



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AMBIENTAL**

TÍTULO:

REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES  
DE LA UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO - TRUJILLO UTILIZANDO  
JACINTO DE AGUA (*Eichhornia Crassipes*) EN HUMEDALES  
ARTIFICIALES.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AMBIENTAL

AUTOR:

VÁSQUEZ CHINGAY, JHENSON EDUARDO.

ASESOR:

MSc. HUERTA CHOMBO, GERMAN LUIS.

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES.

TRUJILLO – PERÚ

2018.

PAGINA DEL JURADO.

---

Dr. CRUZ MONZON, JOSE ALFREDO.

PRESIDENTE.

---

Dr. QUEZADA ALVAREZ, MERARDO ALBERTO.

SECRETARIO.

---

Msc. MORENO EUSTAQUIO, WALTER.

VOCAL.

## Dedicatoria

Dedico ésta tesis primeramente a Dios, por darme la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, hermanos, abuelos, tíos y primos que a pesar de nuestra distancia recibí el cariño y apoyo incondicional en todo mi trayecto estudiantil y de la vida.

A mi segunda familia, los integrantes de la Compañía de Bomberos N°224 con quienes compartí gratos momentos de alegría y tristeza y sobre todo por hacerme sentir ese calor de hogar siempre.

## Agradecimiento

En primer lugar a Dios por haberme dado la fuerza y el valor para culminar esta etapa de mi vida,

A mis padres, que con su demostración de unos padres ejemplares y sus sabios consejos me han enseñado a no desfallecer ante nada y siempre perseverar.

A mis hermanos Deyler y Nicol quienes me han apoyado en todo momento incondicionalmente en el transcurso de mi carrera.

A mis maestros de la universidad quienes con sus enseñanzas han hecho posible que esté finalizando mi carrera.

Finalmente, a todas las personas que ayudaron a realizar este estudio.

## Declaración de autenticidad

Yo, Jhenson Eduardo Vásquez Chingay, identificado con DNI N° 74237540, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Asimismo, declaro bajo juramento que todos los datos e información que se presenta son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de documentos como de información aportada por la cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Trujillo, julio 03 del 2018

---

Jhenson Eduardo Vásquez Chingay.

DNI N° 74237540

## Presentación.

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO - TRUJILLO UTILIZANDO JACINTO DE AGUA (*Eichhornia Crassipes*) EN HUMEDALES ARTIFICIALES”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Ambiental.

El Autor

## Índice

I.	INTRODUCCIÓN.....	7
1.1.	Realidad problemática.....	7
1.2.	Teorías relacionadas al tema.....	8
1.2.1.	Nivel internacional.....	8
1.2.2.	Nivel nacional.....	10
1.2.3.	Nivel local.....	12
1.3.	Marco teórico.....	13
1.3.2.	Aguas residuales:.....	13
1.3.3.	Aguas residuales domésticas:.....	13
1.3.4.	Aguas residuales industriales:.....	14
1.3.5.	Aguas residuales agrícolas:.....	14
1.3.6.	Aguas residuales municipales:.....	14
1.3.7.	Sistema de tratamiento de aguas residuales:.....	14
1.3.8.	Las plantas acuáticas:.....	15
1.3.9.	Función de las plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales:.....	16
1.3.10.	Plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales:.....	17
1.3.11.	Sistema de plantas acuáticas flotantes:.....	17
1.3.12.	Humedales artificiales:.....	18
1.3.13.	Remoción de materia orgánica:.....	19
1.3.14.	Porcentaje de capacidad de remoción.....	19
1.3.15.	Parámetros del tratamiento de aguas residuales:.....	19
a)	Sólidos suspendidos totales - SST:.....	19
b)	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ):.....	20
c)	Demanda química de oxígeno (DQO):.....	20
1.4.	Formulación del problema.....	21
1.5.	Justificación del estudio.....	21
1.6.	Hipótesis.....	21
1.7.	Objetivos.....	22
1.7.1.	Objetivo general.....	22
1.7.2.	Objetivos específicos.....	22
II.	METODOLOGÍA.....	23
III.	RESULTADOS.....	28
IV.	DISCUSIÓN:.....	45

V.	CONCLUSIONES:.....	47
VI.	RECOMENDACIONES:.....	48
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	49
	ANEXOS.....	52



## Índice de tablas.

Tabla 1: Diseño experimental. ....	23
Tabla 2: Operacionalización de variables .....	23
Tabla 3: instrumento de recolección de datos .....	27
Tabla 4: Resultados de los parámetros físico-químicos del tratamiento de aguas residuales de la UCV – Trujillo, 2018 (mg/L) .....	28
Tabla 5: Porcentaje de remoción de DBO <sub>5</sub> tras 5 días de aplicar el tratamiento.....	29
Tabla 6: Porcentaje de remoción de DQO tras 5 días de aplicar el tratamiento.....	30
Tabla 7: Remoción de SST a 5 días de aplicar el tratamiento.....	31
Tabla 8: Remoción DBO <sub>5</sub> a 10 días de aplicar el tratamiento.....	32
Tabla 9: Remoción DQO a 10 días de aplicar el tratamiento. ....	33
Tabla 10: Remoción de SST a 10 días de aplicar el tratamiento.....	34
Tabla 11: Remoción de DBO <sub>5</sub> a 15 días de aplicar el tratamiento .....	35
Tabla 12: Remoción de DQO a 15 días de aplicar el tratamiento .....	36
Tabla 13: Remoción de SST a 15 días de aplicar el tratamiento.....	37
Tabla 14: Comparación de porcentaje de remoción de DBO <sub>5</sub> con y sin plantas de Jacinto de agua	38
Tabla 15: Comparación de porcentaje de remoción de DQO con y sin plantas de Jacinto de agua.	39
Tabla 16: Comparación de porcentaje de remoción de SST con y sin plantas de Jacinto de agua. .	40
Tabla 17: Análisis de varianza para medir el efecto de los tratamientos en la remoción DBO <sub>5</sub> . ....	41
Tabla 18: Prueba de Tukey para comparación entre tratamientos en cuanto a remoción de DBO <sub>5</sub> .	41
Tabla 19: Análisis de varianza para medir el efecto de los tratamientos en la remoción de DQO. .	42
Tabla 20: Prueba de Tukey para comparación entre tratamientos en cuanto a remoción de DQO..	42
Tabla 21: Análisis de varianza para medir el efecto de los tratamientos en la remoción de SST. ...	43
Tabla 22: Prueba de Tukey para comparación entre tratamientos en cuanto a remoción de SST..	43
Tabla 23: comparación de resultados con LMP.....	44

