses de tratamiento final., con registro de datos periódicos y finales

Para determinar los siguientes parámetros fisicoquímicos se realizó lo siguiente:

A). Determinación de Aceites y Grasas

Se aplica la partición gravimétrica.

El vaso precipitado estuvo en la estufa alrededor de 30´ min a una T° de 80°C, una vez pasado los 30 min con la ayuda de unas pinzas retiramos de la estufa el vaso y lo colocamos en el desecador por un lapso de 10 min, transcurrido ese tiempo se lleva a la balanza analítica y se escribe peso que se indica.

Posteriormente se coloca el soporte de decantación y se conecta con la pera de decantación de capacidad de 500ml.

Se midió 500ml de la muestra residual con la ayuda de una probeta se extrae 500ml y a y dentro de la pera de decantación se añadió 5ml de HCl. (HCl) y 25 ml de hexano, se agito la pera de decantación conteniendo los elementos ya mencionados por un lapso de 5 min abriéndose la llave que tiene la pera de decantación para liberar el gas, pasado este tiempo se dejó decantar por 30 min.

Transcurrido ese tiempo aparece una membrana con viscosidad, se abre poco a poco la llave para que salga la muestra que contenía la pera de decantación excepto el líquido viscoso que contenía la muestra de A y G. Se extrajo la membrana viscosa y se colocó en el vaso precipitado que fue anteriormente fue pesado y colocado en la estufa.

Teniendo el vaso precipitado con la muestra de líquido viscoso se coloca en la estufa por un periodo de 1 hora a una temperatura de 80°C, pasado ese lapso se colocó por 15 minutos en el desecador y a continuación se colocó en la balanza analítica y se anotó su peso.

Una vez que se obtuvo las anotaciones del peso del vaso precipitado seco (VPS) sin muestra y vaso precipitado seco con muestra, la diferencia de ambos pesos se registra en gramos

$$\text{VPS [(con muestra) – (sin muestra)]} = [\text{A y G}]$$

Ecuación 1: Diferencia de pesos

Se hace la conversión de gramos a miligramos y el resultado se dividió entre el volumen el cual fue 0.5 litros (volumen de la muestra residual).

$$[\text{AyG}]g \times 1000 \text{ mg} = [\text{AyG}]m$$

Ecuación 2: Peso en mg/l

$$([\text{AyG}]mg) / 0.5 \text{ litros} = [\text{AyG}]mg/l$$

Ecuación 3 Peso de aceites y grasas expresado en mg/l

B.) Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Para hallar este parámetro se puso en la esfera de reloj un papel filtro e ingresa a la estufa usando las pinzas, por un periodo de 30 minutos a una temperatura de 105°C, una vez terminado dicho tiempo se llevó al desecador por un lapso de 10 minutos, y posteriormente se registra el peso obtenido en la balanza A., se registró el peso y se colocó finalmente en el desecador.

Luego se armó la bomba de vacío, un vaso de filtración y un matraz Erlenmeyer. Se midió 40 ml de la muestra residual doméstica, se retiró la lámina de filtración, e inicio el comienzo al proceso de filtración, se encendió la bomba y se esperó que comience la filtración, una vez filtrado todo el agua residual, se retiró la lámina de filtración del sistema y se expone en la luz infrarroja por 10 minutos, posteriormente se llevó a la estufa por dos horas y se sometió a una temperatura de 105°C. Pasado ese tiempo se llevó al desecador por 10 min y se anotó el pesaje final que registra en la balanza.

$$\text{mg SST /L} = [(B-A) * 1000] / \text{volumen muestra (ml)}$$

Donde:

A: peso del filtro seco antes de la filtración (en mg)

B: peso del filtro + residuo seco (en mg)

C). Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Se realizó la prueba de DBO por 05 días, para esto se tuvo que preparar los reactivos y para hallar el oxígeno disuelto inicial, para ello se realizó con la ayuda del oxímetro para medirlo de forma directa.

Preparación de reactivos:

- Tampón sulfato de magnesio

Para empezar, se midió 2.25 gr de (NH₄Cl) en la balanza analítica y a continuación se vertió en un vaso precipitado y se añadió 100 ml de agua destilada, posteriormente se vertió en una botella de plástico y posterior a ello se procedió al rotulado respectivo

- Cloruro de Calcio

Se midió 2.75 gr de cloruro de calcio (CaCl₂) en la balanza analítica, y a continuación se vertió en un vaso precipitado y se añadió 100 ml de agua destilada, posteriormente se vertió

En una botella de plástico y se procedió al rotulado respectivo.

➤ Tampón fosfato

Medimos lo siguiente:

0.85 gr de (KH₂PO₄)

0.17 gr de (NH₄Cl)

3.34 gr de (Na₂HPO₄)

Una vez pesado estos compuestos se vertieron en un vaso precipitado y se diluyeron con 100 ml de agua destilada, posteriormente esta dilución se colocó en un envase de plástico y se rotulo respectivamente.

➤ Cloruro férrico

Se medio 0.025gr de cloruro férrico (FeCl₃) en la balanza analítica, y a continuación este se vertió en un vaso precipitado y se añadió 100 ml de agua destilada, posteriormente se vertió en una botella de plástico y se rotulo

Preparación del agua de dilución:

En un recipiente se añadió 1000 ml de agua destilada y a la vez 1ml de cada uno de los 4 reactivos mencionados líneas arriba, se tapó el envase y se empezó a agitar por un periodo de 45 minutos. Posteriormente en una Fiola de 1000ml se añadió 20ml de muestra de agua residual doméstica y se enraso hasta los 1000ml con agua de dilución, luego se procedió a agitar por 20 minutos. Una vez agitada la Fiola se procedió a colocarlos en un frasco winkler, previamente se verifico que, al enrasar nuestra agua de dilución en los frascos, estos no presenten burbujas.

Medición del oxígeno disuelto:

En el primer frasco winkler se dio lectura al oxígeno disuelto inicial; esta lectura se dio

con ayuda del oxímetro. La base del oxímetro se lavó con agua destilada, se secó con un paño absorbente y a continuación dicha base se introdujo en el frasco winkler y se inició la lectura y posterior anotación de oxígeno disuelto inicial.

En el segundo frasco winkler (enrasado sin burbujas) se tapó y se guardó en la incubadora a una temperatura de 20°C; este frasco se mantuvo por un periodo de 5 días, pasado ese lapso se procedió a la lectura del oxígeno disuelto final con la ayuda del oxímetro.

$$\text{Oxígeno disuelto inicial (ODi) (ml) - Oxígeno disuelto final (OD5) = [ODf]ml}$$

Ecuación 3 Peso final del oxígeno disuelto expresado en ml

$$[\text{ODf}]ml / 0.015ml = \text{DBO5 mg/l}$$

Ecuación 3 Obtención del DBO5 expresado en mg/l

Donde:

$$1ml = 1mg/l$$

Mg/l, y el valor de dilución es 15:1000

A) Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se aplicó para determinar este parámetro de la técnica análisis colorimétrico el cual se realizó la preparación de los siguientes reactivos:

Solución de digestión:

Se agrego a 500 ml de agua destilada 10.216 gr de (K₂Cr₂O₇) el cual estuvo seco, sometido a una temperatura de 103°C por un periodo de 2 horas, 167 ml de H₂SO₄ concentrado y 33.3 gr de sulfato de mercurio (HgSO₄). Se disolvió, enfrió a T° ambiente y enraso a 1000 ml.

Solución de (H₂SO₄):

Se agrego sulfato de plata (Ag_2SO_4), ácido sulfúrico concentrado en una relación de 5.5 g/kg de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Se espero 1 a 2 días antes de usar esta solución para permitir la disolución completa de Ag_2SO_4 .

Posteriormente se preparó 04 diluciones para determinar (DQO)

Blanco:

En un tubo de ensayo se agregó 1.5 ml de solución de digestión, 2.5 ml de agua destilada y 3.5 ml de H_2SO_4

Estándar 1 (500mg/L):

En un tubo de ensayo se colocó 1.5 ml de solución de digestión, 2.5 ml de estándar 1 (500 ppm) y H_2SO_4 a 3.5 ml

Estándar 2 (1000mg/L):

En un tubo de ensayo se colocó 1.5 ml de solución de digestión, 2.5 ml de estándar 2 (1000 ppm) y H_2SO_4 a 3.5 ml.

Muestra:

En un tubo de ensayo se colocó 1.5 ml de solución de digestión, 2.5 ml de muestra de agua doméstica y H_2SO_4 a 3.5 ml.

3.6.4. Procedimiento de análisis granulométrico

Se realizó el procedimiento de análisis granulométrico de los fragmentos granulométricos en un material granular o suelo, a fin de comprender las propiedades físicas del material, para ello es importante conocer la distribución de tamaños de partículas permite clasificar el suelo o material según sistemas de clasificación estándar. El análisis granulométrico es importante debido que al realizar una adecuada elección de lecho que se

aplicará en los sistemas de humedales, por lo que el tamaño de las partículas influirá en la estabilidad del sistema (Hans, 1993).

Las muestras de canto rodado fueron obtenidas en la cantera Playa – La Punta, las cantidades utilizadas como lecho filtrante para ser usada en el humedal artificial fueron llevadas al laboratorio de ensayo de materiales “Ing., Manuel Gonzales de la Coterá”, los cuales fueron sometidas a un proceso de análisis granulométrico a fin de conocer el tamaño de las partículas conforme a lo establecido a la NTP 400.012.2018 y el procedimiento interno AT-PR-24.

Acorde a lo que menciona (Das, 2010) describe el procedimiento para realizar la distribución de los tamaños de partículas en un suelo o material granular, para ello se realiza lo siguiente:

Preparación de la muestra: Se tiene que elegir, así como preparar la muestra del material que se va a analizar. Dicha muestra debe estar muy seca a fin de evitar la aglomeración de partículas finas.

Selección de matices: Se usará diversos matices estándar, los cuales son matices de malla de diferentes tamaños, que estarán organizados de mayor a menor tamaño de abertura, en ellos se incluyen los tamaños como 4.75 mm, 2 mm, 1mm, 0.5mm, 0.25mm, 0.125mm, 0.075m, entre esos rangos.

Colocación de las muestras en tamices: La muestra se debe colocar en un tamiz superior y la serie de tamices se somete a agitación mediante una maquina vibratoria por un periodo de 10 a 15 minutos para que se separen de acuerdo con su tamaño.

Pesado de las fracciones: Una vez que se realiza la agitación se pesa la cantidad, así como el material que pasa por el matiz más pequeño.

Calculo y representación de resultados: Aquí se calcula el porcentaje del peso retenido en cada tamiz y en cada porcentaje total del material que pasa en cada matiz.

Interpretación: La curva detalla información sobre el material, cuando la curva

inclinada se observa las medidas de las partículas, mientras que una curva vertical indica un rango más estrecho de tamaños de partículas.

3.7 Análisis de Datos

Se utilizó el Microsoft Excel para análisis tablas y figuras, así como para el análisis de datos aplicando la línea de tendencia exponencial de los valores porcentuales de remoción de contaminantes de los sistemas A y B; y para el procesamiento y orden de la información se usó Microsoft Word.

3.8 Consideraciones éticas

La recolección de las muestras residuales se realizó entre los meses de marzo a octubre del 2019, para ello se realizó el trabajo de investigación conforme a lo establecido en la metodología de estudio, respecto a los análisis de los parámetros fisicoquímicos los cuales se ejecutaron en el (LAGEMA) fue ejecutado por la tesista guiada por el jefe de laboratorio. Respecto a la redacción de la presente investigación, obtención de fuentes bibliografías y descripción de conceptos, se realizó conforme lo establecido en la Normativa APA 7ma edición, así como lo que establece el Reglamento General de Grados y Títulos de la UNFV.

IV RESULTADOS

Una vez realizado la construcción del humedal artificial y posterior análisis, se procedió a registrar los resultados obtenidos

4.1. Resultados de los parámetros del afluente

4.1.1. *Parámetros Básicos del afluente*

A continuación, se detalla los resultados de los análisis que se realizaron a las aguas residuales domésticas, antes de ser distribuidas a los dos sistemas de humedales artificiales con diferente tamaño granulométrico, se midieron los parámetros básicos y fisicoquímicos.

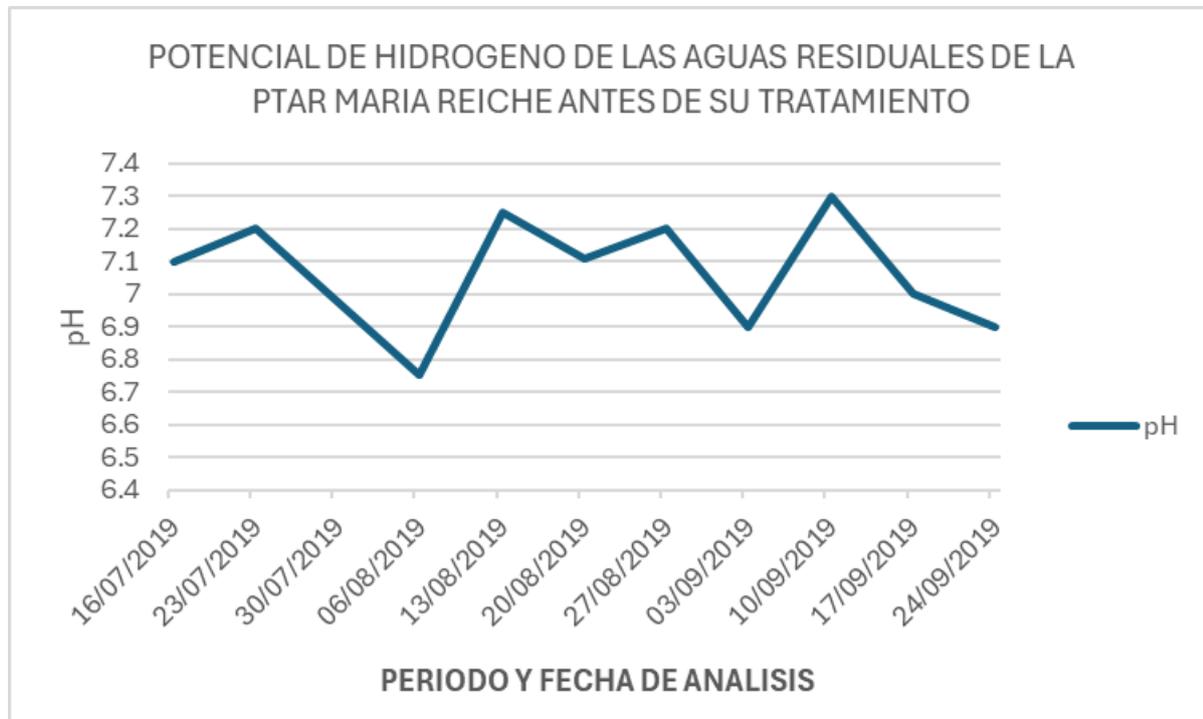
Tabla 10

Parámetros básicos registradas antes del tratamiento

Periodo y fecha de análisis	Temperatura (C°)	pH
16/07/2019	15.30	7.10
23/07/2019	16.00	7.20
06/08/2019	16.10	6.75
13/08/2019	17.40	7.25
20/08/2019	16.20	7.11
27/08/2019	16.50	7.20
03/09/2019	16.10	6.90
10/09/2019	15.20	7.30
17/09/2019	16.00	7.00
24/09/2019	16.00	6.90

Figura 6

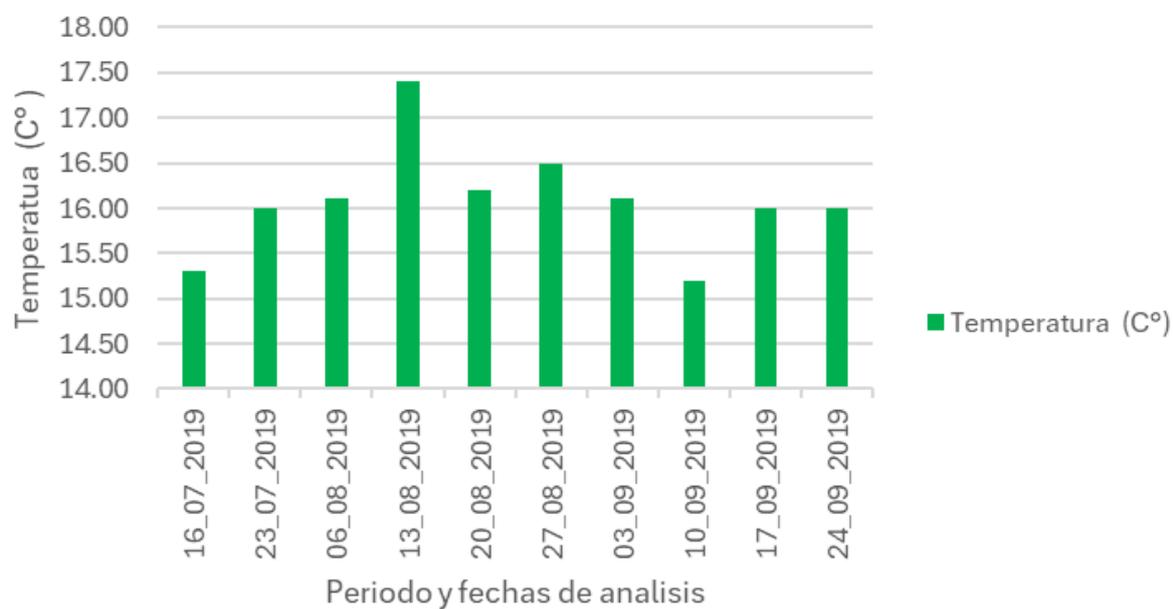
Potencial de hidrogeno de las aguas residuales del afluente



Nota. La figura 6, Representa los resultados de la medición de potencial de hidrogeno que se obtuvo a lo largo del periodo experimental del afluente, siendo el 10 de setiembre del 2019 la fecha donde se registró el resultado más alto del potencial de hidrogeno cuyo resultado fue 7.30, mientras que el 06 de agosto del 2019 el resultado fue de 6.75.

Figura 7

Temperaturas registradas de las aguas residuales del afluente



Nota. La Figura 7, Representa los resultados de la medición de T (C°) que se obtuvo a lo largo del periodo experimental del afluente, el 10 de agosto del 2019 se obtuvo el valor más alto de temperatura 17.50 °C, y el 10 de setiembre del 2019 se registró 15.20 °C.

Tabla 11

Promedio de la temperatura y potencial de hidrogeno del afluente

Temperatura (C°)	pH
16.01	7.07

4.1.2. *Parámetros Fisicoquímicos de las aguas residuales del afluente*

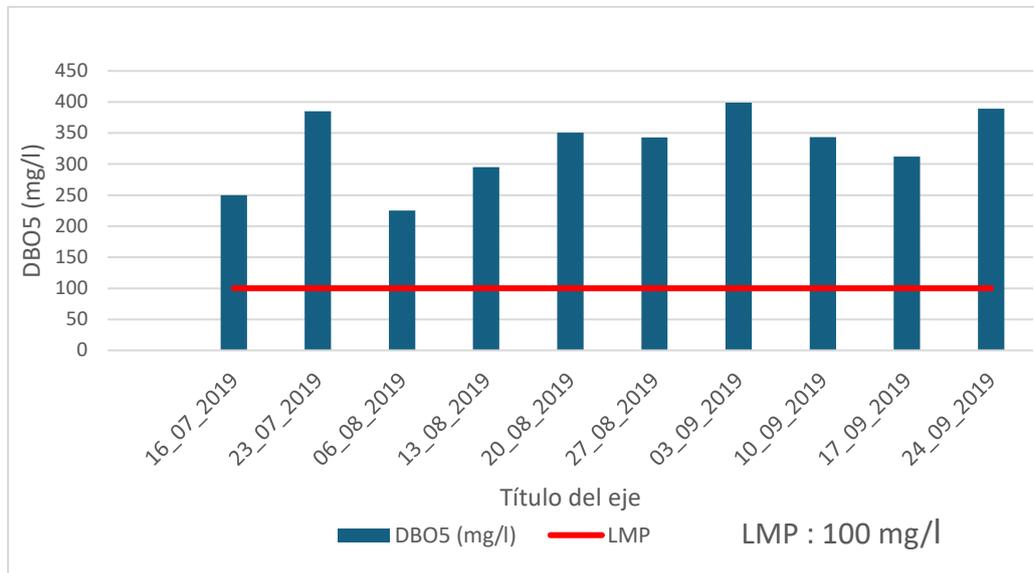
Tabla 12

Resultados de parámetros fisicoquímicos del agua residual domestica antes de ser tratados

N° Semanas	Periodo y fecha de Análisis	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Aceites y Grasas (AyG) (mg/l)	SST (mg/l)
1	16/07/2019	250.00	475.00	128.00	155.00
2	23/07/2019	385.00	495.00	120.00	145.00
3	06/08/2019	225.00	482.00	174.80	157.50
4	13/08/2019	295.00	383.00	115.20	160.00
5	20/08/2019	350.50	443.00	101.40	80.00
6	27/08/2019	343.00	450.00	141.00	82.50
7	03/09/2019	399.00	453.00	129.00	125.00
8	10/09/2019	343.30	394.00	98.00	178.00
9	17/09/2019	312.00	442.00	87.40	183.50
10	24/09/2019	389.00	450.00	120.00	160.00

Figura 8

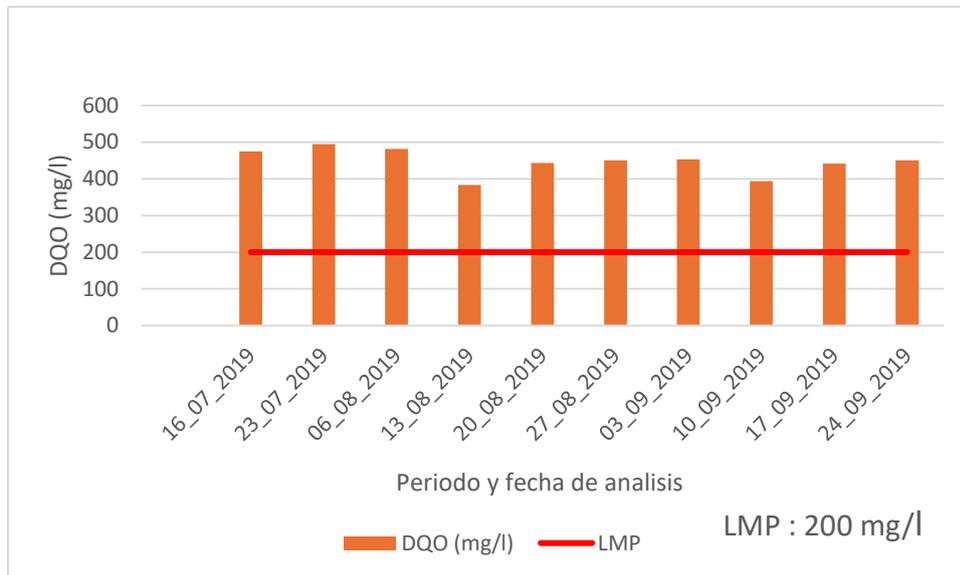
Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reiche antes del tratamiento



Nota. La figura 8 Representa los resultados de la medición de la DBO₅ que se obtuvo a lo largo del periodo experimental del afluente, el 03 de setiembre del 2019 se obtuvo el valor más alto de DBO₅ fue 399 mg/l, y el 06 de agosto del 2019 se registró el valor más bajo el cual fue 225 mg/l.