## Índice de figuras.

Figura 1: Porcentaje de remoción de DBO <sub>5</sub> tras 5 días de aplicar el tratamiento. ....	29
Figura 2: Porcentaje de remoción de DQO tras 5 días de aplicar el tratamiento. ....	30
Figura 3: Porcentaje de remoción de SST tras 5 días de aplicar el tratamiento. ....	31
Figura 4: Porcentaje de remoción de DBO <sub>5</sub> tras 10 días de aplicar el tratamiento. ....	32
Figura 5: Porcentaje de remoción de DQO tras 10 días de aplicar el tratamiento. ....	33
Figura 6: Porcentaje de remoción de SST tras 10 días de aplicar el tratamiento. ....	34
Figura 7: Porcentaje de remoción de DBO <sub>5</sub> tras 15 días de aplicar el tratamiento. ....	35
Figura 8: Porcentaje de remoción de DQO tras 15 días de aplicar el tratamiento. ....	36
Figura 9: Porcentaje de remoción de SST tras 15 días de aplicar el tratamiento. ....	37
Figura 10: Comparación de remoción de DBO <sub>5</sub> tras 5, 10 y 15 días de aplicar el tratamiento. ....	38
Figura 11: Comparación de remoción de DQO tras 5, 10 y 15 días de aplicar el tratamiento. ....	39
Figura 12: Comparación de remoción de SST tras 5, 10 y 15 días de aplicar el tratamiento. ....	40
Figura 13: Recolección de Jacinto de agua. ....	52
Figura 14: Recolección de agua residual de efluente de la UCV. ....	52
Figura 15: Instalación de los humedales artificiales con la especie Jacinto de agua. ....	52
Figura 16: Toma de muestras de los primeros 5 días de iniciado el tratamiento. ....	53
Figura 17: Toma de muestras después de 10 días de iniciado el tratamiento. ....	53
Figura 18: Muestras de agua en laboratorio. ....	53
Figura 19: resultados de los parámetros antes del tratamiento. ....	54
Figura 20: resultados de los parámetros a 5 días de tratamiento. ....	54
Figura 21: resultados de los parámetros a 10 días de tratamiento. ....	55
Figura 22: resultados de los parámetros a 15 días de tratamiento. ....	55

## RESUMEN

Esta investigación estudió la remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la Universidad Cesar Vallejo sede Trujillo utilizando humedales artificiales de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Las muestras de aguas residuales se tomaron del efluente de la UCV Trujillo y se analizaron sus parámetros físicos – químicos como DBO<sub>5</sub>, DQO y SST antes y después del tratamiento, se acondicionaron humedales artificiales de 20 litros de agua con siembra de plantas de Jacinto de agua. El tiempo empleado en el estudio fue de 15 días, realizando análisis de los parámetros en periodos cada 5 días.

Luego del análisis de laboratorio se llegó a la conclusión que los humedales artificiales de Jacinto de agua tienen su máxima capacidad de remoción de 65.1% de DQO a los 10 días, 63.9% de DBO<sub>5</sub> a los 15 días y 68.2% de SST a los 10 días; por ende, la remoción de materia orgánica. Asimismo, al comparar los resultados del análisis de las aguas residuales al inicio y final del tratamiento observamos que tuvo una disminución significativa de contenido de materia orgánica.

El estudio comparó los resultados de los análisis de las aguas residuales al inicio y a los 15 días de tratamiento para evaluar el cumplimiento de los LMP para efluentes de PTAR, según el D. S. N° 003-2010-MINAM, los resultados del tratamiento aguas residuales con humedales artificial de Jacinto de agua, al término de 15 días, cumple con los LMP.

**Palabras claves:** remoción, Jacinto de agua, humedales artificiales, materia orgánica.

## Abstract

The present study studies the removal of organic matter from the wastewater of Cesar Vallejo University, Trujillo, using artificial wetlands of hyacinth wetland (*Eichhornia Crassipes*). Samples of wastewater were taken from the UCV Trujillo effluent and their physical - chemical parameters were analyzed, such as BOD5, COD and SST before and after treatment, artificial wetlands of 20 liters of water were conditioned with planting water hyacinth plants. The time used in the study was 15 days, performing analysis of the parameters in periods every 5 days.

After the laboratory analysis it was concluded that the artificial wetlands of hyacinth wetland has its maximum removal capacity of 65.1% of COD at 10 days, 63.9% of BOD5 at 15 days and 68.2% of TSS at the 10 days; therefore, the removal of organic matter. Likewise, when comparing the results of the analysis of wastewater at the beginning and end of the treatment, we observed that it had a significant decrease in the content of organic matter.

The study compared the results of the wastewater analysis at the beginning and at the end of the 15 days of treatment to evaluate compliance with the PML for WWTP effluents, according to DS N ° 003-2010-MINAM, the results of the wastewater treatment with artificial hyacinth water wetlands, at the end of 15 days, complies with the LMP.