Figura 9

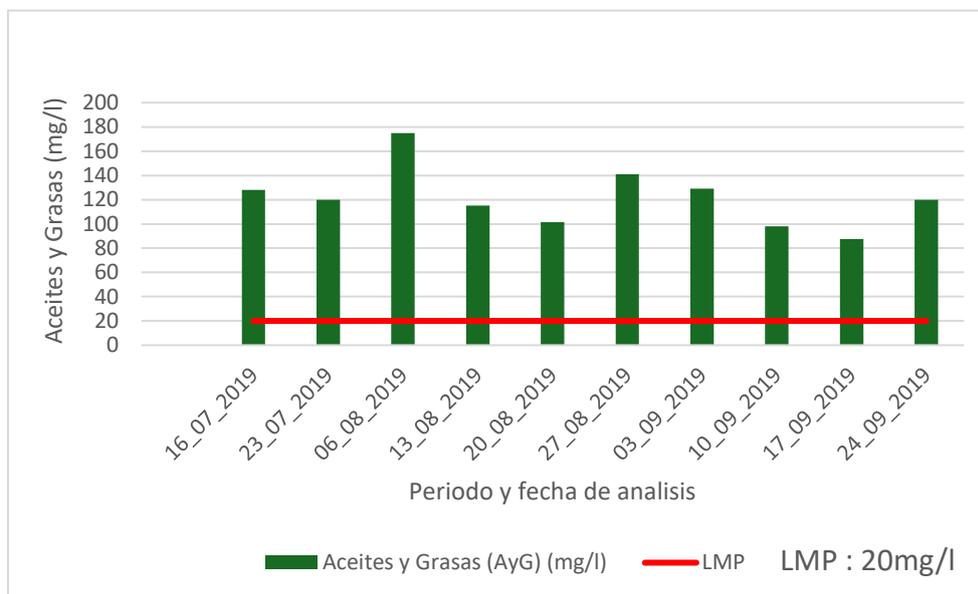
Resultados de la Demanda Química de Oxígeno de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reiche antes del tratamiento



Nota. La figura 9 Representa los resultados de la medición de la DQO que se obtuvo a lo largo del periodo experimental del afluente, el 23 de julio del 2019 se obtuvo el valor más alto de DQO fue 495 mg/l, y el 13 de agosto del 2019 se registró el valor más bajo 383 mg/l

Figura 10

Resultados de Aceites y Grasas de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reiche antes del tratamiento

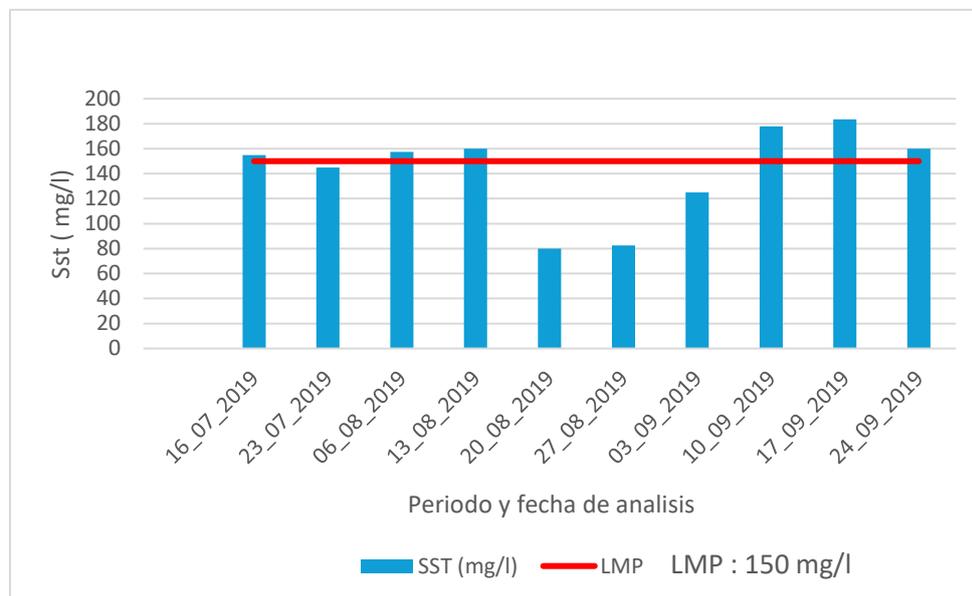


Nota. La figura 10, Representa los resultados de la medición de Aceites y Grasas que se obtuvo a lo largo del periodo experimental del afluente, el 06 de agosto del 2019 se obtuvo el valor más alto de A y G fue 174.80 mg/l, y el 17 de setiembre del 2019 se registró el valor más bajo 87.40 mg/l

Figura 11

Resultados de Solidos Suspendidos Totales de las aguas residuales domesticas de la PTAR

María Reiche antes del tratamiento



Nota. La figura 11, Representa los resultados de la medición de (SST) que se obtuvo a lo largo del periodo experimental del afluente, el 17 de setiembre del 2019 se obtuvo el valor más alto de SST fue 183.50 mg/l, y el 20 de agosto del 2019 se registró el valor más bajo 80 mg/l.

Tabla 13

Promedio de los parámetros fisicoquímicos del agua residual domestico de la PTAR antes del tratamiento

DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Aceites y Grasas (AyG)	SST
329.18	446.7	121.48	142.65

4.2. Parámetros Básicos de las aguas residuales domesticas tratadas

4.2.1. Parámetros Básicos del sistema A

Resultados de los parámetros básicos tales como T (°C) y pH del sistema A el cual contiene la especie *Cyperus papyrus*, pero como medio filtrante tiene la granulometría pequeña ($\frac{3}{4}$, 1 pulgada).

Tabla 14

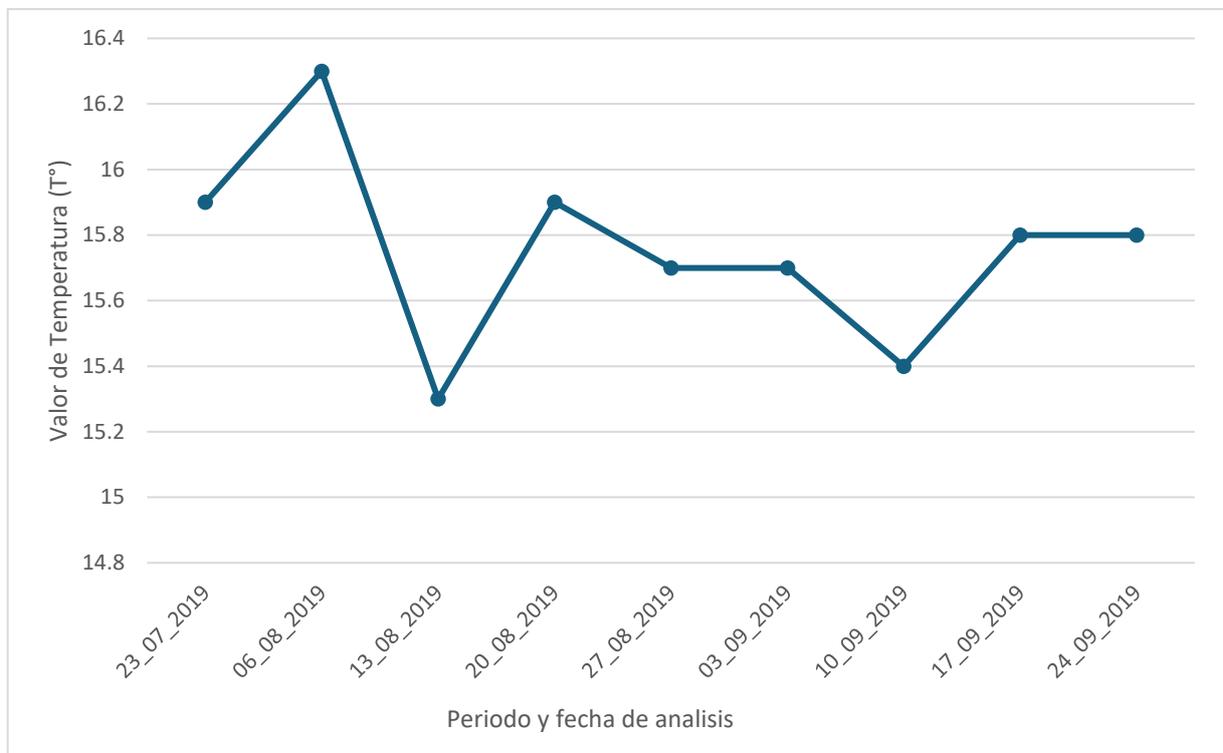
Resultados de la temperatura y potencial de hidrogeno del sistema A

Periodo y fecha de análisis	Temperatura (C°)	pH
16/07/2019	*	*
23/07/2019	15.90	7.35
06/08/2019	16.30	7.42
13/08/2019	15.30	7.36
20/08/2019	15.90	7.20
27/08/2019	15.70	7.30
03/09/2019	15.70	7.61
10/09/2019	15.40	7.54
17/09/2019	15.80	7.10
24/09/2019	15.80	7.25

Nota. (*) Son fechas donde no se realizaron mediciones de los parámetros básicos del sistema A

Figura 12

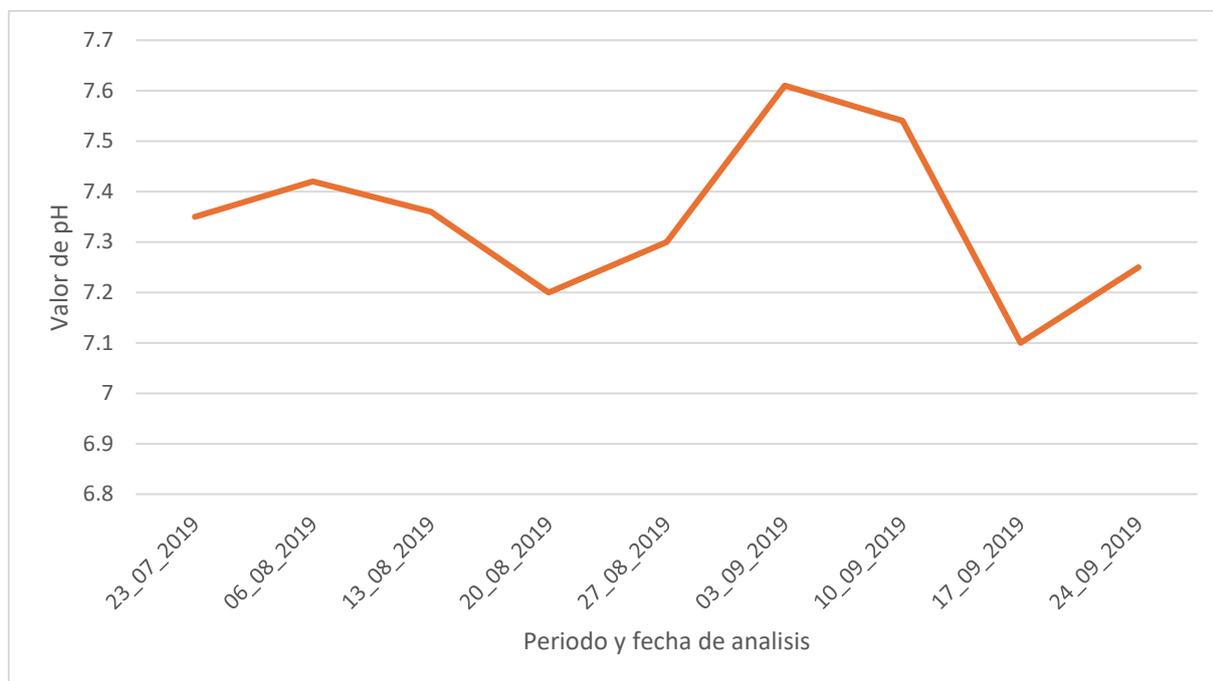
Resultados de los valores de temperatura del Sistema A



Nota. La figura 12, Representa los resultados de la medición de la T (°C) que se obtuvo a lo largo del periodo experimental de las aguas residuales domesticas tratadas en el sistema A, el 13 de agosto del 2019 se obtuvo el valor más bajo de temperatura el cual fue 15.3 °C, y el 06 de agosto del 2019 se registró el valor más alto el cual fue 16.3 °C.

Figura 13

Resultados de los valores del potencial de Hidrogeno del Sistema A



Nota. La figura 13, Representa los resultados de la medición del potencial de hidrogeno que se obtuvo a lo largo del periodo experimental de las aguas residuales domesticas tratadas en el sistema A, el 03 de setiembre del 2019 se obtuvo el valor más alto de potencial de hidrogeno el cual fue 7.61, y el 17 de setiembre del 2019 se registró el valor más bajo el cual fue 7.1

Tabla 15

Resultados de la temperatura y potencial de hidrogeno de las aguas residuales domesticas tratadas del sistema A

Temperatura (C°)	pH
15.75	7.34

4.2.2. Parámetros Básicos del sistema B

Resultados de los parámetros básicos tales como T (°C) y pH del sistema B el cual contiene la especie *Cyperus papyrus*, pero como medio filtrante tiene la granulometría grande (1 1/2, 2 pulgadas)

Tabla 16

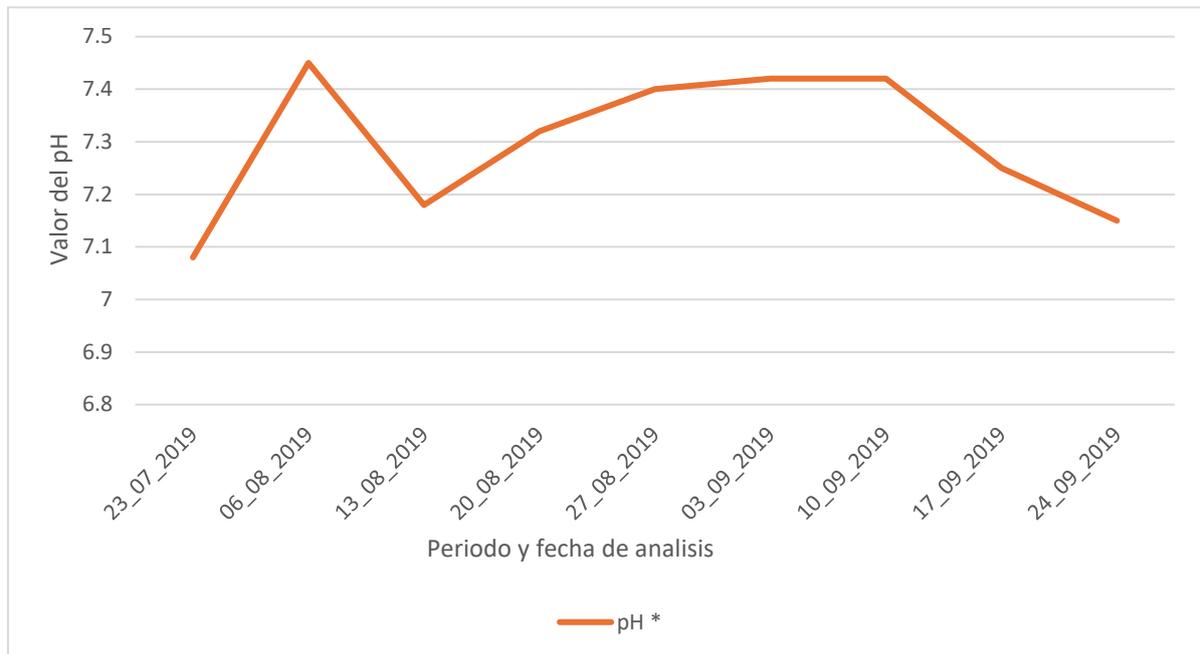
Resultados de la temperatura y potencial de hidrogeno del sistema B

Periodo y fecha de análisis	Temperatura (C°)	pH
16/07/2019	*	*
23/07/2019	15.80	7.08
06/08/2019	16.00	7.45
13/08/2019	15.10	7.18
20/08/2019	15.50	7.32
27/08/2019	15.30	7.40
03/09/2019	15.80	7.42
10/09/2019	15.30	7.42
17/09/2019	16.10	7.25
24/09/2019	15.80	7.15

Nota. (*) Fecha donde no se realizaron mediciones de los parámetros básicos del sistema B

Figura 14

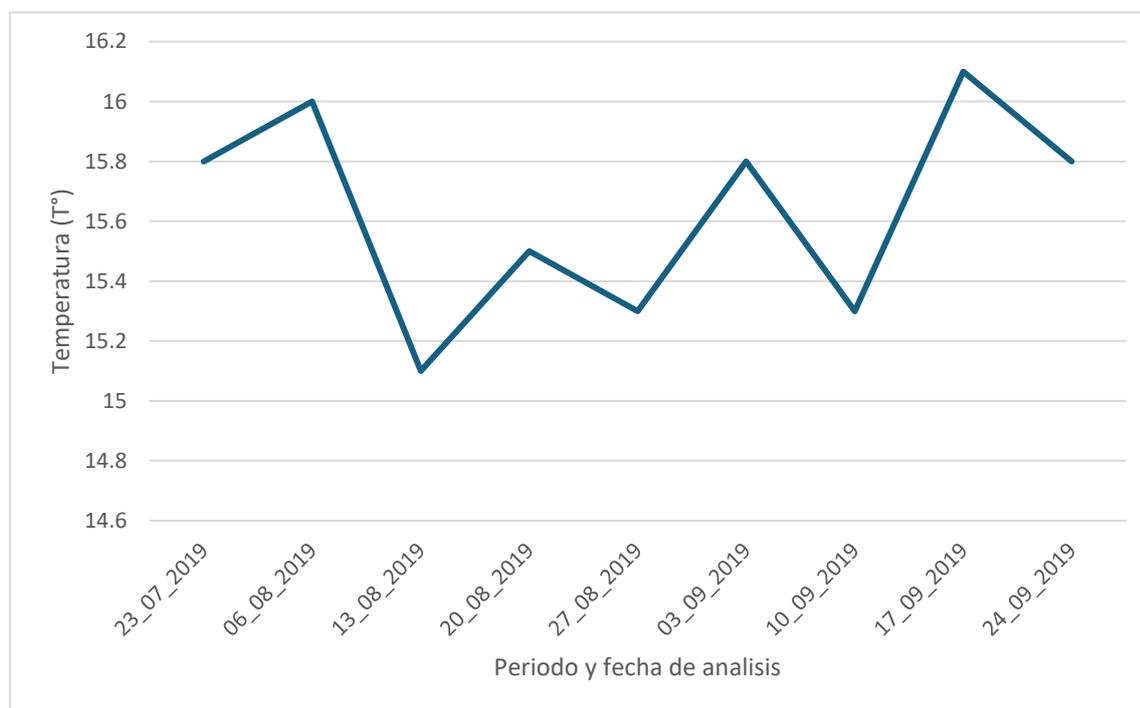
Resultados de valores del potencial de hidrogeno del sistema B



Nota. La figura 14, Representa los resultados de la medición del potencial de hidrogeno que se obtuvo a lo largo del periodo experimental de las aguas residuales domesticas tratadas en el sistema B, el 06 de agosto del 2019 se obtuvo el valor más alto de potencial de hidrogeno el cual fue 7.45, y el 23 de julio del 2019 se registró el valor más bajo el cual fue 7.08.

Figura 15

Resultados de los valores de la temperatura del sistema B



Nota. La figura 15, Representa los resultados de la medición de la temperatura que se obtuvo a lo largo del periodo experimental de las aguas residuales domesticas tratadas en el sistema B, el 13 de agosto del 2019 se obtuvo el valor más bajo de temperatura el cual fue 15.1 °C , y el 17 de setiembre del 2019 se registró el valor más alto el cual fue 16.1 °C.