**Keywords:** removal, water hyacinth, artificial wetlands, organic matter.

## I. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. Realidad problemática.

El Perú hasta el 2012 descargaba 2.217.946 m<sup>3</sup> de aguas residuales al día a la red de alcantarillado de las Empresas Prestadoras de Servicio (EPS), de los cuales solo 709.743 m<sup>3</sup> son tratados, que representa solo al 32% del total de aguas residuales generadas (OEFA, 2014) y según el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA, 2014), hasta el 2012 solo 16 regiones del Perú realizaron tratamiento de sus aguas residuales, siendo las regiones de Ayacucho y Lambayeque las más eficientes. Sin embargo, 9 regiones no realizaron tratamiento alguno de sus aguas residuales, entre las que se encuentra la región Amazonas.

Las aguas residuales de la UCV - Trujillo son vertidas sin ningún pre – tratamiento al sistema de alcantarillado, la cual va a las lagunas de oxidación, y éstas no son del todo eficientes.

Sin embargo, es importante resaltar que en los últimos tiempos se ha encontrado en los humedales artificiales con plantas acuáticas flotantes una buena alternativa de tratamiento de aguas residuales, debido principalmente a su elevada eficiencia en las remociones de materia orgánica, nutrientes y patógenas; lo que disminuye los posibles efectos adversos de los vertidos sobre los medios receptores.

La depuración en dichos sistemas, se realiza mediante la combinación de procesos físicos, químicos y biológicos; incluyendo la sedimentación, precipitación, adsorción de partículas del suelo, asimilación por el tejido vegetal y transformaciones microbiológicas (RAMSAR, 2004 citado por Londoño y Marín, 2009).

La depuración de aguas residuales con plantas acuáticas flotantes consiste en estanques o canales, de profundidad que fluctúan entre los 0,4 a 1,5 m. Los estanques se alimentan con agua residual, en los que se desarrolla una especie flotante. Algunas especies que se pueden utilizar son *Eichharnia crassipes* (Jacinto de agua), *Lemna minar* (lenteja de agua) y *Azolla* (elecho de agua) (Metcalf y Eddy 1995 citado por Celis et al., 2005).

En el Perú se realizó un estudio en el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR) de la Universidad Nacional de Ingeniería, donde se determinó que la especie más eficiente en la capacidad de

depuración de nutrientes es *Eichhornia crassipes* con capacidad de remover en un 100% de Nitrógeno amoniacal, mientras que la *Lemna minar* presentó remociones de 86% de éste parámetro (García 2012).

Con este panorama y teniendo en cuenta los beneficios ecológicos, en salud pública y económica del tratamiento de las aguas residuales con humedales artificiales de plantas acuáticas flotantes, se realizará el presente estudio.

## **1.2. Teorías relacionadas al tema.**

### **1.2.1. Nivel internacional**

Meerhoff y Mazzeo(2004) en su investigación “los procesos con macrófitas flotantes intervinientes en la conservación de humedales en Sudamérica” encontraron que la densidad de coberturas vegetales con estas macrófitas tiene una incidencia directa en la turbidez del agua, asociada a sólidos suspendidos y comunidades fitoplanctónicas, que a su vez propicia el desarrollo de comunidades de macro invertebrados, que encuentran soporte en las raíces de las plantas, y constituyen una fuente fundamental de alimento para peces y aves, jugando un papel importante en la ocurrencia y distribución espacial de estos. Estudios profundos en esta área a un no se desarrollan.

Boniardi, Rota, y Nano (1999), estudiaron “efectividad de la especie acuática *lemna gibba*, en el tratamiento de riles con contenidos de metales pesados”. Se encontró que concentraciones relativamente altas de  $Fe^{3+}$ ,  $Zn^{2+}$ , y  $Al^{3+}$ , no afectaron el rendimiento de la *Lemna gibba* como purificador, mientras que bajas concentraciones de cromo y cobre, si lo hicieron.

Jiménez y Padilla (2009) en su estudio “remoción de contaminantes inorgánicos de aguas residuales industriales con *Eichhornia crassipes* o Jacinto de agua” tuvo como objetivo remover la carga orgánica, para ello utilizó un equipo piloto compuesto por dos estanques en paralelo. Los resultados obtenidos demuestran que mediante el uso de esta planta se puede obtener buena eficiencia en la remoción de los contaminantes más comunes de las aguas residuales industriales, siendo significativo la remoción de DQO (65 – 85 %) y cargas de fosforo (30 – 45%) y nitrógeno (40 – 60%). Como conclusión se puede afirmar

que este sistema, aunque poco difundido es una buena alternativa para tratar efluentes de actividades industriales.

Zimmels, Kirzhner, y Malkovskaja (2006), en su estudio “Application of *Eichhornia crassipes* and *pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel” donde se estudió a escala piloto el comportamiento de dos macrófitas flotantes (*E. crassipes* y *Pistia stratiotes*) en la disminución de demanda bioquímica de oxígeno - DBO-, demanda química de oxígeno -DQO-, turbidez, y sólidos suspendidos totales -SST- del agua residual urbana en Israel. Los resultados indicaron que, en términos de estos parámetros, el efluente cumple con los estándares para el uso en sistemas de riego.

Sooknah y Wilkies (2004), en su estudio “eliminación de nutrientes por macrófitas acuáticas flotantes cultivadas en aguas residuales de estiércol lácteo enjuagado anaeróbicamente”, evaluaron la disminución de contaminantes comunes y el comportamiento de variables fisicoquímicas a lo largo del tratamiento con aguas residuales provenientes de un digester anaeróbico de un efluente lechero. Las especies de macrófitas empleadas fueron *P. stratiotes*, *E. crassipes*, e *Hydrocotyle umbellata*.

Rota y Nano (1999) en su estudio “efecto de metales disueltos en la eficiencia de eliminación de carga orgánica con *Lemna gibba*”, estudiaron la efectividad de dicha especie acuática en tratamiento de riles con contenidos de metales pesados. Se encontró que concentraciones altas de  $Fe^{3+}$ ,  $Zn^{2+}$ , y  $Al^{3+}$ , no afectaron al rendimiento de la *Lemna gibba* como purificado, mientras que bajas concentraciones de cromo y cobre si lo hicieron.