Tabla 17

Resultados de valores promedio de la temperatura y potencial de hidrogeno de las aguas residuales tratadas del sistema B

Temperatura (C°)	pH
15.60	7.29

4.3. Parámetros Fisicoquímicos de las aguas residuales después de ser tratadas con la especie *Cyperus papyrus*

4.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno del Sistema A

Se realiza la medición de resultados de los parámetros fisicoquímicos tales como la DBO₅ del sistema A el cual contiene la especie *Cyperus papyrus*, pero como medio filtrante tiene la granulometría pequeña (3/4, 1pulgada)

Tabla 18

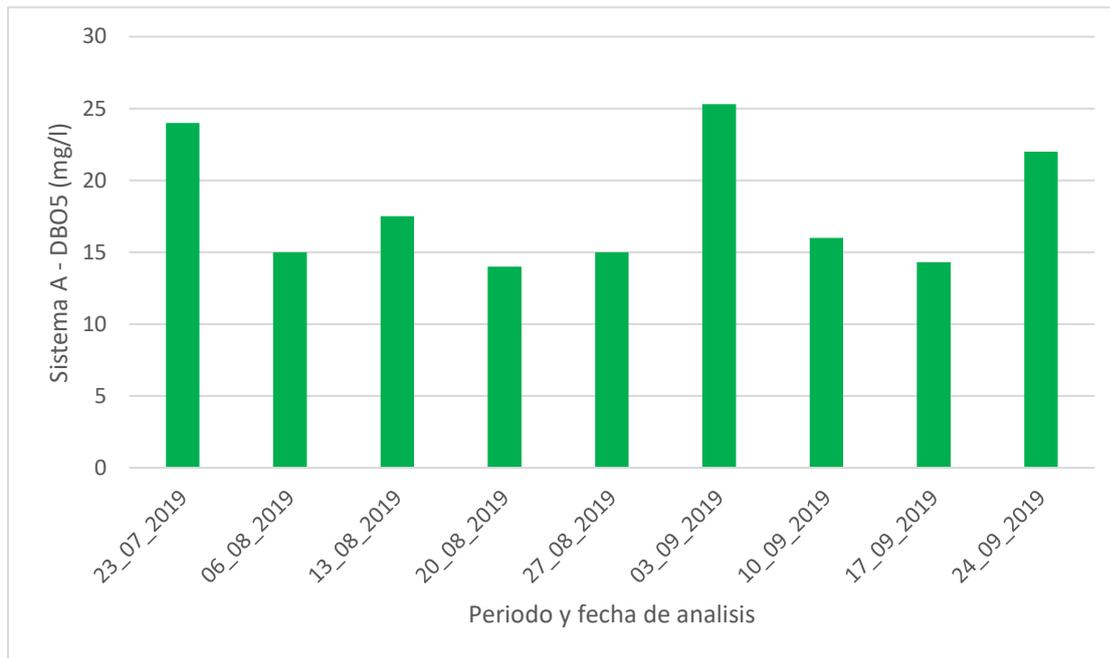
Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno del sistema A

Periodo y fecha de análisis	DBO ₅ (mg/l)
16/07/2019	*
23/07/2019	24.00
06/08/2019	15.00
13/08/2019	17.50
20/08/2019	14.00
27/08/2019	15.00
03/09/2019	25..30
10/09/2019	16.00
17/09/2019	14.30
24/09/2019	22.00

Nota. (*) Fecha donde no se realizaron mediciones del DBO₅ del sistema B

Figura 16

Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del sistema A



Nota. La figura 16, Representa los resultados de la medición de la DBO₅ que se obtuvo a lo largo del periodo experimental de las aguas residuales domesticas tratadas en el sistema A, el 20 de agosto del 2019 se obtuvo el valor más bajo de DBO₅ el cual fue 14 mg/l, y el 03 de setiembre del 2019 se registró el valor más alto el cual fue 25.30 mg/l.

4.3.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno del Sistema B:

Se realiza la medición de resultados de la DBO₅ del sistema B el cual contiene la especie *Cyperus papyrus*, pero como medio filtrante tiene la granulometría pequeña (1 1/2, 2pulgadas)

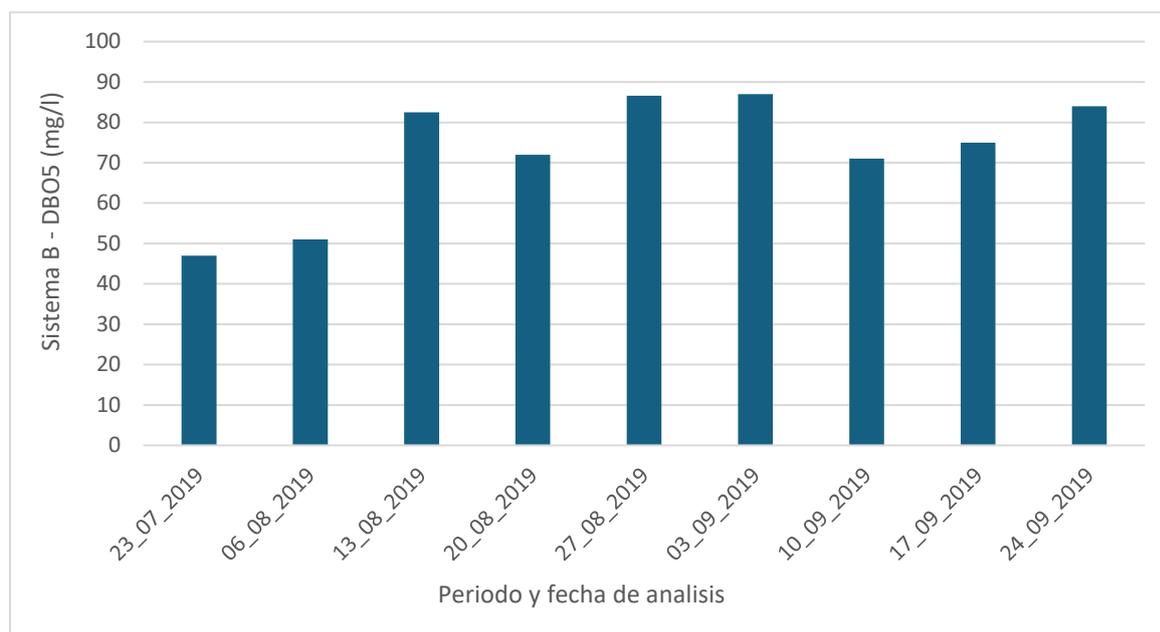
Tabla 19*Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del sistema B*

Periodo y fecha de análisis	DBO ₅ (mg/l)
16/07/2019	*
23/07/2019	47.00
06/08/2019	51.00
13/08/2019	82.50
20/08/2019	72.00
27/08/2019	86.60
03/09/2019	87.00
10/09/2019	71.00
17/09/2019	75.00
24/09/2019	84.00

Nota. (*) Fecha donde no se realizaron mediciones del DBO₅ del sistema B

Figura 17

Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del Sistema B



Nota. La figura 17, Representa los resultados de la medición de la DBO₅ que se obtuvo a lo largo del periodo experimental de las aguas residuales domesticas tratadas en el sistema B, el 23 de julio del 2019 se obtuvo el valor más bajo de DBO₅ el cual fue 47 mg/l, y el 03 de setiembre del 2019 se registró el valor más alto el cual fue 87 mg/l.

Tabla 20

Promedio de los valores del DBO5 de los sistemas A y B

Sistemas	DBO5 mg/l
A	18.12
B	72.90

4.3.3. DBO comparativo del Afluente con el sistema A y B

Tabla 21

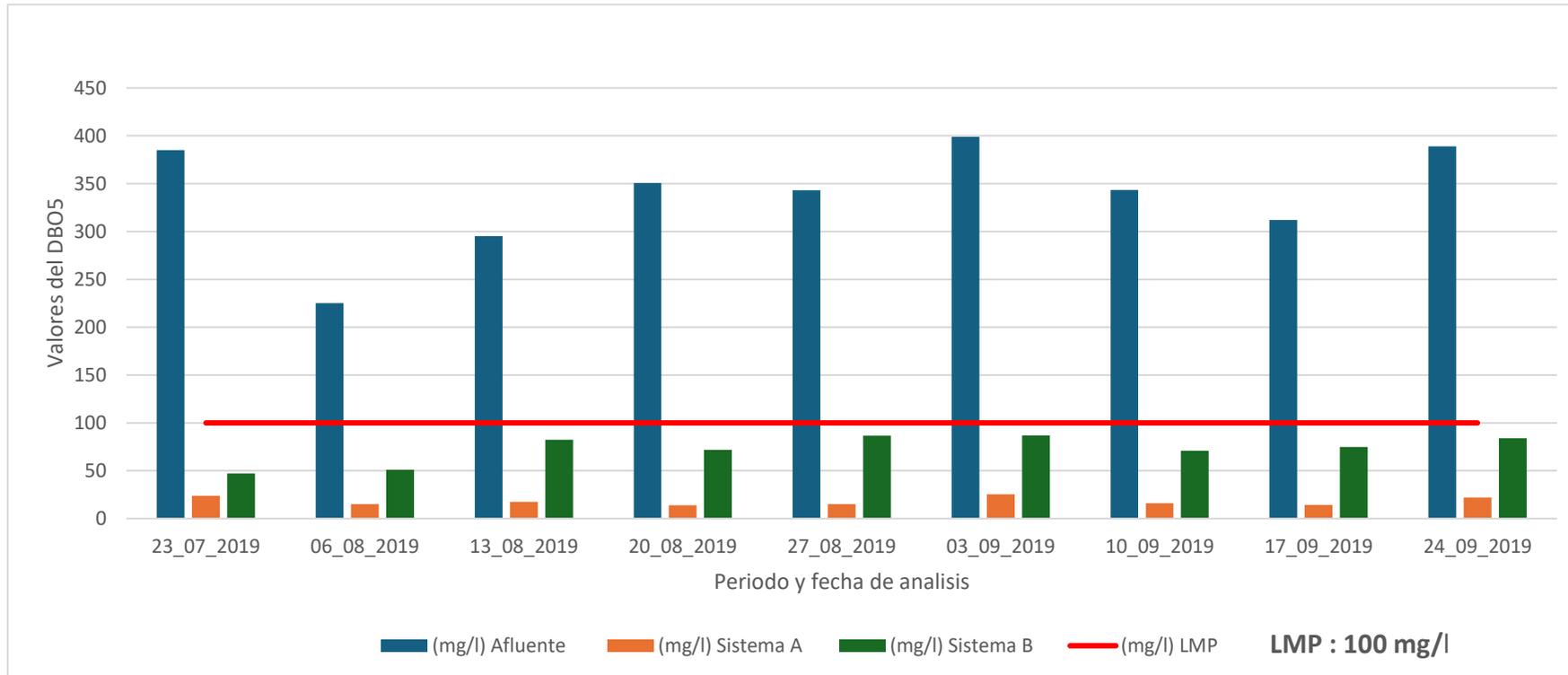
Cuadro Comparativo del Afluente inicial, sistema A y B

Semanas	Periodo y fecha de análisis	Afluente	DBO ₅ (mg/l)	
			Sistema A	Sistema B
01	16/07/2019	250.00	*	*
02	23/07/2019	385.00	24.00	47.00
03	06/08/2019	225.00	15.00	51.00
04	13/08/2019	295.00	17.50	82.50
05	20/08/2019	350.50	14.00	72.00
06	27/08/2019	343.00	15.00	86.60
07	03/09/2019	399.00	25.30	87.00
08	10/09/2019	343.30	16.00	71.00
09	17/09/2019	312.00	14.30	75.00
10	24/09/2019	389.00	22.00	84.00

Nota. (*) Son fechas donde no se realizaron mediciones del DBO₅ del sistema A y B.

Figura 18

Ingreso y Salida de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del Sistema A y B



Nota. La figura 18, Muestra que los resultados de DBO del afluyente sobrepasan los LMP, sin embargo, cuando las aguas residuales fueron sometidas al proceso de tratamiento usando la especie macrofita *Cyperus papyrus*, dichos resultados disminuyeron, sobre todo el sistema A en comparación al Sistema B.

4.3.4. Demanda Química de Oxígeno del Sistema A

Se realiza la medición de resultados de la DQO del sistema A el cual contiene la especie *Cyperus papyrus*, pero como medio filtrante tiene la granulometría pequeña (3/4, 1 pulgada)

Tabla 22

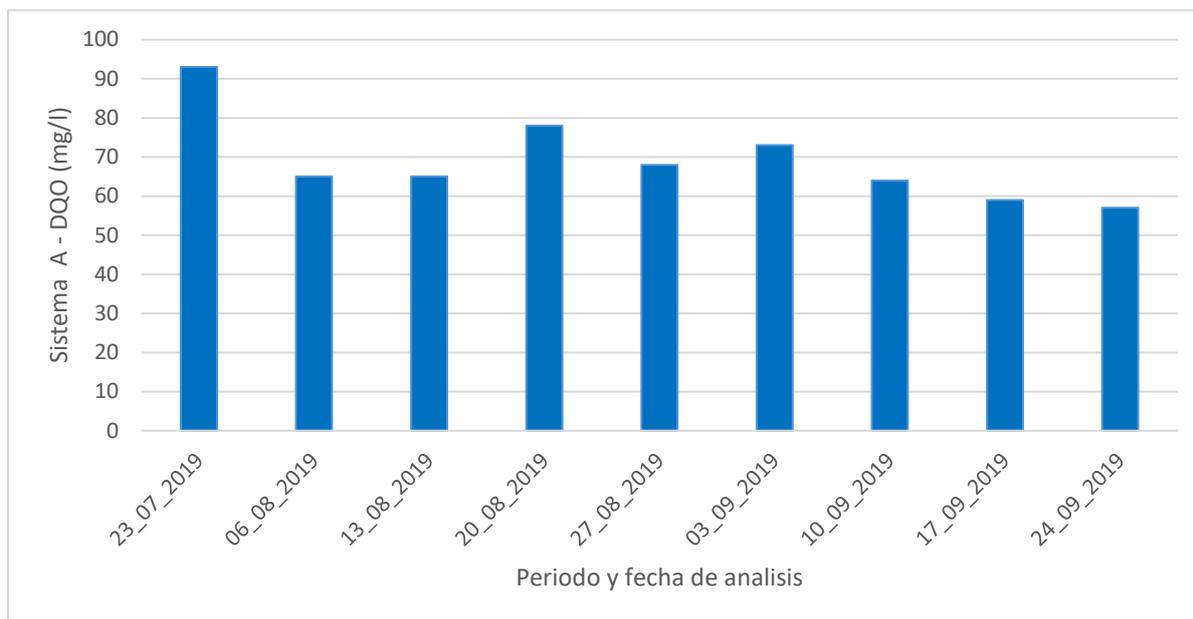
Resultados de la Demanda Química de Oxígeno del Sistema A

Periodo y fecha de análisis	DQO (mg/l)
16/07/2019	*
23/07/2019	93.00
06/08/2019	65.00
13/08/2019	65.00
20/08/2019	78.00
27/08/2019	68.00
03/09/2019	73.00
10/09/2019	64.00
17/09/2019	59.00
24/09/2019	57.00

Nota. (*) Fecha donde no se realizaron mediciones del DQO del sistema A

Figura 19

Resultados de la Demanda Química de Oxígeno del Sistema A



Nota. La figura 19, Representa los resultados de la medición de la DQO que se obtuvo a lo largo del periodo experimental de las aguas residuales domesticas tratadas en el sistema A, el 24 de setiembre del 2019 se obtuvo el valor más bajo de DQO el cual fue 57 mg/l, y el 23 de julio del 2019 se registró el valor más alto el cual fue 93 mg/l.

4.3.5. Demanda Química de Oxígeno del Sistema B

Se realiza la medición de resultados de la DQO del sistema B el cual contiene la especie *Cyperus papyrus*, pero como medio filtrante tiene la granulometría grande (1 1/2, 2 pulgadas).

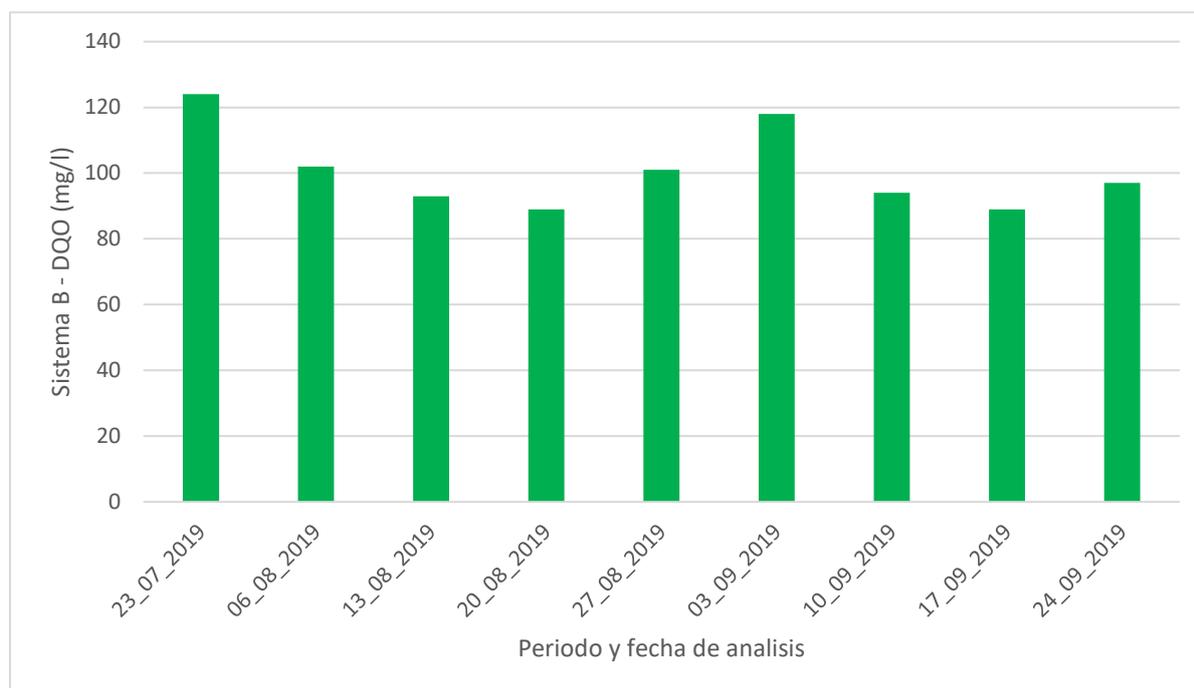
Tabla 23*Resultados de la Demanda Química de Oxígeno del Sistema B*

Periodo y fecha de análisis	DQO (mg/l)
16/07/2019	*
23/07/2019	124.00
06/08/2019	102.00
13/08/2019	93.00
20/08/2019	89.00
27/08/2019	101.00
03/09/2019	118.00
10/09/2019	94.00
17/09/2019	89.00
24/09/2019	97.00

Nota. (*) Fecha donde no se realizaron mediciones del DQO del sistema B

Figura 20

Resultados de la Demanda Química de Oxígeno del Sistema B



Nota. La figura 20, Representa los resultados de la medición de la DQO que se obtuvo a lo largo del periodo experimental de las aguas residuales domesticas tratadas en el sistema B, el 10 de setiembre del 2019 se obtuvo el valor más bajo de DQO el cual fue 112.10 mg/l, y el 23 de julio del 2019 se registró el valor más alto el cual fue 294 mg/l.

Tabla 24

Promedio de la Demanda Química de Oxígeno del Sistema A y B

Sistemas	DQO mg/l
A	69.11
B	100.77

4.3.6. Demanda Química de Oxígeno del afluente comparativo con el sistema A y B

Tabla 25

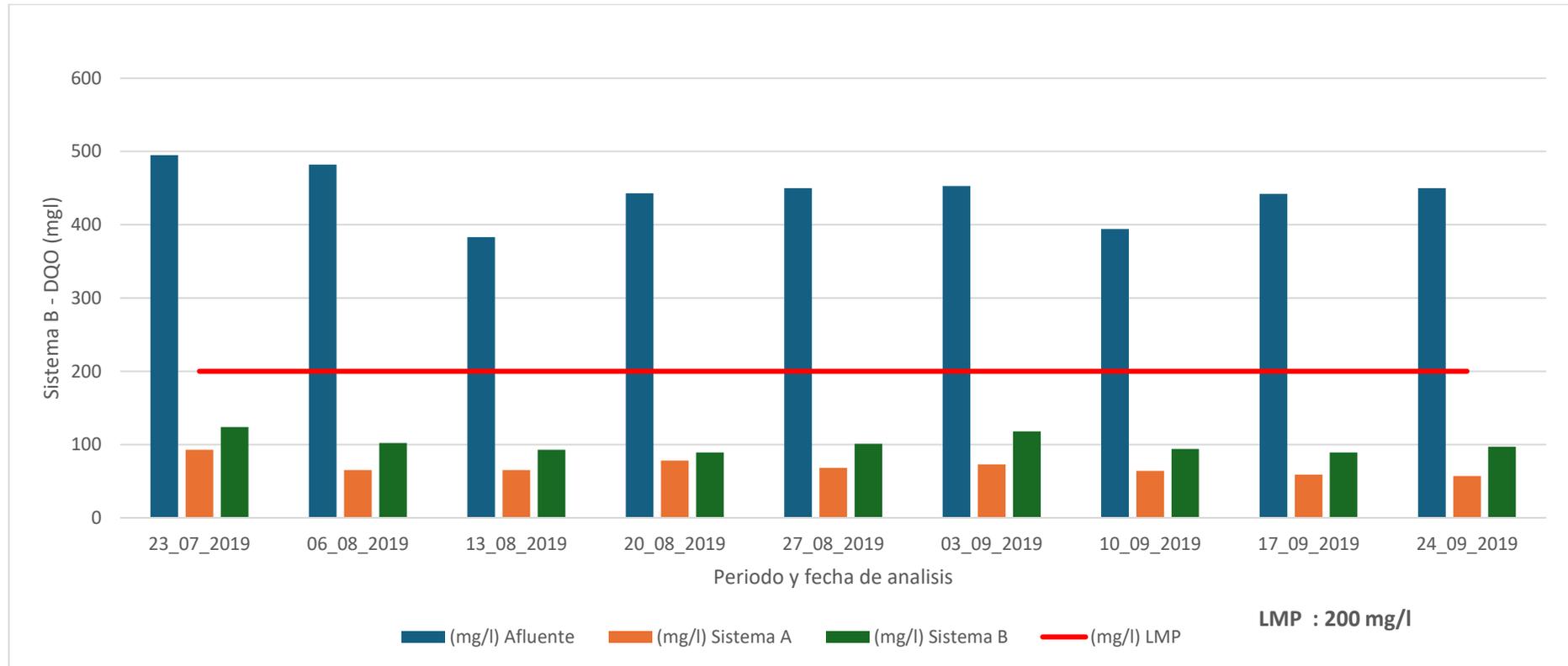
Cuadro Comparativo del afluente inicial del DQO, sistema A y B

Semanas	Periodo y fecha de análisis	Afluente	DQO (mg/l)	
			Sistema A	Sistema B
01	16/07/2019	475.00	*	*
02	23/07/2019	495.00	93.00	124.00
03	06/08/2019	482.00	65.00	102.00
04	13/08/2019	383.00	65.00	93.00
05	20/08/2019	443.00	78.00	89.00
06	27/08/2019	450.00	68.00	101.00
07	03/09/2019	453.00	73.00	118.00
08	10/09/2019	394.00	64.00	94.00
09	17/09/2019	442.00	59.00	89.00
10	24/09/2019	450.00	57.00	97.00

Nota. (*) Son fechas donde no se realizaron mediciones del DQO de los sistemas A y B

Figura 21

Ingreso y Salida de la Demanda Química de Oxígeno del Sistema A y B



Nota. La figura 21, Muestra que los resultados de DQO del afluente sobrepasan los LMP, sin embargo, cuando las aguas residuales fueron sometidas al proceso de tratamiento usando la especie macrofita *Cyperus papyrus*, dichos resultados disminuyeron, sobre todo el sistema A en comparación al Sistema B.