Meerhoff y Mazzeo (2004), en su estudio “importancia de las plantas flotantes libres de gran porte en la conservación y rehabilitación de lagos someros de sudamérica”. intentan elucidar los procesos con macrófitas flotantes intervinientes en la conservación de humedales en Sudamérica, encontrando que la densidad de coberturas vegetales con estas macrófitas tiene una incidencia directa en la turbidez del agua, asociada a sólidos suspendidos y comunidades fito planctónicas, que a su vez propicia el desarrollo de comunidades de macro

invertebrados, que encuentran soporte en las raíces de las plantas, y constituyen una fuente fundamental de alimento para peces y aves.

### 1.2.2. Nivel nacional

Paredes (2015) en su tesis “optimizar la fitorremediación de mercurio en solución acuosa utilizando *E. crassipes*”, para ello recolectaron Jacintos de agua con características similares para poder evaluar la asimilación de nutrientes. La zona de recolección de los Jacintos fue el caserío de Las Mercedes del distrito Aucayacu provincia de Leoncio Prado en Huánuco. Se trabajó con 3 cubas, cada una tuvo 2 plantas de Jacinto de agua, con una concentración inicial de 0.2 ppm de mercurio, se tomaron muestras cada hora, durante 11 horas, estas muestras fueron leídas a 520 nm, en el espectrofotómetro UV-Visible, para determinar la concentración remanente de mercurio por cada hora.

Además, la *E. crassipes* presenta gran capacidad de amortiguamiento del pH. en los medios ácido y básico. A mayor concentración de mercurio, menor es la capacidad de amortiguamiento de pH. Por otra parte, la cinética de remoción de mercurio con *E. crassipes*, no es proporcional a lo largo del periodo de evaluación, mientras que en sistema continuo es mayor que un sistema tipo batch.

Coronel (2015) en su tesis “determinar la eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*lemna minar*) en el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas- Chachapoyas” desarrollado en el sector Higos Urco, distrito de Chachapoyas, provincia de Chachapoyas, departamento de Amazonas, a una altura de 2341 msnm. Para la investigación utilizó tres tratamientos de flujo discontinuo o también llamado por tandas; que consta de un estanque para cada tratamiento, lo cual simula una laguna pequeña con agua estancada. En estos sistemas se cultivó la planta Lenteja de agua (*L. Minar*), Jacinto de agua (*E. crassipes*) y el tercer tratamiento consistió en un estanque sin planta acuática al cual se le llamó control.

Los resultados de la investigación para la concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) presente en el agua residual fue 169,39 mg/L, del cual el



control redujo 10,46 mg/L, el estanque con *E. crassipes* bajó en 161,86 mg/l y *L. minar* lo hizo en 144,88 mg/L. En lo que respecta a la concentración de demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual que ingresó a los tratamientos fue 106,79 mg/L, en tanto, el control mostró un efecto depurador de 7,22 mg/L, mientras que el estanque con *E. crassipes* logro bajar 99,41 mg/L y *L. minar* eliminó 86,34 mg/L. Asimismo, el pH del agua residual que ingresó a los tratamientos fue un pH un alcalino de 8, 73. Sin embargo, el estanque con *E. crassipes* disminuyó el pH del agua a 7,20 acercándolo a la neutralidad, mientras que el control solo bajó a 8,24 y *Lemna minar* lo hizo a 7,96.

García (2012) en su tesis “comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas”. Presenta su estudio comparativo sobre la capacidad de depuración de nutrientes presentes en las aguas residuales con tres plantas acuáticas flotasntes, *Azolla filiculoides*, *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*; donde sus partes foto sintetizadoras sobre la superficie del agua y sus raíces se extiende hacia abajo dentro de la columna de agua, la primera fase de la investigación consistió en la aplicación de plantas acuáticas en monocultivos con *Lemna M.* y *Eichhornia C.* El estudio se desarrolló en seis estanques de tratamiento, con dimensiones (19.5 cm de ancho x 39.0 cm de largo x 19.0 cm de profundidad media) teniendo una capacidad de almacenamiento de sistema de 10 litros, el estanque fue de vidrio.

El resultado del estudio logró remover los nutrientes a un 90%, como se esperaba pues, estudios recientes hechos en el Perú y en América Latina que señalan eficiencia promedio del 95%. Sin embargo, se determinó como mejor tratamiento a *Eichhornia Crassipes*, y en base a este resultado, esta especie se aplicó para la depuración de aguas residuales domésticas. El Jacinto de agua es la especie más eficiente en la remoción de lodos hasta 50%, a diferencia de 40% en los otros tratamientos, y esta remoción estuvo asociada a las mismas variables fisicoquímicas (15%-30% de correlación). El tiempo de retención promedio fue tomado de 13 días, este valor se obtuvo hasta que una de las plantas ocupara el mayor porcentaje de área, en este caso ambas plantas lograron proliferar con

mucha rapidez. En otras investigaciones se analizaban solo 7 días, sin embargo, notemos que el periodo de retención depende del área de cultivo.

Según Torres, J.; Pineda, R.; Magno, J. (2015) en la Universidad Peruana Unión – Facultad de Ingeniería Ambiental realizaron una investigación experimental acerca de los humedales artificiales con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis* a nivel piloto para el riego de vegetales en Carapongo. El objetivo de esta investigación fue determinar la eficiencia de éstas plantas en conjunto y comparar las aguas tratadas con los estándares de calidad ambiental de categoría para riego de vegetales (Decreto Supremo N° 002–2001-MINAM). Los resultados de los cálculos fueron para retención hidráulica fue 2 días, se obtuvo teóricamente la concentración de DBO del efluente en 5 mg/L a partir de 270 mg/L, para ello se adecuó una laguna artificial con relación de ancho y largo con proporción de 2:1, las dimensiones fueron de 60 cm de largo, 40 de ancho y 30 de alto. Los parámetros evaluados fueron porcentaje de remoción DBO 64%, coliformes fecales 89%, turbidez 77% y pH 3%. Al comparar con la legislación ambiental solo cumplieron con la turbidez y pH, mientras de DBO y coliformes fue lo contrario. El estudio concluye que el uso de humedales artificiales con especies vegetales *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis* es una alternativa de solución que reduce los contaminantes de las aguas residuales.