4.3.7. *Solidos Suspendidos Totales (SST) Sistema A*

Se realiza la medición de resultados de los SST del sistema A el cual contiene la especie *Cyperus papyrus*, pero como medio filtrante tiene la granulometría pequeña (3/4, 1pulgada).

Tabla 26

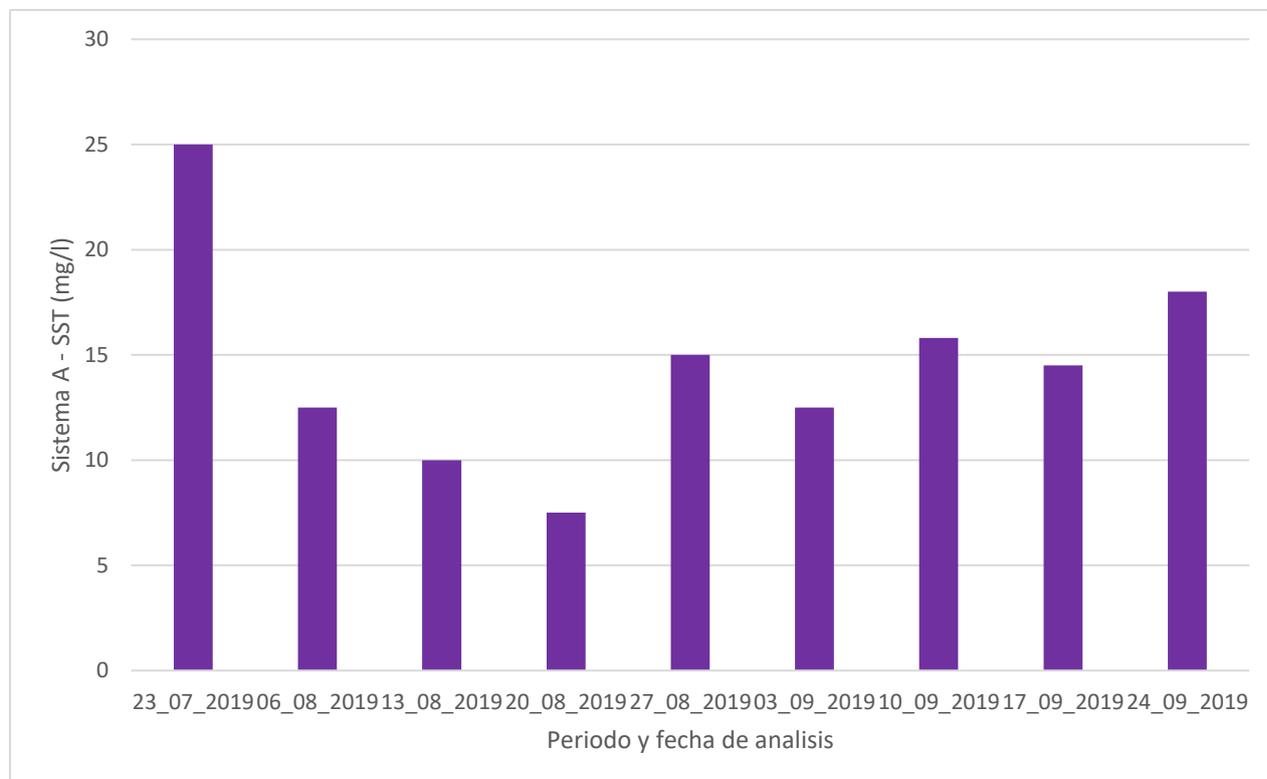
Resultados de los Solidos Suspendidos Totales del Sistema A

Periodo y fecha de análisis	SST (mg/l)
16/07/2019	*
23/07/2019	25.00
06/08/2019	12.50
13/08/2019	10.00
20/08/2019	7.50
27/08/2019	15.00
03/09/2019	12.50
10/09/2019	15.80
17/09/2019	14.50
24/09/2019	18.00

Nota. (*) Fecha donde no se realizaron mediciones del SST del sistema A

Figura 22

Resultados de los Solidos Suspendidos Totales del Sistema A



Nota. La figura 22, representa los resultados de los SST que se obtuvo a lo largo del periodo experimental de las aguas residuales domesticas tratadas en el sistema B, el 20 de agosto del 2019 se obtuvo el valor más bajo de SST el cual fue 7.5 mg/l, y el 23 de julio del 2019 se registró el valor más alto el cual fue 25 mg/l.

4.3.8. Solidos Suspendidos Totales SST del sistema B

Tabla 27

Resultados de los Solidos Suspendidos Totales del Sistema B

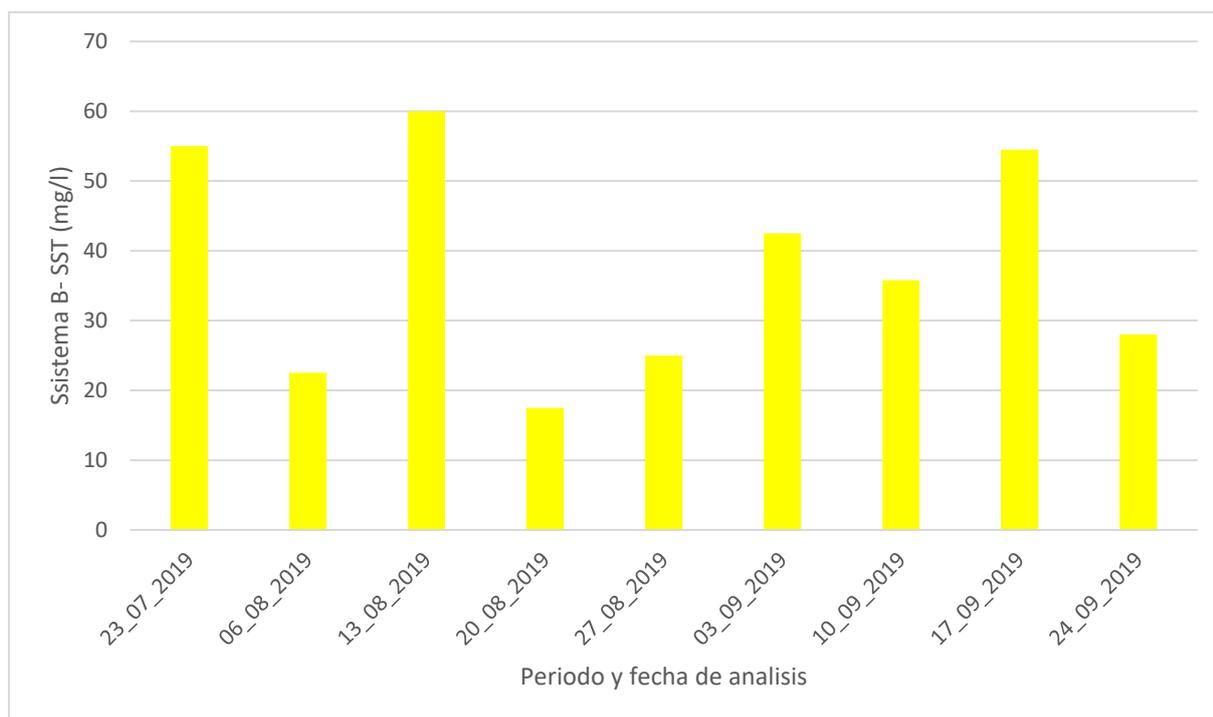
Periodo y fecha de análisis	SST (mg/l)
16/07/2019	*
23/07/2019	55.00

06/08/2019	22.50
13/08/2019	60.00
20/08/2019	17.50
27/08/2019	25.00
03/09/2019	42.50
10/09/2019	35.80
17/09/2019	54.50
24/09/2019	28.00

Nota. (*) Fecha donde no se realizaron mediciones del SST del sistema B

Figura 23

Resultados de los Solidos Suspendidos Totales del Sistema B



Nota. La figura 23, representa los resultados de los SST que se obtuvo a lo largo del periodo experimental de las aguas residuales domesticas tratadas en el sistema B, el 20 de agosto del 2019 se obtuvo el valor más bajo de SST el cual fue 17.5 mg/l, y el 13 de agosto del 2019 se registró el valor más alto el cual fue 60 mg/l.

Tabla 28*Promedio de los Solidos Suspendidos Totales de los Sistemas A y B*

Sistemas	SST mg/l
A	14.53
B	37.86

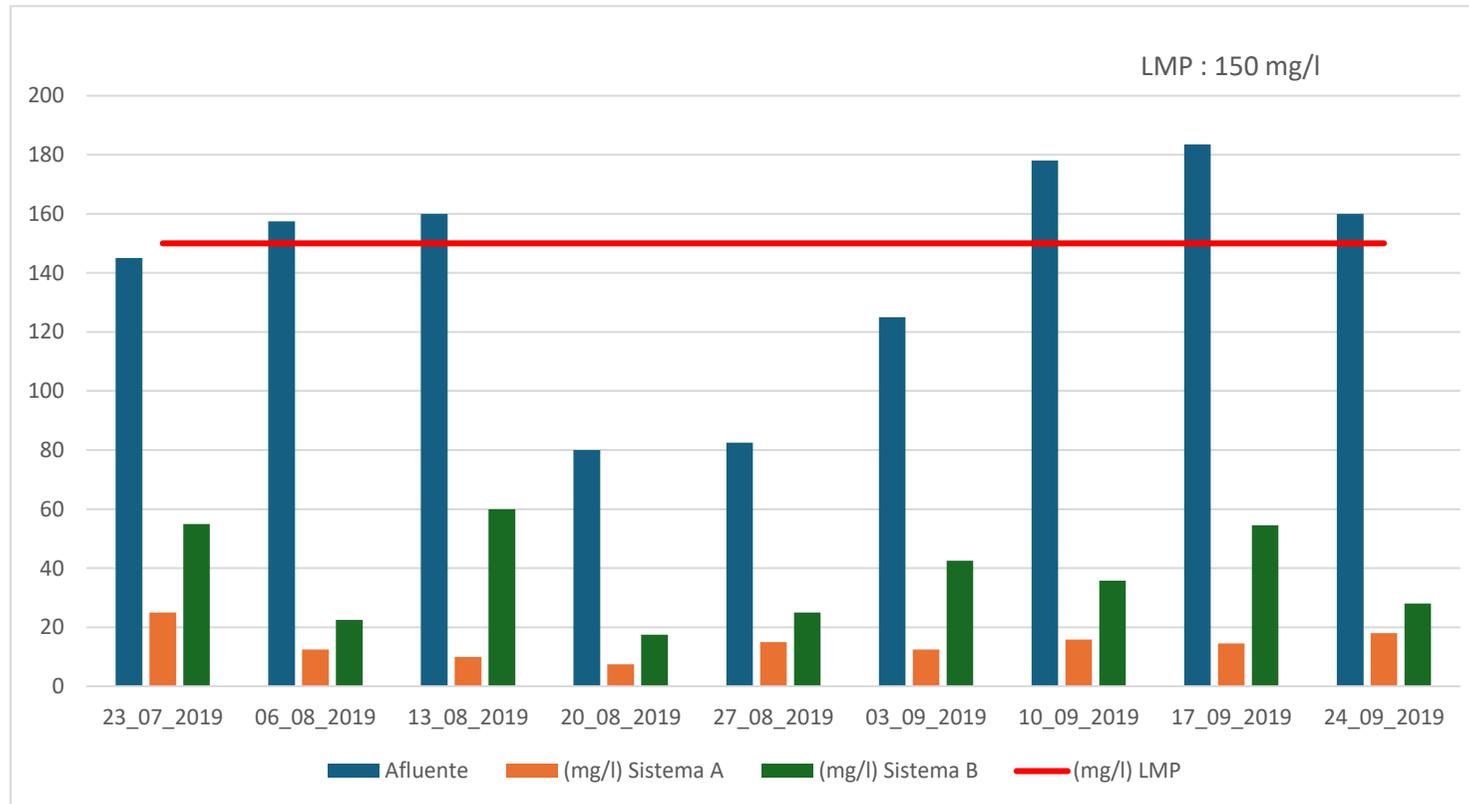
4.3.9. SST comparativo del afluente con el sistema A y B**Tabla 29***Resultados de entrada y salida del Afluente en el Sistema A y B*

Semanas	Periodo y fecha de análisis	Afluente	SST (mg/l)	
			Sistema A	Sistema B
01	16/07/2019	155.00	*	*
02	23/07/2019	145.00	25.00	55.00
03	06/08/2019	157.50	12.50	22.50
04	13/08/2019	160.00	10.00	60.00
05	20/08/2019	80.00	7.50	17.50
06	27/08/2019	82.50	15.00	25.00
07	03/09/2019	125.00	12.50	42.50
08	10/09/2019	178.00	15.80	35.80
09	17/09/2019	183.50	14.50	54.50
10	24/09/2019	160.00	18.00	28.00

Nota. (*) Son fechas donde no se realizaron mediciones del SST de los sistemas A y B

Figura 24

Ingreso y Salida de los Solidos Suspendidos Totales de los Sistemas A y B



Nota. La figura 24, Muestra que los resultados de los SST del afluente sobrepasan los LMP, sin embargo, cuando las aguas residuales fueron sometidas al proceso de tratamiento usando la especie macrofita *Cyperus papyrus*, dichos resultados disminuyeron, sobre todo el sistema A en comparación al Sistema B.

4.3.10. Aceites y Grasas (A y G) del Sistema A

Los resultados de aceites y grasas del sistema A el cual contiene la especie *Cyperus papyrus*, pero como medio filtrante tiene la granulometría pequeña (3/4, 1pulgada).

Tabla 30

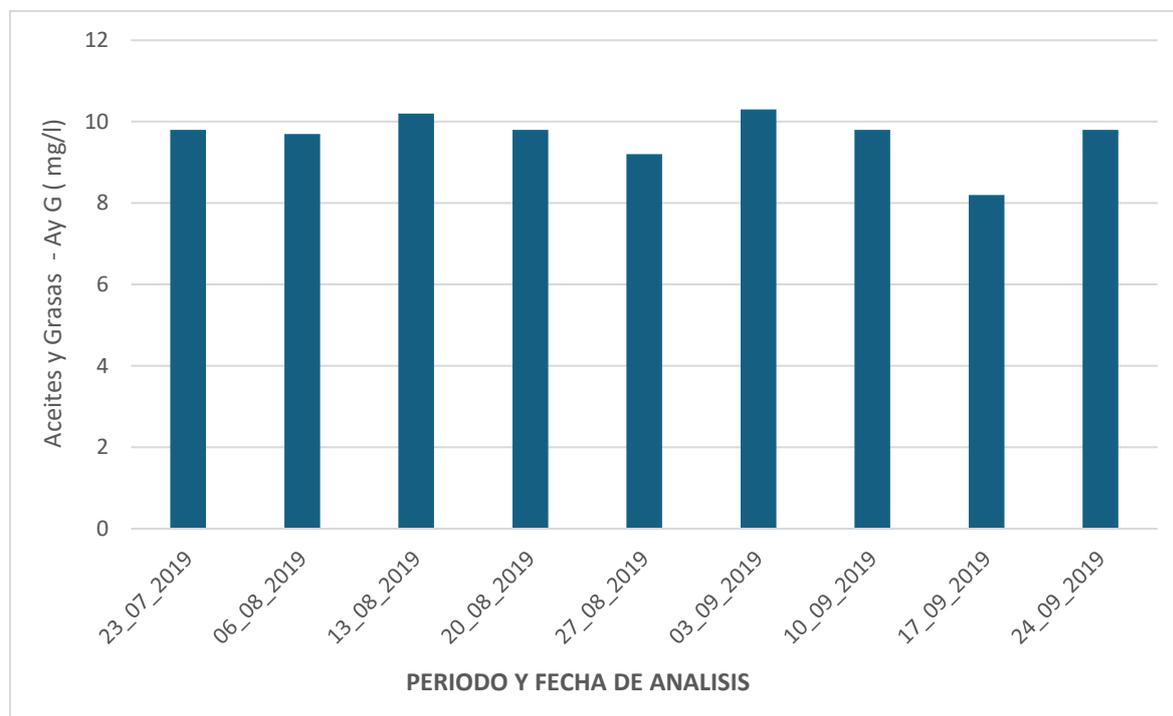
Resultados de aceites y grasas del Sistema A

Periodo y fecha de análisis	A y G (mg/l)
16/07/2019	*
23/07/2019	9.80
06/08/2019	9.70
13/08/2019	10.20
20/08/2019	9.80
27/08/2019	9.20
03/09/2019	23.40
10/09/2019	9.80
17/09/2019	8.20
24/09/2019	9.80

Nota. (*) Fecha donde no se realizaron mediciones de aceites y grasas del Sistema A

Figura 25

Resultados de aceites y grasas del Sistema A



Nota. La figura 25, Representa los resultados de Aceites y Grasas que se obtuvo a lo largo del periodo experimental de las aguas residuales domesticas tratadas en el sistema A, el 17 de setiembre del 2019 se obtuvo el valor más bajo de Ay G el cual fue 8.2 mg/l, y el 03 de setiembre del 2019 se registró el valor más alto el cual fue 23.40 mg/

4.3.11. Aceites y Grasas (A y G) del Sistema B

Se realiza la medición de aceites y grasas del sistema B el cual contiene la especie *Cyperus papyrus*, pero como medio filtrante tiene la granulometría pequeña (1 1/2, 2 pulgadas).