### **1.2.3. Nivel local.**

Según Villarroel, C. (2005), en su investigación aplicada y explicativa “la planta de tratamiento “El Cortijo” para las aguas residuales municipales de la ciudad de Trujillo utilizando especies vegetales *Scirpus coliformicus* “Totora” y *Typha angustifolia* “Tina o inea”, para ello se propuso tratar el efluente de la planta a través de un humedal artificial (flujo superficial) a pequeña escala, sus dimensiones fueron de 150 cm de largo, 75 cm de ancho y 46 cm de profundidad. Los parámetros analizados tuvieron resultado de remoción de DBO 92,49%, SST 83,33%, coliformes fecales 99,99%, coliformes totales 99,98% y cromo total 76,52%. Las aguas tratadas cumplieron con la ley general de aguas N° 17752. El estudio concluye que es factible el uso de humedales artificiales superficiales con las especies vegetales Totora y Tina, con el fin de mejorar los efluentes de la planta de tratamiento “El Cortijo”.

Minchola, J. y Gonzales, F. (2013) realizaron una investigación experimental para reducir los contaminantes de las aguas residuales domésticas generadas por las instalaciones de la minera Barrick (Quiruvilca, La Libertad), para ello construyeron humedales artificiales de flujo superficial con la especie *Typha angustifolia* a nivel piloto, para su construcción se basaron en el diseño de Campbell y Hurtado. El tiempo de retención hidráulica fue de 10 días y la relación de ancho – largo del humedal fue 2:1. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados con sus respectivos porcentajes de remoción fueron para DBO 73,00%, SST 84,00%, coliformes fecales 93,00% y coliformes totales 86,00%. El estudio concluye que el uso de humedales artificiales con especie *Typha angustifolia* para tratamiento de efluentes doméstico de la minera Barrick es factible ya que remueve los contaminantes, económico, estético y no consume energía.

### **1.3. Marco teórico.**

#### **1.3.2. Aguas residuales:**

Son una combinación de líquidos y residuos que son arrastrados por el agua provenientes de las casas, centros comerciales, fabricas e instituciones combinada con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente (Miranda 2006 citado por García, 2012, p. 9).

#### **1.3.3. Aguas residuales domésticas:**

Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de las actividades humanas, las cuales deben ser dispuestas adecuadamente (OEFA, 2014, p. 16).

Los constituyentes de las aguas residuales domesticas son físicos, químicos y biológicos. De manera que los constituyentes de los compuestos orgánicos biodegradables, los sólidos suspendidos y los organismos patógenos son de mayor importancia, por lo cual la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales deben ser diseñadas para su remoción. García (2012, p. 18) refiere que es conveniente tratar brevemente los procedimientos analíticos usados para la caracterización de las aguas residuales.

#### **1.3.4. Aguas residuales industriales:**

Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras (OEFA, 2014, p. 29).

#### **1.3.5. Aguas residuales agrícolas:**

Son aquellas aguas residuales que contienen sustancias de actividades agrícolas y ganaderas (agroquímicos, pesticidas, herbicidas, estiércol, etc.) (León y Lucero 2009, p.17).

#### **1.3.6. Aguas residuales municipales:**

Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA, 2014, p.11).

#### **1.3.7. Sistema de tratamiento de aguas residuales:**

De acuerdo a la EPA (Environmental Protection Agency, 2000), los procesos que comprenden en el tratamiento de las aguas residuales encierran las siguientes fases:

##### **Recolección de las aguas residuales:**

En zonas donde el incremento poblacional es constante y donde las condiciones topográficas lo permiten, este proceso se permite a través de sistemas de alcantarillado (EPA, 2000, p. 23).

##### **Pre tratamiento de las aguas residuales:**

Consiste en retirar los sólidos de grandes tamaños, y en la mayoría de casos se realiza en estanques desarenadores. La finalidad es hacer más favorable el proceso de tratamiento biológico de aguas residuales (EPA, 2000, p. 23).

##### **Tratamiento de las aguas residuales:**

El objetivo de las aguas residuales es remover sólidos, grasas, aceites y otros materiales flotantes o sedimentables para que el agua residual pueda ser tratada

eficientemente y reutilizada o vertida sin ningún riesgo (EPA, 2000, p. 24). Los procesos de tratamiento pueden ser:

**a) Tratamiento primario:**

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica. Suele llevarse a cabo mediante sedimentación y tamizado. El efluente del tratamiento primario suele contener una considerable de materia orgánica y una DBO alta. Cabe destacar que, aunque en muchos lugares el tratamiento primario es el único que se le da al agua residual, este es únicamente un tratamiento previo al secundario (EPA, 2000, p. 28).

**b) Tratamiento secundario convencional:**

El tratamiento secundario esta principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento. Se llama tratamiento secundario convencional a la combinación de diferentes procesos para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con lodos activados, reactores de lecho fijo, los sistemas de lagunaje y la sedimentación (EPA, 2000, p. 28).

**c) Tratamiento biológico:**

Según León y Lucero (2009), el tratamiento biológico se basa en la creación de un flujo controlado de agua residual, en el que la actividad microbológica y plantas acuáticas actúan asociadas, en el proceso de depuración de las aguas disminuyendo los contaminantes. El tratamiento biológico incluye tres tipos: Lagunajes, humedales y cultivos acuáticos (Sistema de plantas acuáticas flotantes).