Tabla 31*Resultados de Aceites y Grasas del Sistema B*

Periodo y fecha de análisis	AyG (mg/l)
16/07/2019	*
23/07/2019	28.00
06/08/2019	21.20
13/08/2019	44.80
20/08/2019	23.80
27/08/2019	27.20
03/09/2019	10.30
10/09/2019	21.00
17/09/2019	17.80
24/09/2019	32.50

Nota. (*) Fecha donde no se realizaron mediciones de aceites y grasas del Sistema B

Tabla 32*Promedio de Aceites Y Grasas de los Sistemas A y B*

Sistemas	AyG mg/l
A	11.10
B	25.18

4.3.12. Aceites y Grasas (A y G) comparativo del Sistema A y B

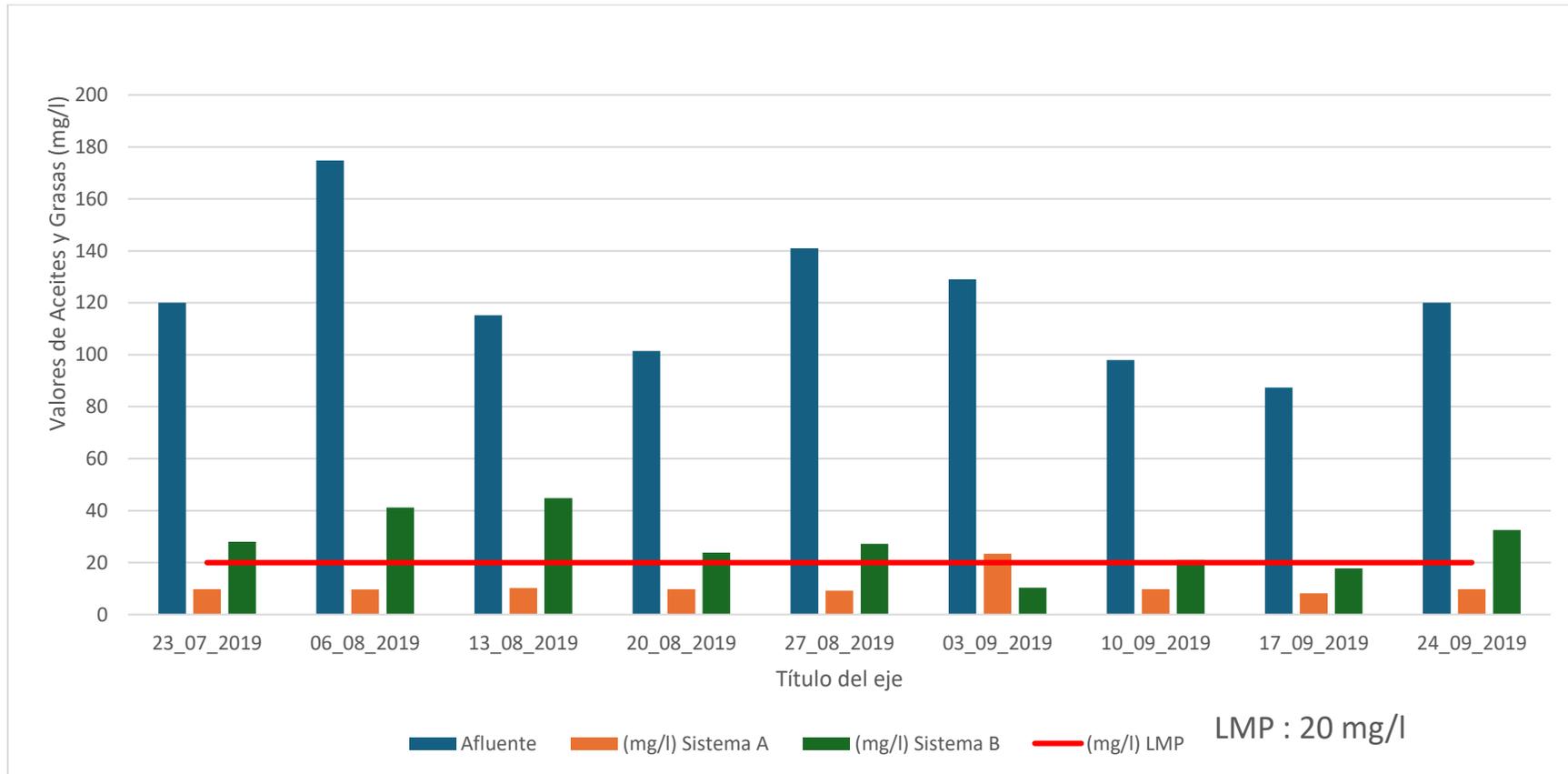
Tabla 33*Resultados del ingreso y salida de aceites y grasas de los sistemas A y B*

Semanas	Periodo y fecha de análisis	Afluente	AyG (mg/l)	
			Sistema A	Sistema B
01	16/07/2019	128.00	*	*
02	23/07/2019	120.00	9.80	28.00
03	06/08/2019	174.80	9.70	21.20
04	13/08/2019	115.20	10.20	44.80
05	20/08/2019	101.40	9.80	23.80
06	27/08/2019	141.00	9.20	27.20
07	03/09/2019	129.00	23.40	10.30
08	10/09/2019	98.00	9.80	21.00
09	17/09/2019	87.40	8.20	17.80
10	24/09/2019	120.00	9.80	32.50

Nota. (*) Fechas donde no se realizaron mediciones de aceites y grasas de los sistemas A y B

Figura 26

Ingreso y Salida de Aceites y Grasas de los Sistemas A y B



Nota. La figura 26, Muestra que los resultados de los Aceites y Grasas del afluente sobrepasan los LMP, sin embargo, cuando las aguas residuales fueron sometidas al proceso de tratamiento usando la especie macrofitas *Cyperus papyrus*, dichos resultados disminuyeron, sobre todo el sistema A en comparación al Sistema B

4.4. Remoción porcentual de los parámetros físicos químicos de los sistemas A y B usando la especie *Cyperus papyrus*

4.4.1. Remoción porcentual de los Sólidos Suspendidos Totales de los sistemas A y B

Tabla 34

Comparación porcentual de Sólidos Suspendidos Totales de los Sistemas A y B

Semanas	Periodo y fecha de análisis	Sólidos Suspendidos Totales (%)	
		Sistema A	Sistema B
02	23/07/2019	82.75%	62.06%
03	06/08/2019	92.06 %	85.66 %
04	13/08/2019	93.75 %	62.50 %
05	20/08/2019	90.62 %	78.12 %
06	27/08/2019	90.90 %	69.69 %
07	03/09/2019	90.00 %	66.00 %
08	10/09/2019	91.12 %	79.88 %
09	17/09/2019	92.09 %	70.29 %
10	24/09/2019	88.75 %	82.50 %

Nota. Se aprecia que el sistema A (grava $\frac{3}{4}$, 1 pulgada) tiene mayor porcentaje de remoción porcentual de los sólidos suspendidos totales en comparación con el sistema B (grava 1/12, 2 pulgadas).

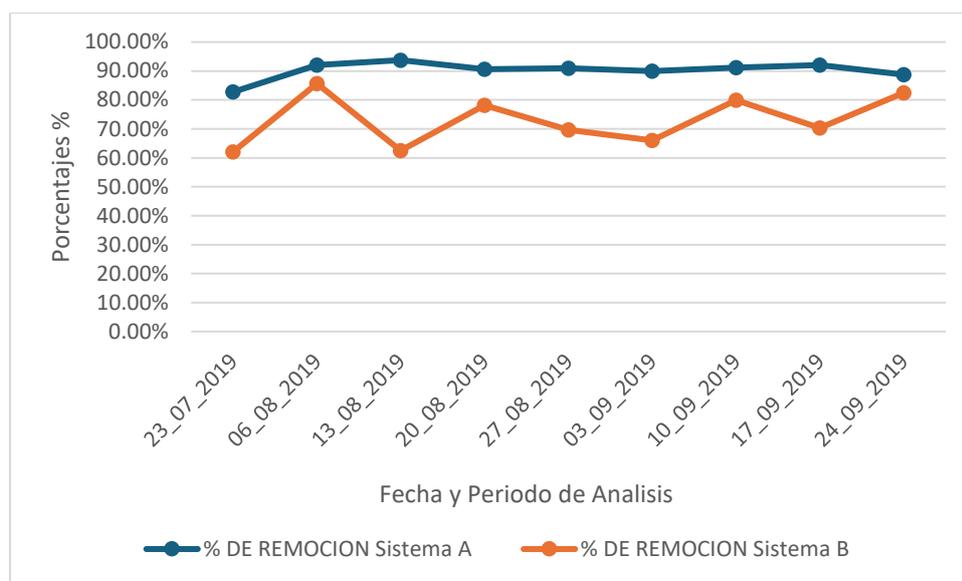
Tabla 35

Promedio de remoción porcentual de sólidos suspendidos totales de los Sistemas A y B

A	90.22%
B	72.96%

Figura 27

Promedio de remoción porcentual de Sólidos Suspendedos Totales de los Sistemas A y B



Nota. En la **figura 27**, Se aprecia que el promedio porcentual de remoción de los sólidos suspendidos totales (SST) del sistema A (grava $\frac{3}{4}$, 1 pulgada) es mayor en comparación con el sistema B (grava $\frac{1}{12}$, 2 pulgadas), obteniéndose un porcentaje de remoción de SST del Sistema A de 90.23 % a diferencia que el sistema B que obtuvo 72.96%.

4.4.2. Remoción porcentual de Demanda Bioquímica de Oxígeno de los sistemas A y B

Tabla 36

Comparación Porcentual de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de los Sistemas A y B

Semanas	Periodo y fecha de análisis	DBO5 (%)	
		Sistema A	Sistema B
02	23/07/2019	93.77%	87.79%

03	06/08/2019	93.33%	77.33%
04	13/08/2019	94.06%	72.03%
05	20/08/2019	96.00%	79.45%
06	27/08/2019	95.62%	74.75%
07	03/09/2019	93.65%	78.19%
08	10/09/2019	95.33%	79.31%
09	17/09/2019	95.41%	75.96%
10	24/09/2019	94.34%	78.40%

Nota. Se aprecia que el sistema A (grava $\frac{3}{4}$, 1 pulgada) tiene mayor porcentaje de remoción porcentual de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en comparación con el sistema B (grava $\frac{1}{12}$, 2 pulgadas).

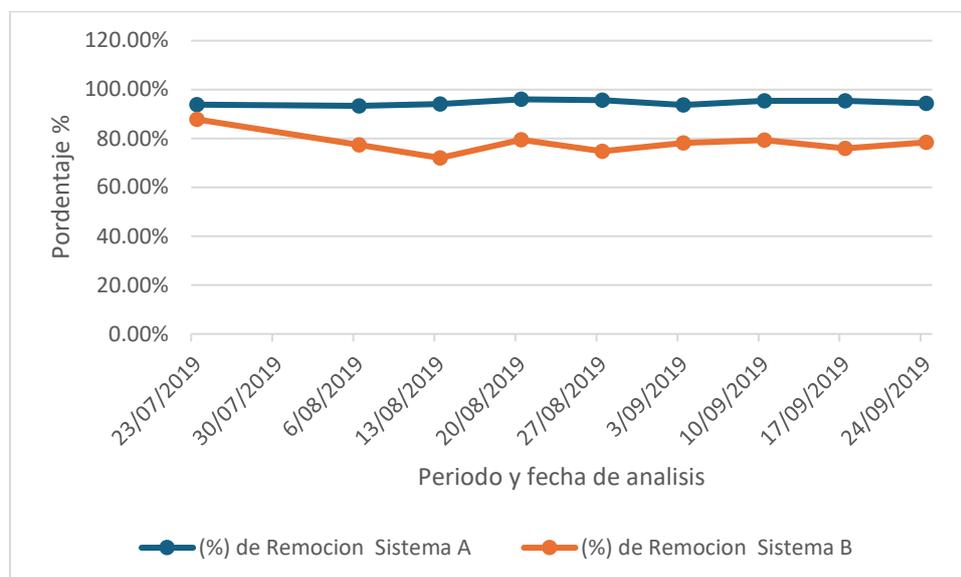
Tabla 37

Promedio de remoción porcentual de DBO5 de los Sistemas A y B

Sistemas	DBO
A	94.61%
B	78.13%

Figura 28

Promedio de remoción porcentual del DBO de los Sistemas A y B



Nota. La figura 28, Se aprecia que el promedio porcentual de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del sistema A (grava $\frac{3}{4}$, 1 pulgada) es mayor en comparación con el sistema B (grava 1/12, 2 pulgadas), obteniéndose un porcentaje de remoción de DBO5 del Sistema A de 94.61 % a diferencia que el sistema B que obtuvo 78.13 %.

4.4.3. Remoción porcentual de Demanda Química de Oxígeno de los sistemas A y B

Tabla 38

Comparación porcentual de la Demanda Química de Oxígeno de los Sistemas A y B

Semanas	Periodo y fecha de análisis	DQO (%)	
		Sistema A	Sistema B
02	23/07/2019	81.21%	74.94%
03	06/08/2019	86.51%	78.83%
04	13/08/2019	83.02%	75.71%

05	20/08/2019	82.39%	79.90%
06	27/08/2019	84.88%	77.55%
07	03/09/2019	83.88%	73.95%
08	10/09/2019	83.75%	76.14%
09	17/09/2019	86.65%	79.86%
10	24/09/2019	87.33%	78.44%

Nota. Se aprecia que el sistema A (grava $\frac{3}{4}$, 1 pulgada) tiene mayor porcentaje de remoción porcentual de la Demanda Química de Oxígeno en comparación con el sistema B (grava 1/12, 2 pulgadas).

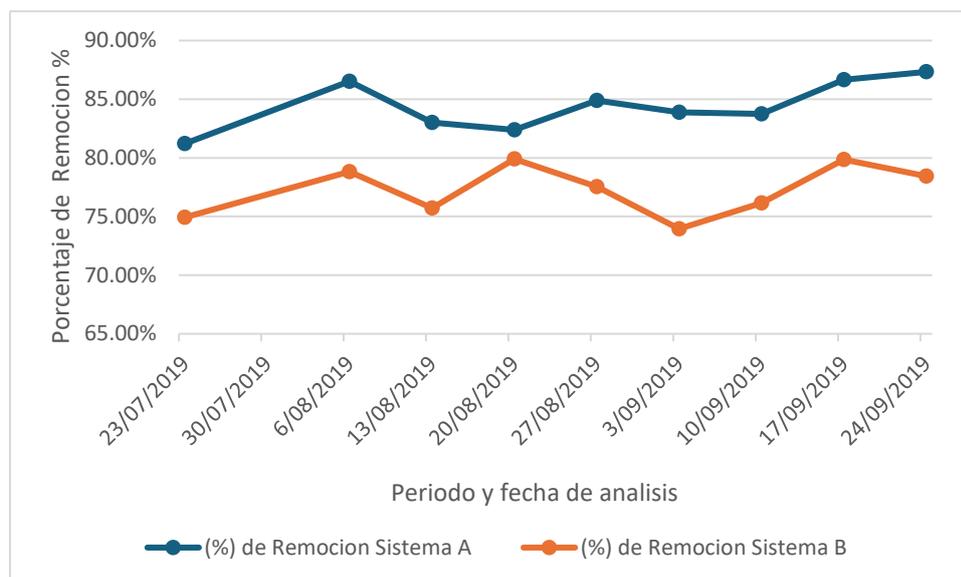
Tabla 39

Promedio porcentual de la DQO de los Sistemas A y B

Sistemas	DQO
A	84.40%
B	77.26%

Figura 29

Promedio de Remoción porcentual del DQO de los sistemas A y B



Nota. La figura 29, Se aprecia que el promedio porcentual de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del sistema A (grava $\frac{3}{4}$, 1 pulgada) es mayor en comparación con el sistema B (grava $\frac{1}{12}$, 2 pulgadas), obteniéndose un porcentaje de remoción de DQO del Sistema A de 84.40% a diferencia que el sistema B que obtuvo 77.26%.

4.4.4. Remoción porcentual de Aceites y Grasas de los sistemas A y B

Tabla 40

Remoción porcentual de aceites y grasas de los sistemas A y B

Semanas	Periodo y fecha de análisis	Aceites y Grasas (%)	
		Sistema A	Sistema B
02	23/07/2019	91.83%	76.66%
03	06/08/2019	94.45%	76.43%
04	13/08/2019	91.14%	87.87%
05	20/08/2019	90.33%	76.52%

06	27/08/2019	93.47%	80.70%
07	03/09/2019	81.86%	92.01%
08	10/09/2019	90.00%	78.57%
09	17/09/2019	90.61%	79.63%
10	24/09/2019	91.83%	72.91%

Nota. Se aprecia que el sistema A (grava $\frac{3}{4}$, 1 pulgada) tiene mayor porcentaje de remoción porcentual de aceites y grasas (A y G) en comparación con el sistema B (grava 1/12, 2 pulgadas).

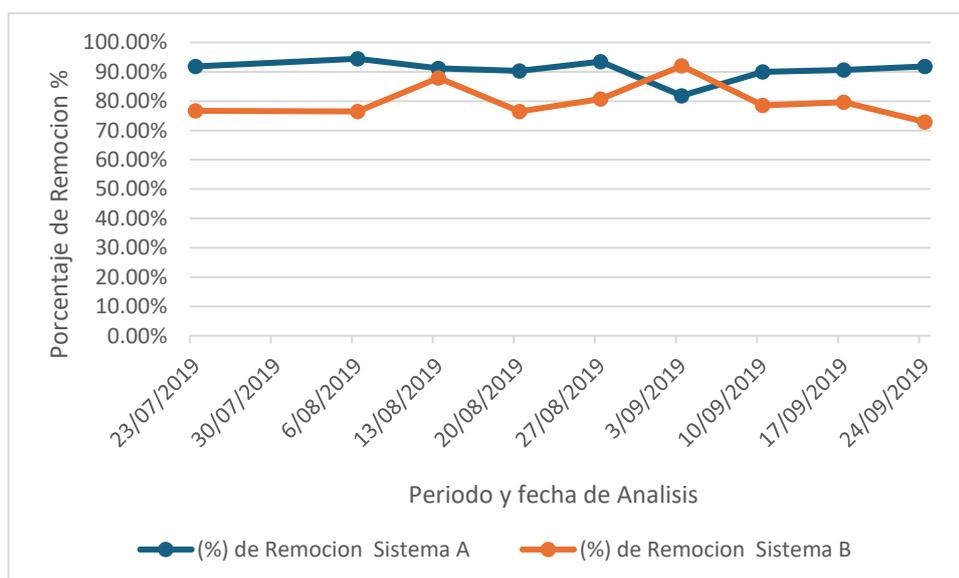
Tabla 41

Promedio porcentual de Aceites y Grasas de los Sistemas A y B

Sistemas	A y G
A	90.61%
B	80.14%

Figura 30

Promedios porcentuales de aceites y grasas de los Sistemas A y B



Nota. La figura 30, Se aprecia que el promedio porcentual de remoción de los aceites y grasas (AyG) del sistema A (grava $\frac{3}{4}$, 1 pulgada) es mayor en comparación con el sistema B (grava $\frac{1}{12}$, 2 pulgadas), obteniéndose un porcentaje de remoción de AyG del Sistema A de 90.61% a diferencia que el sistema B que obtuvo 80.14%.

4.5. Análisis Comparativo de la Eficiencia en Sistemas de Diferencia Granulometría

Se verificará cuál de los dos sistemas tendrán mayor eficiencia acorde al tamaño granulométrico

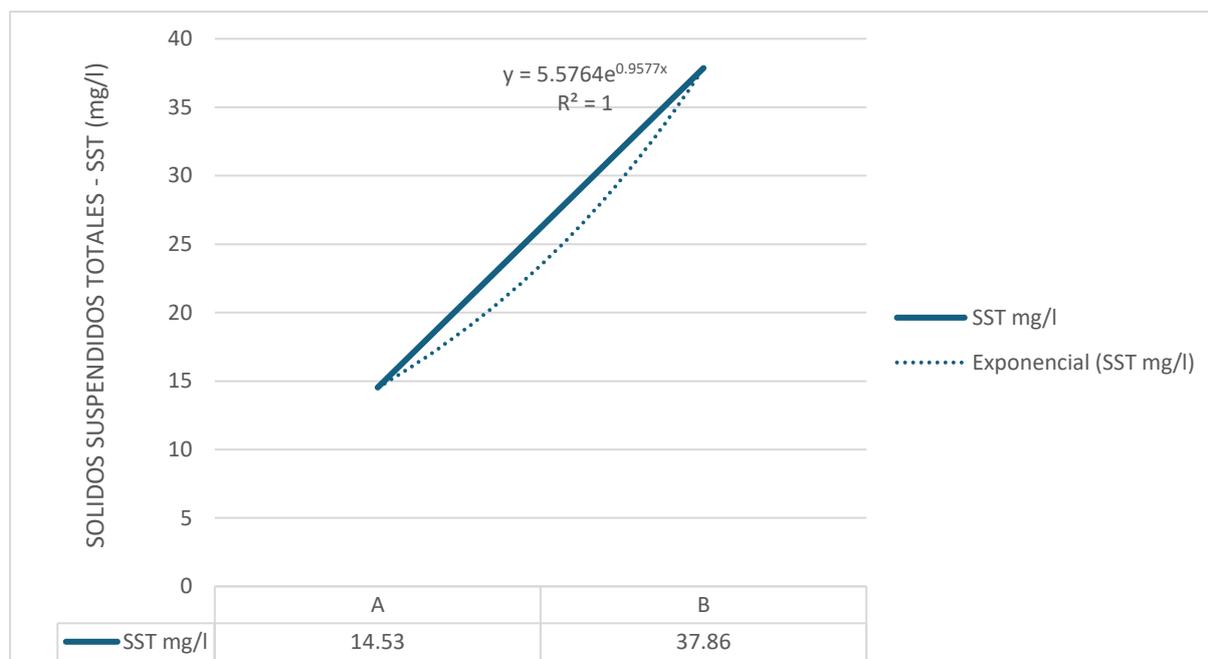
4.5.1. Análisis Comparativo de la eficiencia granulométrica de los Solidos Suspendidos

Totales de los sistemas A y B

De acuerdo con los valores promedios obtenidos tanto del Sistema A y del Sistema B, detallados en la tabla N° 29 se comprobará la eficiencia en la siguiente grafica

Figura 31

Relación entre los Solidos Suspendidos Totales y la eficiencia en los Sistemas A y B



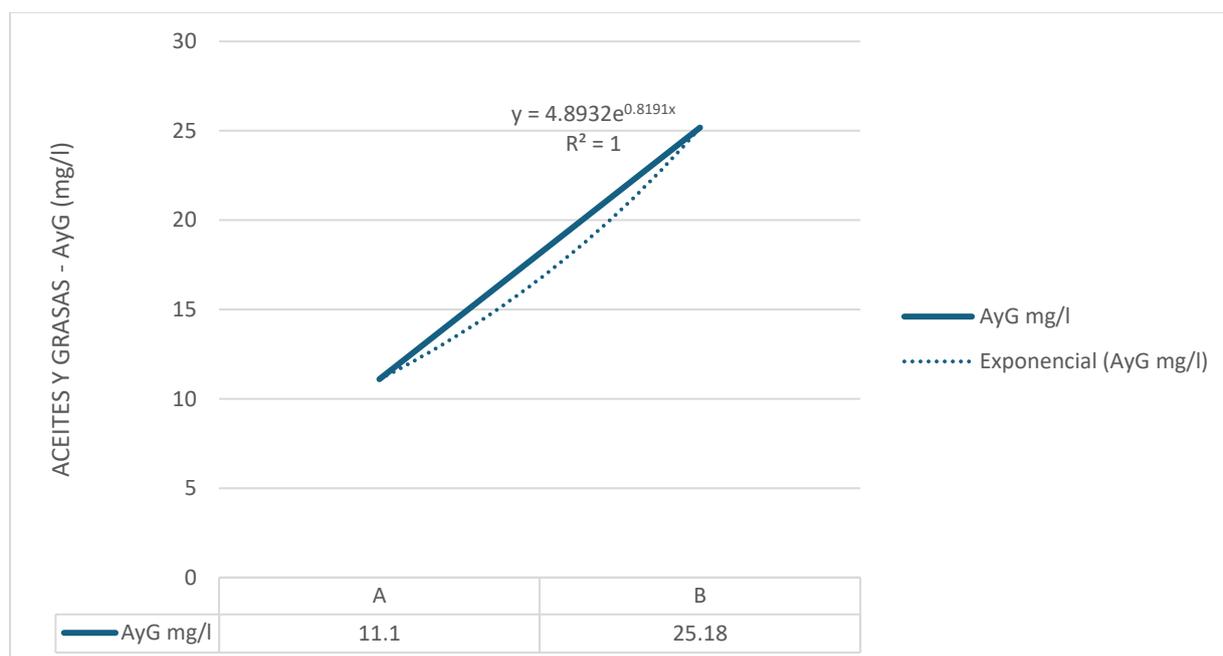
Nota. La figura 31, la línea de tendencia es $y = 5.5764e^{(0.9577x)}$, el cual tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 1$, donde el valor de 5.5764 va a representar el valor inicial de los SST, y el exponente 0.9577 va a representar que la relación exponencial es creciente, lo que muestra que los niveles de los Sólidos Suspendidos Totales (SST). Por lo cual se observa que el Sistema A es mucho más eficiente para la reducción de los SST en comparación con el sistema B.