**1.3.8. Las plantas acuáticas:**

Las plantas acuáticas son aquellas que requieren una gran cantidad de agua en sus raíces para vivir, crecen en medios muy húmedos y completamente inundados, básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de

las plantas terrestres. Se pueden clasificar en flotantes, sumergidas y emergentes (Caicedo 1995 citado por León y Lucero, 2009, p. 21).

Las Plantas Flotantes son aquellas que tienen sus partes sintetizadoras sobre la superficie y sus raíces se extienden hacia debajo de la columna de agua. Las raíces no solo sirven para extraer nutrientes de agua sino además sirven de sustrato para bacterias y como sistema de adsorción de sólidos suspendidos; sus hojas extendidas impiden la penetración de la luz evitando que crezcan algas en la profundidad. Entre las plantas flotantes tenemos al Jacinto de agua (*E. crassipes*); helecho de agua (*Salvinia sp* y *Azolla sp*), lechuga de agua (*Pistia sp*) y lentejas (*Lemna sp*; *Wolffia sp* y *Wolffiella sp*) (León y Lucero, 2009, p. 26).

La ***Eichhornia crassipes* o Jacinto de agua**, pertenece a la familia *Pontederiaceae*, es una macrófita acuática flotante no enraizada, herbácea perenne de agua dulce (Camacho y Ordoñez 2008). Puede vivir en aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento, como zanjas, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos; es considerado como la maleza acuática. Se originó en la Amazonía, pero en la actualidad se distribuye en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Jaramillo y Flores, 2012). Tiene un crecimiento rápido en el entorno de 20 a 30°C de temperaturas medias, pero se estancan en el intervalo de 8 a 15°C. Esta planta posee un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ella que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas, retienen en sus tejidos metales pesados (Cd, Hg, As). Además, remueve algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, colorantes y pesticidas, y disminuye niveles de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos (Metcalf y Eddy 1995 citado por Celis et al., 2005, p. 31).

#### **1.3.9. Función de las plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales:**

Según León y Lucero (2009) las plantas juegan un papel fundamental en estos sistemas siendo sus principales funciones:

- Airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizósfera.
- Absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
- Eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos.
- Filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular.

#### **1.3.10. Plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales:**

Se han estudiado distintas plantas acuáticas en sistemas de depuración de aguas residuales, algas u otras sumergidas, con vistas a explorar su posible valor; sin embargo las plantas acuáticas flotantes como la lenteja de agua o (*Lemna spp*), azolla (*Azolla spp*) y Jacinto acuático (*E. crassipes*) son las que has sido evaluadas con más intensidad en el trópico como posibles integrantes de sistemas de recirculación de nutrientes a través de su cultivo en estanques cargados con efluentes provenientes de biodigestores anaeróbicos, en lagunas, o simplemente colectadas en su medio natural (García, 2012, p. 26).

#### **1.3.11. Sistema de plantas acuáticas flotantes:**

Los cultivos acuáticos o sistemas de plantas acuáticas flotantes son una variación de los humedales artificiales en el que el agua está en contacto con la atmosfera y constituye la fuente principal de oxígeno para aireación; en la que se introduce un cultivo de plantas acuáticas flotantes como *Eichhornia Crassipes* y *Lemna sp*, cuya finalidad es la eliminación de determinados componentes de las aguas a través de sus raíces que constituyen un buen sustrato responsable del tratamiento. Aunque una de las desventajas que presenta este tipo de sistemas es la proliferación de larvas e insectos (León y Lucero, 2009, P. 36).

Para mejorar el tratamiento y asegurar el mantenimiento de las condiciones aerobias necesarias para el control biológico de los mosquitos, en los sistemas de plantas acuáticas flotantes se han empleado sistemas complementarios de aireación (León y Lucero, 2009, p. 36).

Según Celis. (2005) los sistemas emplean plantas acuáticas como *E. Crassipes* de agua están diseñados para proporcionar niveles de 6

tratamientos secundarios. Estos sistemas han sido utilizados como medios de producción de proteínas para las grandes cantidades de biomasa que se generan.

En los últimos años el tratamiento de aguas residuales por medio de estanques con plantas acuáticas ha despertado un gran interés, por el potencial que han presentado para la depuración de las mismas. Algunos de estos sistemas han logrado proporcionar un tratamiento integral en donde no solamente se remueven eficientemente material orgánico y sólidos suspendidos, sino que también se logran reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados y patógenos (García, 2012, p. 34).

#### **1.3.12. Humedales artificiales:**

Son ecosistemas construidos por el hombre y usados como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas grises. El humedal artificial es construido con especies vegetales que ayuda en la remoción de contaminantes orgánicas mediante procesos físicos, químicos y biológicos que realiza la especie vegetal (Mena-Sanz, 2008). Los humedales requieren de poca energía y bajo mantenimiento para operar resultando un sistema de tratamiento alternativo, se le clasifica de dos tipos según el flujo: Superficial y subsuperficiales. Frecuentemente los humedales artificiales de tipo subsuperficial presentan sustrato, vegetación y microorganismos, mientras el de tipo superficial no tiene sustrato.

Los microorganismos esencialmente son los responsables de transformar los contaminantes en sustancias menos tóxicas que sirve como nutriente para la vegetación (Environmental Protection Agency – EPA, 1999). Los humedales artificiales presentan muchos antecedentes en el tratamiento de aguas tales como: Industriales, municipal, doméstica, crianza de animales, escorrentías de agua de lluvia y urbanas, agua subterránea, aguas ácidas de minas, etc. (Kadlec y Wallace, 2009).

Los humedales artificiales son una alternativa de solución para el tratamiento de aguas contaminadas. Debido a su bajo costo de mantenimiento, ahorro de energía y atractivo paisajístico son consideradas económicas, sostenibles e



innovador (Lara, 1999). De por sí el humedal artificial debe presentar una vegetación acostumbrada a suelos o medios saturados. Durante la construcción del humedal artificial es importante evitar la infiltración del agua tratada, por esta razón se utiliza un plástico o algún material impermeabilizante (Lara, 1999).