4.5.2. Análisis Comparativo de la eficiencia granulométrica de aceites y grasas de los sistemas A y B

De acuerdo con los valores promedios obtenidos tanto del Sistema A y del Sistema B, detallados en la tabla N° 33 se comprobará la eficiencia en la siguiente grafica.

Figura 32

Relación entre los Aceites y Grasas y la eficiencia en los Sistemas A y B



Nota. La figura 32, la línea de tendencia es $y = 4.8932e^{0.8191x}$ el cual tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 1$, donde el valor de 4.8932 va a representar el valor inicial de los A y G, y el exponente 0.8191 muestra la tasa de crecimiento exponencial de los aceites y grasas

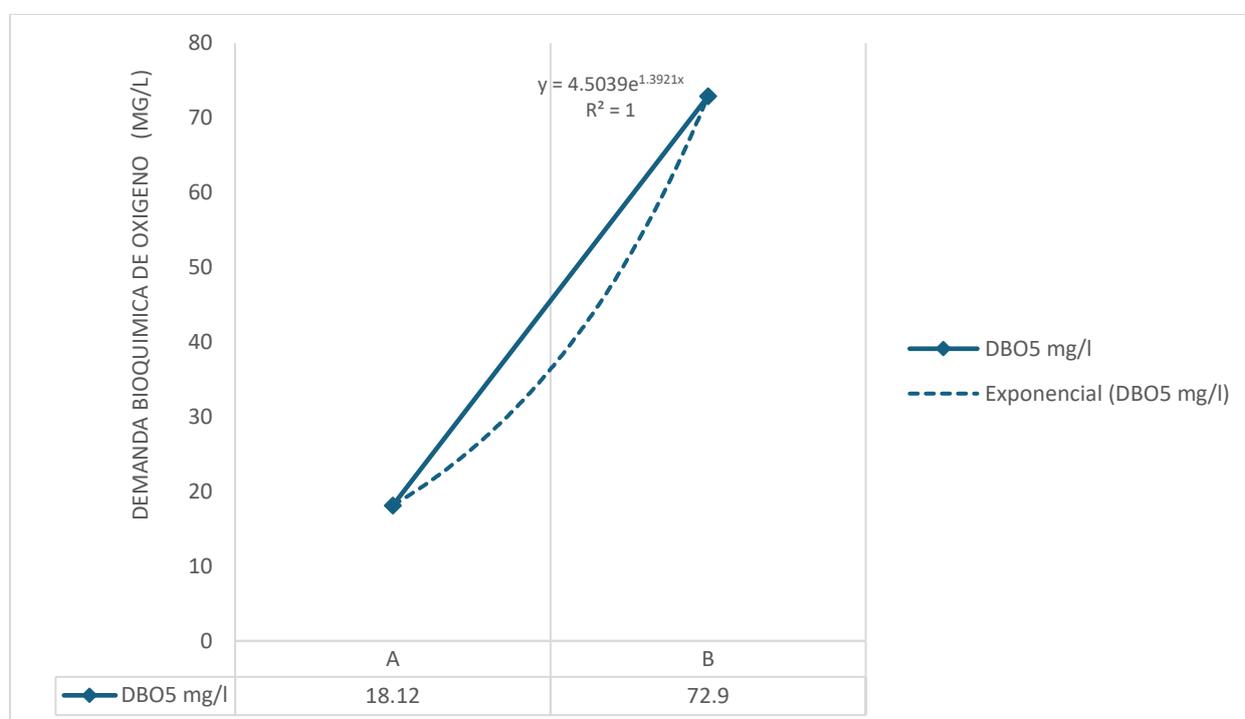
conforme a alguna condición, la curva es creciente por lo que el Sistema A es significativo más eficiente en comparación al Sistema B

4.5.3. Análisis Comparativo de la eficiencia granulométrica de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de los sistemas A y B

De acuerdo con los valores promedios obtenidos tanto del Sistema A y del Sistema B, detallados en la tabla N° 20 se comprobará la eficiencia en la siguiente grafica.

Figura 33

Referencia de Demanda Bioquímica de Oxígeno en los sistemas A y B



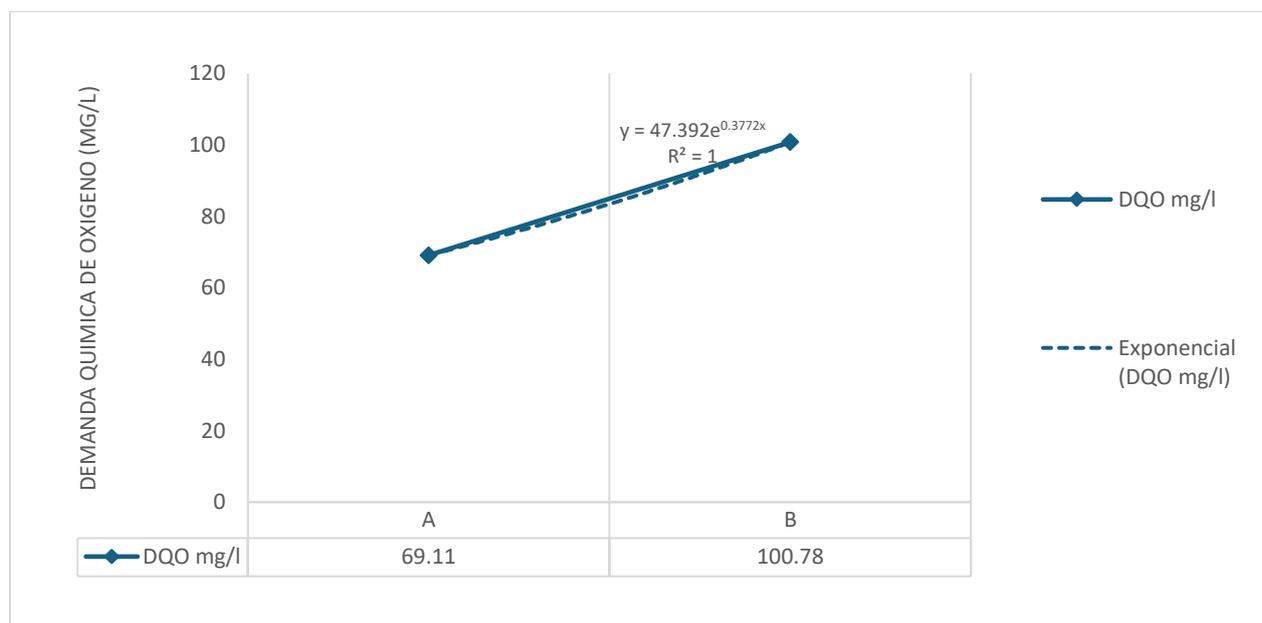
Nota. La figura 33, se observan los valores del DBO₅, el sistema A tiene una mayor demanda de oxígeno en comparación con el sistema B. Un valor más bajo de DBO₅ indica que el sistema A tiene mayor capacidad para reducir la carga orgánica, por lo que el sistema A es más eficiente que el sistema B, acorde al $R^2 = 1$ se ve que la curva hay un crecimiento exponencial donde hay un aumento de la variable independiente provoca dicho aumento exponencial

4.5.4. Análisis Comparativo de la eficiencia granulométrica de la Demanda Química de Oxígeno Totales de los sistemas A y B

De acuerdo con los valores promedios obtenidos tanto del Sistema A y del Sistema B, detallados en la tabla N° 25 se comprobará la eficiencia en la siguiente grafica

Figura 34

Referencia de la Demanda Química de Oxígeno en los Sistemas A y B



Nota. La figura 34, se observa la línea de tendencia es $y = 47.392e^{0.3772x}$ el cual tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 1$, donde el valor de 47.392 va a representar el valor inicial de los DQO y el exponente 0.3772 muestra la tasa de crecimiento exponencial del DQO. Conforme a ello, el Sistema A es más eficiente que el sistema B.

4.6. Desarrollo de la Especie *Cyperus papyrus*

A lo largo de la fase experimental, se evaluó el desarrollo de la especie *Cyperus papyrus*, la cual fue implantada en el sistema A (cuyo medio filtrante tuvo un tamaño de $\frac{3}{4}$, 1 pulgada) y en el sistema B (cuyo medio filtrante tuvo un tamaño de $1 \frac{1}{2}$, 2 pulgadas)

4.6.1. Desarrollo de la Especie *Cyperus papyrus* en el Sistema A.

Se conoce que este sistema tiene el sustrato con granulometría más pequeña, por lo cual permite una mejor retención del agua, adicional a ello en la fase de experimentación acorde a lo que se menciona en la tabla 15, la temperatura promedio del sistema A fue de 15.75°C , lo cual limita el crecimiento de la especie macrofita, ya que la actividad metabólica es lenta, y la temperatura apropiada acorde a (Turner, 1999) es de $20^{\circ} \text{C} - 30^{\circ} \text{C}$.

Tabla 42

*Crecimiento de los esquejes de la especie *Cyperus papyrus* del sistema A*

Semanas	Unidades	Observaciones
01-02	0 – 1 cm	Raíces formándose, muy poco crecimiento visible
03-04	1 – 3 cm	Crecimiento lento
05 - 06	3- 6 cm	Crecimiento moderado, mayor oxigenación.
07- 08	6 – 9 cm	
09 - 10	9 – 12 cm	
11	12- 15 cm	

Tabla 43*Crecimiento del tallo de la especie Cyperus papyrus del Sistema A*

Semanas	Unidades	Observaciones
01-02	0 cm	Sin crecimiento visible
03-04	1 cm	
05-06	1 - 2cm	
07-08	2 – 5 cm	
09 - 10	5 – 8 cm	
11	8- 10 cm	

4.6.2. Desarrollo de la Especie Cyperus papyrus en el Sistema B.

Se conoce que este sistema tiene el Sustrato con granulometría más grande, adicional a ello en la fase de experimentación acorde a lo que se menciona en la tabla 17, la temperatura promedio del sistema B fue de 15.60 ° C, lo cual limita el crecimiento de la especie macrofita, ya que la actividad metabólica es lenta, y la temperatura apropiada acorde a (Turner, 1999) es de 20 ° C - 30° C.

Tabla 44*Crecimiento de los esquejes de la especie Cyperus papyrus del sistema B*

Semanas	Unidades	Observaciones
01-02	0 – 1 cm	Raíces empezándose a formar
03-04	1 – 2 cm	
05 - 06	2- 5 cm	Crecimiento moderado
07- 08	5 – 8 cm	

09 - 10	8 – 10 cm
11	10- 12 cm

Tabla 45

Crecimiento de tallos de la especie Cyperus papyrus del sistema B

Semanas	Unidades	Observaciones
01- 02	0 cm	Sin crecimiento visible
02- 04	1 cm	
05 - 06	1 - 2cm	
07- 08	2 – 4 cm	
09 - 10	4 – 6 cm	
11	6- 8 cm	

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Respecto a la DBO₅ de esta investigación, el sistema A el cual presenta menor tamaño granulométrico tuvo un resultado de 18.12mg/l, y el porcentaje de remoción de contaminantes fue de 94.96%, en el sistema B (mayor tamaño granulométrico), los cuales fueron de 72.9 mg/l, obteniendo el 78.13%, el porcentaje de remoción del sistema A fue similar a Paredes (2021) utilizando el girasol en su proceso de investigación quien también obtuvo un 94.96%, y usando el piñón el resultado fue de 92.80% superior a lo que presento este trabajo de investigación así también los porcentajes de remoción de esta investigación fueron superiores a los presentados por Peña (2012), Valladares (2018), Mellado (2018), Padilla (2019) y Valverde y Peña (2021) cuyos resultados fueron 86.34%, 60.03%, 87%, 65%, 66% respectivamente.

En cuanto al DQO, los resultados de esta investigación para el sistema A fueron 69.11 mg/l y su porcentaje de remoción de contaminantes fue de 84.40%, en el caso del sistema B los resultados fueron de 100.78 mg/l cuyo porcentaje de remoción fue 77.26%, estos resultados fueron superiores a los obtenidos por Mellado (2018) quien realizó un estudio utilizando tres especies macrofitas *Phragmites australis*, *Thypha dominguensis* y *Schoenoplectus americanus* cuyo resultado de porcentaje de remoción fue de 70.37%, 72.85% y 70.12% respectivamente; Valladares (2018) uso dos especies macrofitas en su proceso de investigación, *Chrysopogon zizanioides*, y *Phragmites australis* cuyo resultados fueron de 64.13% y 58.58% respectivamente; Valverde y Reyna (2021) trabajaron con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis* cuyo porcentaje de remoción fue de 65% y 66% respectivamente; Peña (2012) trabajo con la especie *Canna indica* en tres de sus sistemas, utilizando diferentes tamaños granulométricos, así también los sistemas usaron diferentes caudales, obteniendo los resultados de 70.64% en el H₁, 68.53% H₂ y 68.065% en el H₃.

Respecto a los SST, los resultados de esta investigación fueron que el sistema A tuvo un 14.53 mg/l cuyo porcentaje de remoción fue de 90.23%, en el sistema B los resultados fueron de 37.86mg/l cuyo porcentaje de remoción fue de 72.97% mientras que Paredes (2021) obtuvo unos resultados de 8mg/l cuyo porcentaje fue del 97.08% usando el girasol (*Helianthus annuus*), y 4.6 mg/l cuyo porcentaje fue de 90.53% del piñón, en el caso de Valverde y Peña (2021) usaron la especie *Cyperus papyrus* cuyo resultado fue de 91% , y *Phragmites australis* el resultado fue de 92%, los resultados de estos autores fueron superiores a esta investigación debido a que el lecho granulométrico de este último autor contenía roca volcánica, arena, entre otros materiales, así también el tamaño del lecho granulométrico fueron gravas finas 16mm y gravas medias 32mm; acorde a lo que menciona (Garcia et al. 2016) una mayor variedad en tamaños de los poros, permiten favorecer en el entorno microbiano. Así los diferentes tamaños granulométricos que tienen dicho trabajo, permiten una mayor retención de sólidos en suspensión, de acuerdo con (Vymazal, 2011) indica que el tamaño de las partículas influye en la efectividad del filtrado, por eso cuando las partículas son más finas, pueden atrapar mejor los sólidos, lo que genera un mayor porcentaje de remoción , en cuanto a la temperatura con la estuvieron expuestos, tuvo un promedio de 20°C a diferencia de esta investigación, cuyo promedio de temperatura promedio fue de 15°C , de acuerdo con (Garrido, 2020) La actividad microbiana, influye mucho en la remoción de los sólidos, sobre todo cuando estos se encuentran sometidos a temperaturas apropiadas para el crecimiento y desarrollo de la especie macrofita . Dichas especies macrofitas, *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis*, son muy efectivas en cuanto a la absorción de nutrientes y sólidos suspendidos.

Los resultados de Aceites y Grasas (A y G) de esta investigación fueron de 11.1 mg/l cuyo porcentaje de remoción fue de 90.61% para el sistema A, en cuanto al sistema B los resultados fueron de 25.18 mg/l cuyo porcentaje fue de 80.14%, menores a los resultados que obtuvo Mellado (2018) cuyos resultados de las tres especies macrofitas, fueron los siguientes:

Phragmites australis 97.70% , *Thypha Dominguensis* 95.91% , *Schoenoplectus americanus* 96.90%, dichos valores son superiores debido a que las especies macrofitas presentan diferentes capacidades de absorción y degradación de contaminantes, a diferencia de este trabajo de investigación, tal como menciona (Rodríguez, 2015) la temperatura permite la degradación de contaminantes debido que hay un mejor intercambio de nutrientes y contacto con los microorganismos, Mellado (2018) registro en su trabajo temperaturas promedio de 21°C, óptima para el desarrollo de las especies macrofitas .

VI. CONCLUSIONES

- a) Se obtuvo los resultados de la caracterización de los parámetros básicos y fisicoquímicos del afluente, el resultado del promedio de las diez mediciones que se realizaron fue, 329.18 mg/l de DBO₅, 446.7 mg/l de DQO, 121.48 mg/l de aceites y grasas y 142.65 mg/l de SST, los cuales sobrepasaron los valores de acuerdo con lo que establece los LMP en el Decreto Supremo N° 003 – 2010-MINAM.
- b) Se concluye que el sistema A que tiene la grava de menor tamaño ($\frac{3}{4}$ - 1 pulgada) es mucho más eficiente en comparación del sistema B quien tiene grava de mayor tamaño (1 $\frac{1}{2}$,- 2 pulgadas); se analizó los parámetros básicos y fisicoquímicos, obteniéndose después de 09 mediciones los siguientes resultados DBO₅ en 18.12 mg/l , DQO en 69.11 mg/l , aceites y grasas en 11.10mg/l y SST en 14.53 mg/l En cuanto al sistema B los resultados fueron 72.9mg/l de DBO₅ , 100.78 mg/l de DQO, 37.86 mg/l de aceites y grasas y 37.86 mg/l de SST.
- c) Se concluyó que el porcentaje de remoción de contaminantes de los parámetros fisicoquímicos del sistema A, fue superior a los resultados del sistema B. En el sistema A se obtuvo 94.61% de DBO₅, 84.40% de DQO, 90.23% de SST y 90.61% de aceites y grasas 90.61%. En cuanto al sistema B se obtuvo 78.13% de DBO₅, 77.26% de DQO, 72.97% de SST y 80.14% de aceites y grasas.

VII. RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda replicar la técnica aplicada en esta investigación, debido a que los resultados obtenidos demostraron que el uso de diferentes tamaños granulométricos de grava como medio filtrante, en combinación con la especie macrofita *Cyperus papyrus* redujeron los contaminantes en los sistemas de humedales artificiales, los porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos son altos, especialmente el sistema de menor tamaño granulométrico, este diseño experimental puede ser adaptado a otros proyectos debido al diseño experimental y enfoque cuantitativo es eficiente para el sistema por lo que genera buenos resultados en términos de protección ambiental y en tratamiento de aguas residuales domésticas .
- b) Se recomienda el uso de otros medios filtrantes con diferentes tamaños granulométricos, a los usados en la presente investigación a fin de conocer los niveles de remoción de DBO, DQO, SST y aceites y grasas.
- c) Se recomienda realizar monitoreos de forma periódica del crecimiento de las especies acuáticas, debido a que, si no se le hace el control, podría desarrollarse el crecimiento descontrolado de las especies macrofitas, lo que podría ocasionar la muerte de las plantas, provocando un déficit en la eficiencia del sistema, afectando a la capacidad de retención y filtración de contaminantes.
- d) Se recomienda realizar el mantenimiento periódico de los humedales, a fin de garantizar la eficiencia a largo del sistema de tratamiento de los humedales artificiales con especies macrofitas, tales como la remoción de material vegetal muerto a largo plazo esta actividad, el sistema llegaría a saturarse y el flujo del agua a través del medio filtrante no sería el correcto.

VIII. REFERENCIAS

- Aghalari, Z., Dahms, H. U., Sillanpa, M., et al. (2020). Effectiveness of wastewater treatment systems in removing microbial agents: A systematic review. *Global Health*, 16(13), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s12992-020-0546-y>
- Autoridad Nacional del Agua. (s.f.). *Protección del agua, vigilancia y control de vertimientos-PAVER* [Informe técnico]. Lima. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/4-proteccion_del_agua_vigilancia_y_control_de_vertimientos_paver_lic_juanocola_0.pdf
- Bishop, P. (2015). *Fundamentos de la ingeniería ambiental*. McGraw-Hill Education.
- O'Brien, E. (2008). *Waterborne pathogens: A practical guide*. CRC Press. <https://shop.elsevier.com/books/waterborne-pathogens/bridle/978-0-444-64319-3>
- Corzo, G. (2008). *Depuración con humedales construidos: Guía práctica de diseño y construcción de un humedal artificial de flujo subsuperficial*. Universidad Politécnica de Cataluña. <http://hdl.handle.net/2117/2474>
- Carballeira, R. (2018). Presencia de *Cyperus papyrus* L. (Cyperaceae) en la región biogeográfica atlántica de la Península Ibérica. *Anales de Biología Marina*, 25(1), 1-13
- Corzo, G. y. (2008). Depuración con humedales construidos. En *Guía práctica de diseño y construcción de un humedal artificial de flujo subsuperficial* (pp. 45-67). Barcelona, España: [Monarca].

- Dale, P. E. R., & Connelly, R. (2012). Wetlands and human health: an overview. *Wetlands Ecology and Management*, 20(2), 165–171. <https://doi.org/10.1007/s11273-012-9264-4>
- Das, B. M. (2010). *Principles of geotechnical engineering* (1.^a ed.). Cengage Learning. <https://dl.icdst.org/pdfs/files/f26ec24b602af7971800c8c327a3b3bd.pdf>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA), Universidad Mayor de San Simón. <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Díaz-García, A. J., & Paredes-Ramos, P. M. (2021). Aprovechamiento de aguas residuales domésticas tratadas mediante el uso de un humedal artificial de piñón y girasol. *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8331419>
- García Trujillo, Z. M. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional de la UNI. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/1292>
- Gibbons, R. S. (1994). *Introduction to wetlands: An overview*. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-02/documents/wetlandsoverview.pdf>
- Gómez Lordan, Y. M. (2017). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento de*

- aguas servidas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
Repositorio UNALM-Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2875>
- Gosselink, W. J. (2007). *Ecology of wetlands and associated systems* (Softcover reprint of the hardcover 1st edition, 1988). Croom Helm Ltd. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8378-9>
- Gosselink, J. G. & Mitsch, W. J. (2015). *Wetlands* (4th ed.). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ. <https://download.e-bookshelf.de/download/0000/5929/20/L-G-0000592920-0002363128.pdf>
- Grady, C. P. L., Daigger, G. T., Love, N. G., & Filipe, C. D. M. (2011). *Biological wastewater treatment* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13775>
- Hans, B. (1993). *Use of constructed wetlands in water pollution control*. Pergamon Press, Oxford. <https://es.ircwash.org/sites/default/files/341.9-94US-13022.PDF>
- Hammer, M. J. Jr. (2012). *Water and wastewater technology* (7^a ed.). Pearson Education Limited. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292034294_A24589366/preview-9781292034294_A24589366.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2015). *Síntesis estadística 2015* (Publicación N° 2345). Instituto Nacional de Estadística e Informática. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1292/1ibro.pdf
- Jiménez Castro, C. G., & Padilla Jiménez, C. M. (2009). *Remoción de contaminantes inorgánicos de aguas residuales industriales con *Eichhornia crassipes* o jacinto de*

- agua* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Biblioteca virtual Semisud.
https://biblioteca.semisud.org/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=277354
- Lu, X., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., & Homyok, K. (2004). Removal of cadmium and zinc by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *ScienceAsia*, 30(2), 93–103.
<https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2004.30.093>
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill, New York. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2015.714093>
- Mellado Delgado, G. (2018). *Determinación de la eficiencia de tres especies macrofitas para el tratamiento de aguas residuales domésticas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio UNFV.
<https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2729>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2010). *Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales* (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM). Lima, Perú. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2009). *Manual para municipios ecoeficientes* (N° 2009-15589).
https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2013/10/manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf
- Municipalidad de Miraflores (2016) *Nueva Planta de Tratamiento de agua*. (pp. 02-04)
 Revista de la Municipalidad de Miraflores. N° 29/ Octubre
- Núñez Burga, R. M. F. (2016). *Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, mediante la especie macrófita emergente *Cyperus papyrus* (papiro)* [Tesis de pregrado, Universidad

Peruana Unión]. Repositorio UPEU-Tesis.

<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/555>

Patiño Chávez, J. F., & Zhinín Chimbo, F. L. (2015). *Estudio comparativo de la capacidad depuradora de Phragmites australis y Cyperus papyrus en humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales en el cantón Santa Isabel* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio de la Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23197?locale=es>

Peña Orocaja, D. A., & Infante Flores, R. M. (2012). *Evaluación de la eficiencia de remoción de un humedal artificial en función de la granulometría de grava en el medio filtrante* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería). Repositorio Institucional - UNI. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/3382>

Romero Rojas, J. A. (2021). *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño* (4^a ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería. https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas

Seoanez Calvo, M., & Angulo Aguado, I. (1995). *Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento*. Editorial XYZ https://jabega.uma.es/discovery/fulldisplay?vid=34CBUA_UMA:VU1&search_scope=MyInst_and_CI&tab=default&docid=alma991003642299704986&lang=es&context=L

Servín Massieu, B. (2008). *Tratamiento de aguas residuales* (2^a ed.). Editorial Sánchez. <https://6be9ea7c30.cbaulcdnwnd.com/7f84b783003521bd001c91f5f621073a/200000057-b3f9cb4e88/residuales.pdf>

- Solís Silván, R., López Ocaña, G., Bautista Margulis, R. G., Hernández Barajas, J. R., & Romellón Cerino, M. J. (2016). *Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales utilizando diferentes especies de vegetación macrófita*. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 41(1), 40-47.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5307282>
- Tchobanoglous, G., & Lehman, F. L. (2003). *Wastewater engineering: Treatment, disposal, and reuse*. McGraw-Hill.
- Turner, J. M. W. (2015). *The ecology of papyrus wetlands in África*. Springer.
<https://doi.org/10.1007/springer1234>
- Valverde Quispe, F. A. (2022). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el uso de humedales artificiales mejorados con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis** [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur.]. Repositorio UCSUR-Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/2479>
- Valladares Arangoitia, H. (2018). *Comparación de la eficiencia en remoción de carga orgánica entre el conjunto de especies de macrofitas *Chrysopogon zizanioides*–*Phragmites australis* y la especie *Chrysopogon zizanioides* evaluadas en humedales artificiales de flujo subsuperficial* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI-Tesis. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/16470>
- Vymazal, J. (2010). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*, 2(3), 530-549.
<https://www.mdpi.com/2073-4441/2/3/530>
- Zhinnin, P. Y. (2011). *Estudio comparativo de la capacidad depuradora de *Phragmites australis* y *Cyperus papyrus* en humedales artificiales subsuperficiales de flujo*

vertical para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el cantón Isabel [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Ecuador 10.3390/w2030530

Zhou, Q., Zhu, H., Bañuelos, G., et al. (2017). Effects of vegetation and temperature on nutrient removal and microbiology in horizontal subsurface flow constructed wetlands for treatment of domestic sewage. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228(95). <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3280-1>

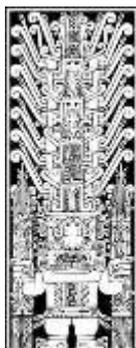
IX ANEXOS

ANEXO A

MATRIZ DE CONSISTENCIA

EFICIENCIA DE LA ESPECIE <i>Cyperus papyrus</i> EN FUNCIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA COMO MEDIO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA	TECNICAS DE INSTRUMENTOS
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo será la eficiencia de la especie <i>Cyperus papyrus</i> en función a la granulometría de la grava como medio filtrante en el tratamiento de aguas residuales domesticas?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo será los resultados de los parámetros fisicoquímicos del afluente antes del tratamiento, con los valores de los límites máximos permisibles de la calidad de agua? • ¿Cuál de los dos humedales artificiales de diferentes tamaños granulométricos, ambos utilizando <i>Cyperus papyrus</i>, es más eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas? • ¿Cómo es el porcentaje de remoción de contaminantes de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas después del tratamiento? 	<p>Objetivo General</p> <p>Evaluar la eficiencia de la especie <i>Cyperus papyrus</i> en función a la granulometría de la grava como medio filtrante para el tratamiento de aguas residuales domésticas.</p> <p>Objetivos Especifico</p> <ul style="list-style-type: none"> -Determinar los resultados de los parámetros fisicoquímicos del afluente antes del tratamiento, con los valores de los límites máximos permisibles de la calidad del agua -Determinar cuál de los dos humedales artificiales de diferentes tamaños granulométricos utilizando <i>Cyperus papyrus</i> es más eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas -Evaluar el porcentaje de remoción de contaminantes de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas después del tratamiento 	<p>Hipótesis General</p> <p>La eficiencia de la especie <i>Cyperus papyrus</i> varía en función a la granulometría de la grava como medio filtrante para el tratamiento de aguas residuales domésticas.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los resultados de los parámetros fisicoquímicos de afluente antes del tratamiento exceden los valores límites máximos permisibles de la calidad de agua • El humedal artificial que utiliza la especie <i>Cyperus papyrus</i> con menor tamaño granulométrico es más eficiente para el tratamiento de aguas residuales domesticas • La caracterización final de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas permitirá conocer el porcentaje de remoción de contaminantes. 	<p>Variable Dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> -Eficiencia de la especie <i>Cyperus papyrus</i> - Granulometría de la grava <p>Variable Independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> -Agua residual domestica 	<p>Diseño:</p> <p>Experimental</p> <p>El diseño tiene un enfoque cuantitativo donde la investigación se define como experimental puro</p> <p>Población:</p> <p>PTAR María Reiche – Miraflores</p> <p>caudal de diseño es de 750m³ / día, la cual sirve para el riego de 15 parques</p> <p>Muestra:</p> <p>Aguas residuales domesticas antes de ser tratadas en la PTAR María Reiche</p>	<p>Técnica</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial (García y Corzo, 2008) ▪ Protocolo de Monitoreo de la Calidad de Efluentes de las Plantas de Tratamiento de aguas Residuales Domesticas o Municipales N° 273-2013 VIVIENDA

ANEXO B
RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL
FACULTAD DE INGENIERA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
LABORATORIO DE GEOGRAFIA Y MEDIO AMBIENTE (LAGEMA)

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

SOLICITANTE:	DE LA CRUZ MORALES, KATHERINE SOFIA
PROYECTO	“EFICIENCIA DE LA ESPECIE <i>Cyperus papyrus</i> EN FUNCIÓN A LA GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA COMO MEDIO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS”
PROCEDENCIA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA – PTAR MARIA REICHE – MIRAFLORES

RESULTADOS ANALISIS DE pH Y TEMPERATURA

Periodo y fechas de Análisis	Afluente de la PTAR María Reiche		Especie Macrofitas <i>Cyperus papyrus</i>			
			Humedal “A” Grava pequeña (3/4 y 1 pulgada)		Humedal “B” Grava Grande (1 1/2 ;2 pulgadas)	
	Temperatura (C°)	pH	Temperatura (C°)	pH	Temperatura (C°)	pH
16/07/2019	15.30	7.10	*	*	*	*
23/07/2019	16.00	7.20	15.90	7.35	15.80	7.08
06/08/2019	16.10	6.75	16.30	7.42	16.00	7.45
13/08/2019	17.40	7.25	15.30	7.36	15.10	7.18
20/08/2019	16.20	7.11	15.90	7.20	15.50	7.32
27/08/2019	16.50	7.20	15.70	7.30	15.30	7.40
03/09/2019	16.10	6.90	15.70	7.61	15.80	7.42
10/09/2019	15.20	7.30	15.40	7.54	15.30	7.42
17/09/2019	16.00	7.00	15.80	7.10	16.10	7.25
24/09/2019	16.00	6.90	15.80	7.25	15.80	7.15

(*) No se realizó ningún análisis

Lima, 24 de Setiembre del 2019

Mg. Ing. Omar Vásquez Aranda

CIP: 92507



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL
FACULTAD DE INGENIERA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
LABORATORIO DE GEOGRAFIA Y MEDIO AMBIENTE (LAGEMA)

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

SOLICITANTE:	DE LA CRUZ MORALES, KATHERINE SOFIA
PROYECTO	“EFICIENCIA DE LA ESPECIE <i>Cyperus papyrus</i> EN FUNCIÓN A LA GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA COMO MEDIO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS”
PROCEDENCIA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA – PTAR MARIA REICHE – MIRAFLORES

RESULTADOS ANALISIS DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO₅

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅) (mg/l)					
Periodo y fecha de Análisis	Afluente de la PTAR María Reiche	Especie Macrofito <i>Cyperus papyrus</i>			
		Humedal “A” Grava pequeña (3/4 y 1 pulgada)	% de Eficiencia del Humedal “A” (3/4 y 1 pulgada)	Humedal “B” Grava grande (1 1/2 ;2 pulgadas)	% de Eficiencia del Humedal “B” (1 1/2 ;2 pulgadas)
16/07/2019	250.00	*	*	*	*
23/07/2019	385.00	24.00	93.77 %	47.00	87.79 %
06/08/2019	225.00	15.00	93.33 %	51.00	77.33 %
13/08/2019	295.00	17.50	94.06 %	82.50	72.03 %
20/08/2019	350.50	14.00	96.00 %	72.00	79.45 %
27/08/2019	343.00	15.00	95.62 %	86.60	74.75 %
03/09/2019	399.00	25.30	93.65 %	87.00	78.19 %
10/09/2019	343.30	16.00	95.33 %	71.00	79.31 %
17/09/2019	312.00	14.30	95.41 %	75.00	75.96 %
24/09/2019	389.00	22.00	94.34 %	84.00	78.40 %

(*) No se realizó ningún análisis

Lima, 24 de Setiembre del 2019

Mg. Ing. Omar Vásquez Aranda

CIP: 92507



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL
FACULTAD DE INGENIERA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
LABORATORIO DE GEOGRAFIA Y MEDIO AMBIENTE (LAGEMA)

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

SOLICITANTE:	DE LA CRUZ MORALES, KATHERINE SOFIA
PROYECTO	“EFICIENCIA DE LA ESPECIE <i>Cyperus papyrus</i> EN FUNCIÓN A LA GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA COMO MEDIO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS”
PROCEDENCIA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA – PTAR MARIA REICHE – MIRAFLORES

RESULTADOS ANALISIS DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

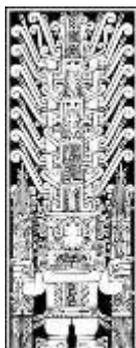
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO (mg/l)					
Periodo y fecha de Análisis	Afluente de la PTAR María Reiche	Especie Macrofito <i>Cyperus papyrus</i>			
		Humedal “A” Grava pequeña (3/4y 1 pulgada)	% de Eficiencia del Humedal “A” (3/4 y 1 pulgada)	Humedal “B” Grava Grande (1 ½ ;2 pulgadas)	% de Eficiencia del Humedal “B” (1 ½ ;2 pulgadas)
16/07/2019	475.00	*	*	*	*
23/07/2019	495.00	93.00	81.21 %	124.00	74.94 %
06/08/2019	482.00	65.00	86.51 %	102.00	78.83 %
13/08/2019	383.00	65.00	83.02 %	93.00	75.71 %
20/08/2019	443.00	78.00	82.39 %	89.00	79.90 %
27/08/2019	450.00	68.00	84.88 %	101.00	77.55 %
03/09/2019	453.00	73.00	83.88 %	118.00	73.95 %
10/09/2019	394.00	64.00	83.75 %	94.00	76.14 %
17/09/2019	442.00	59.00	86.65 %	89.00	79.86 %
24/09/2019	450.00	57.00	87.33 %	97.00	78.44 %

(*) No se realizó análisis

Lima, 24 de Setiembre del 2019

Mg. Ing. Omar Vásquez Aranda

CIP: 92507



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL
FACULTAD DE INGENIERA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
LABORATORIO DE GEOGRAFIA Y MEDIO AMBIENTE (LAGEMA)

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

SOLICITANTE:	DE LA CRUZ MORALES, KATHERINE SOFIA
PROYECTO	“EFICIENCIA DE LA ESPECIE <i>Cyperus papyrus</i> EN FUNCIÓN A LA GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA COMO MEDIO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS”
PROCEDENCIA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA – PTAR MARIA REICHE – MIRAFLORES

RESULTADOS ANALISIS DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

SST (mg/l)					
Periodo y fecha de Análisis	Afluente de la PTAR María Reiche	Especie Macrofita <i>Cyperus papyrus</i>			
		Humedal “A” Grava pequeña (3/4 y 1 pulgada)	% de Eficiencia del Humedal “A” (3/4 y 1 pulgada)	Humedal “B” Grava Grande (1 ½ ;2 pulgadas)	% de Eficiencia del Humedal “B” (1 ½ ;2 pulgadas)
16/07/2019	155.00	*	*	*	*
23/07/2019	145.00	25.00	82.75 %	55.00	62.06 %
06/08/2019	157.50	12.50	92.06 %	22.50	85.66 %
13/08/2019	160.00	10.00	93.75 %	60.00	62.50 %
20/08/2019	80.00	7.50	90.62 %	17.50	78.12 %
27/08/2019	82.50	15.00	90.90 %	25.00	69.69 %
03/09/2019	125.00	12.50	90.00 %	42.50	66.00 %
10/09/2019	178.00	15.80	91.12 %	35.80	79.88 %
17/09/2019	183.50	14.50	92.09 %	54.50	70.29 %
24/09/2019	160.00	18.00	88.75 %	28.00	82.50 %

(*) No se realizó análisis

Lima, 24 de Setiembre del 2019

Mg. Ing. Omar Vásquez Aranda

CIP: 92507

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL



FACULTAD DE INGENIERA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
LABORATORIO DE GEOGRAFIA Y MEDIO AMBIENTE (LAGEMA)

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

SOLICITANTE:	DE LA CRUZ MORALES, KATHERINE SOFIA
PROYECTO	“EFICIENCIA DE LA ESPECIE <i>Cyperus papyrus</i> EN FUNCIÓN A LA GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA COMO MEDIO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS”
PROCEDENCIA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA – PTAR MARIA REICHE – MIRAFLORES

RESULTADOS ANALISIS DE ACEITES Y GRASAS (AyG)

ACEITES Y GRASAS (AyG)					
Periodo y fecha de Análisis	Afluente de la PTAR María Reiche	Especie Macrofito <i>Cyperus papyrus</i>			
		Humedal “A” Grava pequeña (3/4 y 1 pulgada)	% de eficiencia del Humedal “A” (3/4 y 1 pulgada)	Humedal “B” Grava Grande (1 ½ ;2 pulgadas)	% de eficiencia del Humedal “B” (1 ½ ;2 pulgadas)
16/07/2019	128.00	*	*	*	*
23/07/2019	120.00	9.80	91.83%	28.00	76.66 %
06/08/2019	174.80	9.70	94.45%	21.20	76.43 %
13/08/2019	115.20	10.20	91.14%	44.80	87.87 %
20/08/2019	101.40	9.80	90.33%	23.80	76.52 %
27/08/2019	141.00	9.20	93.47%	27.20	80.70 %
03/09/2019	129.00	23.40	81.86%	10.30	92.01 %
10/09/2019	98.00	9.80	90.00%	21.00	78.57 %
17/09/2019	87.40	8.20	90.61%	17.80	79.63 %
24/09/2019	120.00	9.80	91.83%	32.50	72.91 %

(*) No se realizó análisis

Lima, 24 de Setiembre del 2019

Mg. Ing. Omar Vásquez Aranda

CIP: 92507

ANEXO C
RESULTADOS DE ANALISIS GRANULOMETRICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Comisión de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission

Pág. 1 de 2

INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
 A : DE LA CRUZ MORALES, KATHERINE SOFÍA
 Obra : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL EN FUNCIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DEL MEDIO FILTRANTE USANDO EL CYPERUS PAPERUS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS
 Asunto : Ensayo de Granulometría en Agregados
 Expediente N° : 19-4346
 Recibo N° : 68327

1. DE LA MUESTRA : CANTO RODADO, procedente de la cantera PLAYA - LA PUNTA.

2. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 400.012:2018,
 Procedimiento interno AT-PR-24.

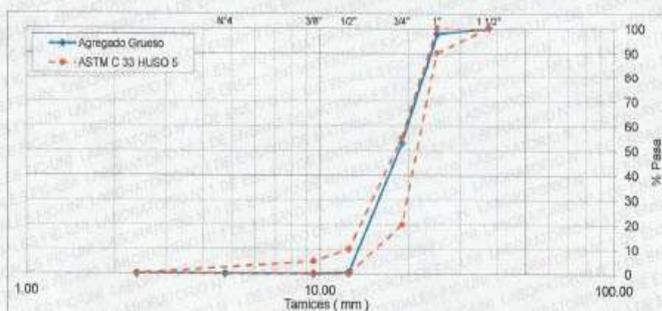
3. RESULTADOS :

3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ		% RET.	% RET. ACUM.	% PASA	% PASA, ASTM C 33 HUSO 5
(Pulg)	(mm)				
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	100.0	100
1"	25.00	2.3	2.3	97.7	90 - 100
3/4"	19.00	44.6	46.9	53.1	20 - 55
1/2"	12.50	52.6	99.5	0.5	0 - 10
3/8"	9.50	0.5	100.0	0.0	0 - 5
N°4	4.75	0.0	100.0	0.0	-
FONDO		0.0	100.0	0.0	

MÓDULO DE FINURA : 7.47

3.2. CURVA GRANULOMÉTRICA



4. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Ing. M. A. Tejada S.
 Técnico : Srta. K.H.A.

MSc. Ing. Isabel Moroni Nakata
 Jefe (e) del laboratorio



NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
 La Calidad es nuestro compromiso



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
 apartado 1301 - Perú
 (511) 381-3343



www.lem.uni.edu.pe
 lem@uni.edu.pe





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Cámara de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission

Pág. 1 de 1

INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
 A : DE LA CRUZ MORALES, KATHERINE SOFÍA
 Obra : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL EN FUNCIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DEL MEDIO FILTRANTE USANDO EL CYPERUS PAPER PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS
 Asunto : Ensayo de Granulometría en Agregados
 Expediente N° : 19-4346
 Recibo N° : 68327

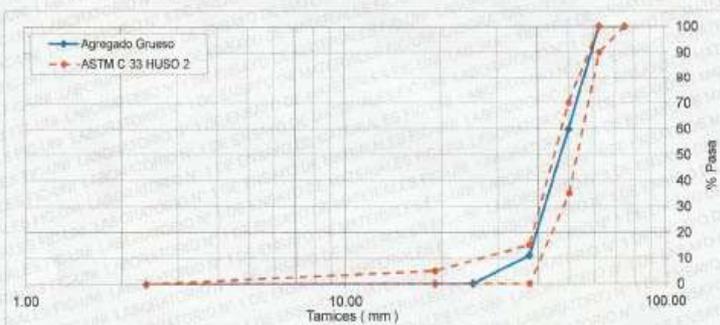
1. DE LA MUESTRA : CANTO RODADO, procedente de la cantera PLAYA - LA PUNTA.
2. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 400.012:2018.
 Procedimiento interno AT-PR-24.
3. RESULTADOS :

3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ	% RET.	% RET. ACUM.	% PASA	% PASA. ASTM C 33 HUSO 2
3"	75.00	0.0	0.0	100
2 1/2"	62.50	0.0	0.0	90 - 100
2"	50.00	40.2	59.8	35 - 70
1 1/2"	37.50	48.8	10.9	0 - 15
1"	25.00	10.9	0.0	-
3/4"	19.00	0.0	0.0	0 - 5
FONDO	0.0	100.0	0.0	

MÓDULO DE FINURA : 8.89

3.2. CURVA GRANULOMÉTRICA



4. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Ing. M. A. Tejada S.
 Técnico : Srta. K.H.A.