#### **1.3.13. Remoción de materia orgánica:**

La remoción de materia orgánica en los humedales artificiales se realiza por la adsorción de compuestos orgánicos en solución y por oxidación bacteriana, ya que el suelo o el medio poroso contienen bacterias especializadas en degradar la materia orgánica. (Delgadillo & otros, 2010) La remoción de materia orgánica tiene lugar principalmente mediante biodegradación aeróbica o anaeróbica. Una pequeña porción también es removida por procesos físicos como la sedimentación y filtración, cuando la materia orgánica es fijada a los sólidos suspendidos. (Kolb, 1998, p. 37).

#### **1.3.14. Porcentaje de capacidad de remoción.**

Es el porcentaje obtenido por la diferencia entre la concentración antes y después del tratamiento:

$$\% \text{ Remoción} = \left( \frac{\text{concentración de entrada} - \text{concentración de salida}}{\text{concentración de entrada}} \right) * 100\%$$

#### **1.3.15. Parámetros del tratamiento de aguas residuales:**

Los principales parámetros a monitorear en el proceso de tratamiento de aguas residuales son:

##### **a) Sólidos suspendidos totales - SST:**

Parámetro fisicoquímico que indica la cantidad de sólidos retenidos durante la filtración de cierto volumen de agua. También, es el parámetro que produce obstrucciones en las tuberías del humedal artificial. Los sólidos encontrados en el agua son orgánicos e inorgánicos. Por ejemplo, los sólidos orgánicos tenemos a las fibras de plantas, bacterias y entre

otros. Mientras los sólidos inorgánicos son la arena, arcilla y sales (Campos, 20003).

La naturaleza de los sólidos es coloidal y a su vez presenta carga eléctrica, por estas razones no sedimenta fácilmente. La propiedad que les mantiene en suspensión es la repulsión electrocinética acompañada con movimientos constantes y caóticos conocido como “Movimiento browniano”. (Atenea, 2004).

**b) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

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

La DBO<sub>5</sub> es uno de los parámetros fisicoquímicos requeridos para la calidad de aguas residuales industriales o domésticas. También se define como el consumo de oxígeno (O<sub>2</sub>) mediante la degradación bioquímica de la materia orgánica. El tiempo de análisis es de 5 días y en un ambiente oscuro. Los resultados son expresados en valores numéricos de mg/L. (Ramalho, R., 1993, p. 48).

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

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

La DQO es un parámetro esencial para indicar la concentración orgánica en aguas residuales industriales o domésticas. Se usa un oxidante llamado dicromato o permanganato con el fin de degradar la materia orgánica, la duración de análisis es de 3 horas aproximadamente. Se expresa en valores numéricos de mg/L (Ronzano y Dapena, 1995).

#### **1.4. Formulación del problema.**

¿Cuál es el grado de remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la Universidad Cesar Vallejo – Trujillo, aplicando un humedal artificial con plantas acuáticas flotante de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)?

#### **1.5. Justificación del estudio.**

El agua es un compuesto con características únicas, de gran significado para la vida, el más abundante en la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan nuestro medio natural (Ideam, 2001).

El problema de la contaminación de las aguas, como las aguas residuales surge cuando los vertidos, como metales pesados, bacterias patógenas y otras sustancias, superan la capacidad de autodepuración de los medios acuáticos. Estos elementos permanecen en el agua y limitan sus usos normales (Kalipedia, 2009), haciéndose necesariamente el tratamiento de aguas residuales para contribuir con el medio ambiente y aumentar los niveles de saneamiento. Una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales que ha arrojado grandes beneficios es la remoción de contaminantes utilizando humedales artificiales (Arroyabe, 1997, p .12).

Por lo tanto, el siguiente estudio consiste en verificar el grado de remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la Universidad Cesar Vallejo – Trujillo empleando humedales artificiales con plantas acuáticas flotantes de Jacinto de agua (*E. crassipes*). Asimismo, por ser un método relativamente viable para el tratamiento de aguas residuales generados por la población de la comunidad universitaria de la UCV Trujillo, el sistema de tratamiento sería una alternativa viable, ya que es barato, accesible y no requiere cuidados especiales.

#### **1.6. Hipótesis.**

Los humedales artificiales con Jacinto de agua (*E. crassipes*) tendrán un alto porcentaje de remoción de la materia orgánica de las aguas residuales de la Universidad Cesar Vallejo – Trujillo.

## **1.7. Objetivos.**

### **1.7.1. Objetivo general.**

Evaluar el porcentaje de remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la universidad Cesar Vallejo – Trujillo, utilizando humedales artificiales con plantas acuáticas flotantes de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

### **1.7.2. Objetivos específicos.**

- Determinar el nivel de concentración de los parámetros físico - químicos (DBO<sub>5</sub>, DQO, SST) de las aguas residuales de la UCV – Trujillo, antes y después del tratamiento.
- Determinar el porcentaje de remoción de materia orgánica de los humedales artificiales con Jacinto de agua en función al tiempo de tratamiento (5, 10 y 15 días) de las aguas residuales de la UCV – Trujillo.
- Comparar los resultados de los parámetros físico – químicos de las aguas tratadas con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas.

## II. METODOLOGÍA.

### 2.1. Diseño de investigación:

El diseño de la investigación será:

- Cuantitativo, porque se medirán las variables antes y después del tratamiento.
- Experimental, porque se evaluarán los parámetros de las aguas residuales de la universidad Cesar Vallejo - Trujillo.
- De campo, porque la toma de muestras estará ubicada en la universidad Cesar Vallejo – Trujillo.
- Aplicada, porque se pondrá en práctica todos los conocimientos adquiridos.

*Tabla 1: Diseño experimental.*

Tratamientos	Tiempo (Días)			
	0	5	10	15
Sin plantas (R0)	ANTES			
Con plantas (R1)				
Con plantas (R2)				
Con plantas (R3)				

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2. Operacionalización de variables.