MSc. Ing. Jeibel Moromi Nakata
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
 La Calidad es nuestro compromiso



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
 apartado 1301 - Perú
 (5111) 381-3343

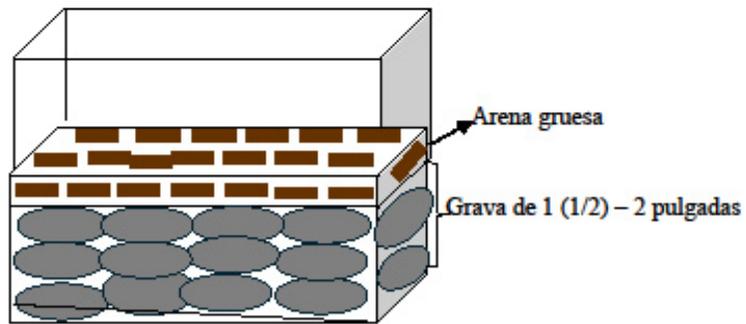
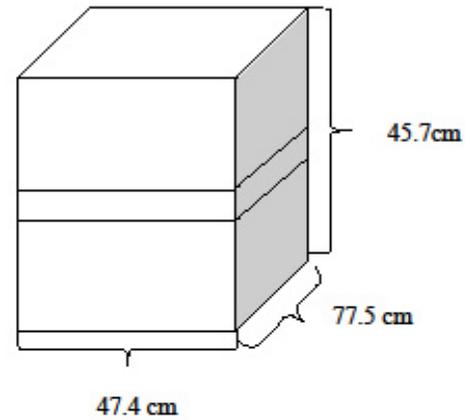
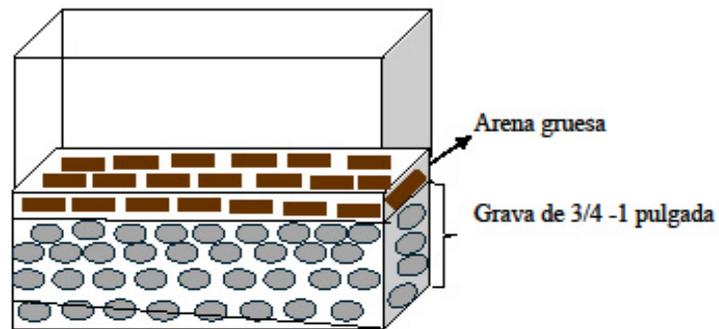


www.lem.uni.edu.pe
 lem@uni.edu.pe



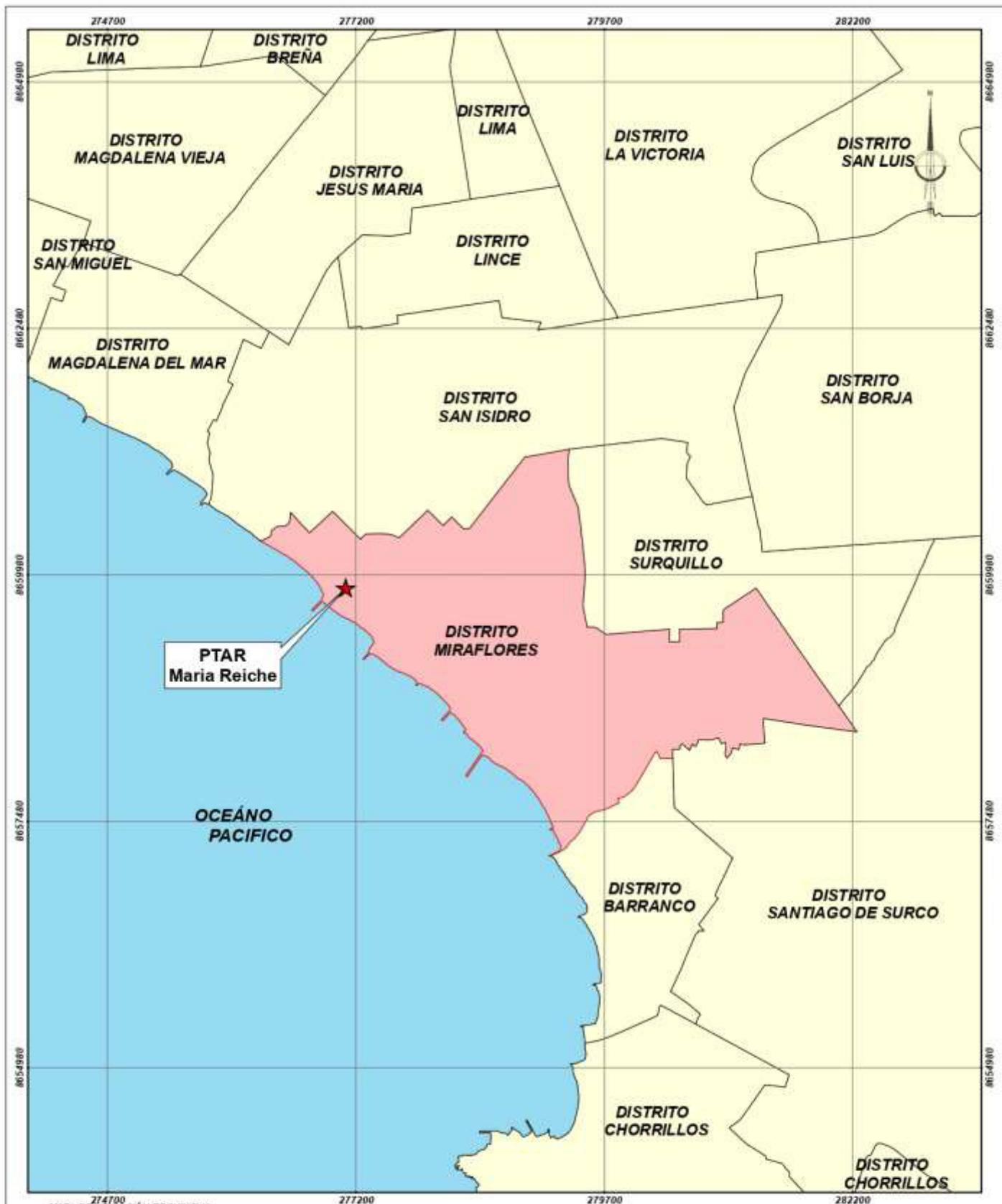
ANEXO D
PLANO DEL HUMEDAL

DISEÑO DEL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL



	UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL	
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL	
EFICIENCIA DE LA ESPECIE <i>CYPERUS PAPYRUS</i> EN FUNCION DE LA GRANULOMETRIA DE LA GRAVA COMO MEDIO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS, 2019		
ALUMNA: De la Cruz Morales, Katherine Sofia		
HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL		
ASESOR: Mg. Ing. Omar Vásquez		P-01
FECHA: 01/10/2019		
ESCALA: 1/15		

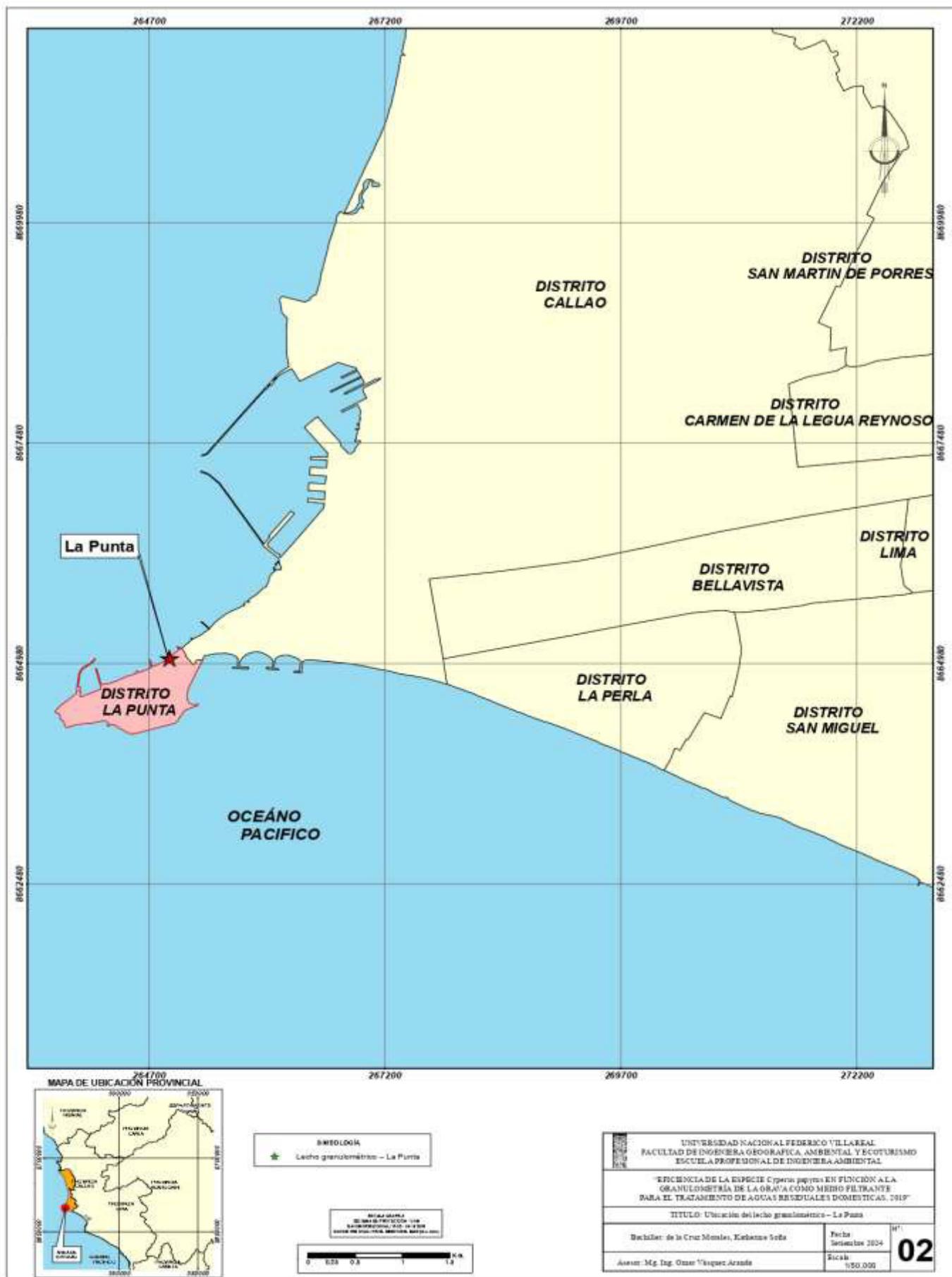
ANEXO E
MAPAS DE UBICACIÓN DE RECOLECCIÓN DE MEDIO GRANULEMTRICO Y
EXTRACCION DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS



LEGENDA
 ★ PTAR Maria Reiche



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL		
EFICIENCIA DE LA ESPESIE <i>Cyperus papyrus</i> EN FILTRACIÓN A LA GRANULOMETRÍA DE LA GRASA COMO MEDIO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS. 2019		
TÍTULO Ubicación de la PTAR Maria Reiche - Miraflores		
Asesor: Mg. Ing. Oscar Vilquez Acosta	Fecha: Setiembre 2024	01
Escala: 1:80.000	H ^o	



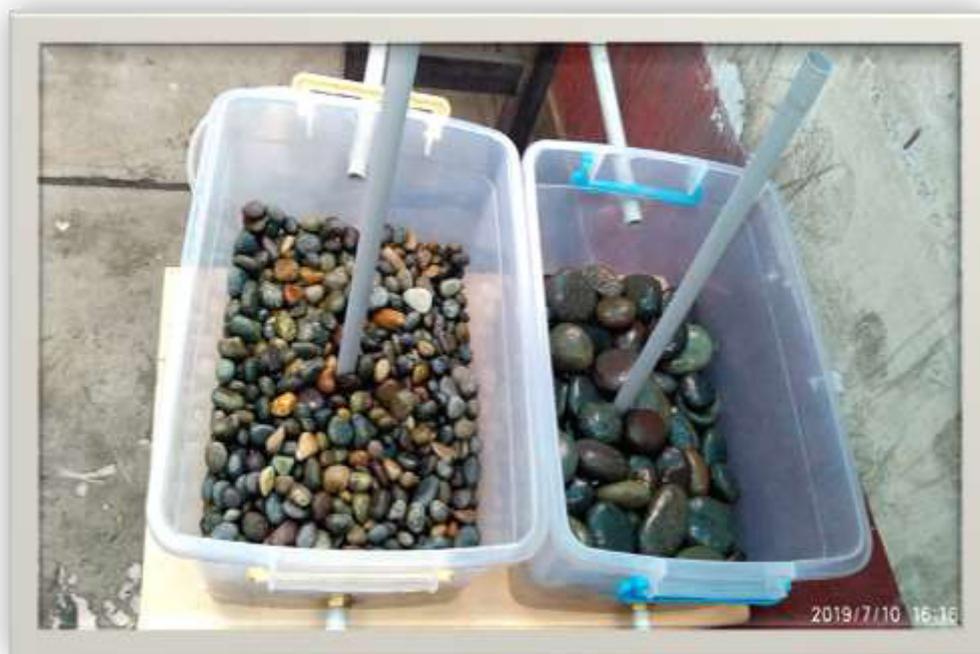
BIOLOGÍA
 ★ Lecho granulométrico - La Punta



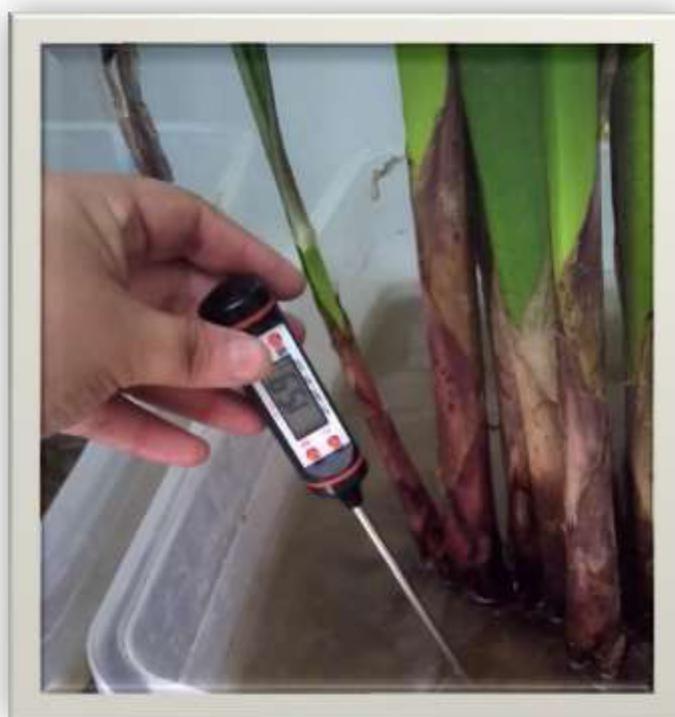
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
EFICIENCIA DE LA ESPECIE <i>Cyperus papyrus</i> EN FUNCIÓN A LA GRANULOMETRÍA DE LA ORJA COMO MEDIO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. 2019*	
TÍTULO: Ubicación del lecho granulométrico - La Punta	
Autor: de la Cruz Morales, Karolena Sofo	Fecha: Setiembre 2024
Asesor: Mg. Ing. Omar Vásquez Aranda	Escala: 1:50.000

02

ANEXO F
PANEL FOTOGRAFICO



Colocación de diferente tamaño granulométrico



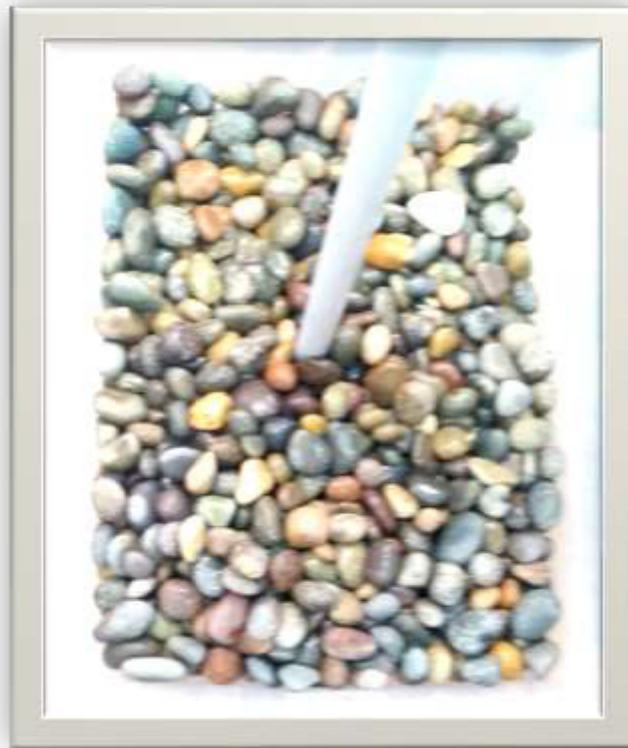
Medición del pH



Recolección de la grava



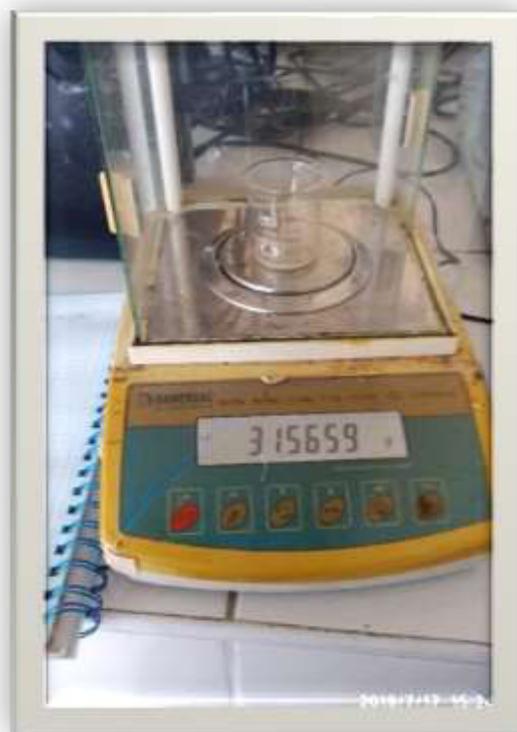
Lavado de la grava



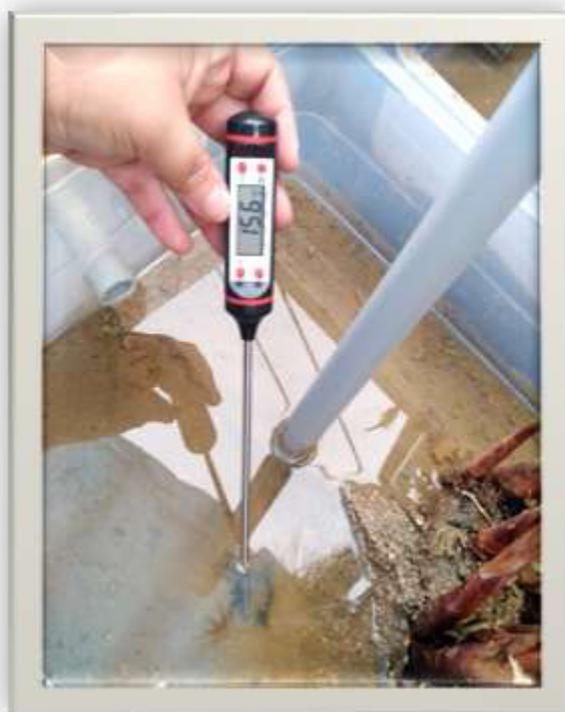
Grava de $\frac{3}{4}$, 1 pulgada



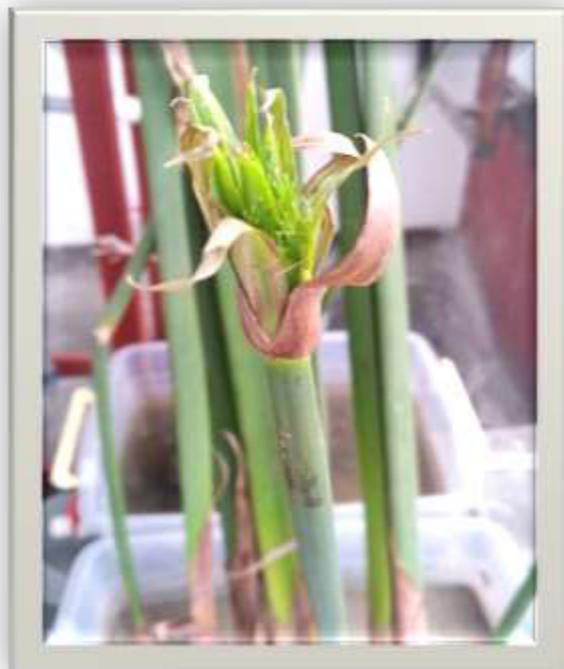
Grava de $1 \frac{1}{2}$, 2 pulgadas



Análisis del parámetro aceites y grasas



Medición del pH y temperatura de los sistemas A y B



Evolución de las especies *Cyperus papyrus*



Evolución de las especies *Cyperus papyrus*