*Tabla 2: Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADOR
Humedales artificiales con Jacinto de agua.	Sistema construido por el hombre donde se producen procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes.	Capacidad de remoción de MO.	% remoción MO
Remoción de materia orgánica en aguas residuales	Descontaminación de la carga orgánica la cual es el principal componente de los cuerpos, se caracteriza por un	Propiedades físico – químicas orgánicas.	Mg/L

	conjunto de propiedades físicas y químicas.		
--	---	--	--

### **2.3. Población y muestra.**

#### **2.3.1. Población.**

Volumen de las aguas residuales de la Universidad Cesar Vallejo – Trujillo, ubicado en -8.1286445 N y -79.043652 S.

#### **2.3.2. Muestra.**

Se extraerán 80 litros de agua residual del efluente de la Universidad Cesar Vallejo – Trujillo y se colocará en 4 cubetas conteniendo cada un 20 litro para cada tratamiento, se comprará 30 plantas de Jacinto de agua de la Universidad Nacional De Trujillo y se distribuirán en cada tratamiento.

### **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **2.4.1. Metodología Experimental**

En el presente capítulo se detallarán los procedimientos, materiales y equipos técnicos que se emplearon en los diversos experimentos y poder así alcanzar nuestros objetivos.

##### **2.4.1.1. Escenario de la Investigación**

El proyecto de investigación se realizará para la remoción de materia orgánica empleando Jacinto de agua se desarrollará en la Universidad Cesar Vallejo de la ciudad de Trujillo y en el Laboratorio de la misma Universidad.

##### **2.4.1.2. Descripción de los Experimentos a realizar**

La muestra de agua residual se extraerá del efluente de la Universidad Cesar Vallejo – Trujillo.

Las plantas de Jacinto de agua se obtendrán de la Universidad Nacional de Trujillo.

El agua residual antes de entrar en los estanques pasará por un filtro para atrapar grasas y aceites, con esto se busca que estos elementos no intervengan en la investigación.

➤ **Sistema por tandas en humedales artificiales**

El sistema humedales artificiales constará de tres estanques de tratamiento, con dimensiones de (19.5 cm de ancho x 39.0 cm de largo x 45.0 cm de profundidad media) lo cual tendrá una capacidad de almacenamiento de 20 l, la infraestructura de los estanques será de plástico. Este sistema simulará a un humedal artificial con agua estancada para cultivar el Jacinto de Agua. El tiempo de estancamiento promedio será de 15 días, elegido en base a investigaciones recientes.

Las mediciones de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST; se realizarán dentro del sistema, una repetición por cada parámetro. Por lo tanto, apoyado en el tiempo de residencia teórico, es posible establecer valores de reducción de los parámetros analizados.

Las pruebas que se realizarán en campo y laboratorio se harán con la finalidad de observar la variación en el tiempo de los parámetros de calidad de agua residual. Estas pruebas no solamente consistirán en hallar el porcentaje de remoción, sino apreciar cómo será la variación de éstos.

Los análisis que se realizarán son: SST, DBO<sub>5</sub>, DQO los cuales pueden determinar la cantidad de materia orgánica presente en las aguas residuales, las cuales se medirán cada 5 días con el fin de investigar si la remoción será lenta o rápida durante el tiempo de funcionamiento del siguiente experimento. Como en nuestro diseño el periodo de retención fue asumido para 15 días, esto fue porque hay investigaciones con otras plantas acuáticas, donde tomaban periodos de remoción mayores a 4, 7 y 13 días.

Las mediciones de SST, DBO<sub>5</sub> y DQO serán los objetivos a alcanzar en esta investigación.

➤ **Frecuencia y puntos de medición de las variables de investigación.**

Se utilizará tres humedales artificiales con plantas y otro sin plantas, de tal forma que al final podamos observar el comportamiento de estos con y sin Jacinto de agua.

La frecuencia de medición de los parámetros SST, DBO<sub>5</sub> y DQO se realizó el día cero (0) y luego cada 5 días, y el punto de toma de muestra fue en el centro de la laguna artificial o reactor del medio del cultivo.

#### **2.4.2. Materiales y reactivos**

Listamos los equipos y materiales que serán utilizados de forma específica durante el desarrollo del proyecto. Se detallan los materiales, reactivos y equipos a emplear en las diferentes etapas de la investigación.

##### **2.4.2.1. Materiales**

- Matraces de Erlenmeyer de 250 ml.
- Probeta graduada de 100 ml
- Fiola 1 l
- Pipetas de 25, 10 y 5 ml.
- Soporte universal
- Embudo.
- Papel filtro Ahlstrom.
- Cubetas de plástico capacidad 20 lt.

##### **2.4.2.2. Material biológico.**

- 30 plantas jóvenes de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)
- 80 litros de agua residual.

##### **2.4.2.3. Equipos**

- Balanza analítica Sartorius.
- Cronómetro.
- pH-metro.

##### **2.4.2.4. Reactivos**

- Solución de sulfato de magnesio agua tridesionizada (Mg SO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O)
- Solución de cloruro de calcio hidróxido de Sodio (NaOH 0.1 M)
- Solución de cloruro férrico ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> cc)
- Soluciones ácida y alcalina ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 85%)
- Solución de sulfito de sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>)
- Solución estándar de dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>; 0,0417 M)
- Reactivo de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).
- Sulfato ferroso de amonio (FAS) 0,25 M.



### 2.4.3. Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos, se utilizará el siguiente cuadro:

*Tabla 3: instrumento de recolección de datos*

Dias Tratamientos	0			5			10			15			
	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	
(R0)	R0	R0	R0	RO	RO	RO	R0	R0	R0	R0	R0	R0	
(R1)				R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	
(R2)				R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2
(R3)				R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3

Fuente: Elaboración propia

La muestra R0 es el humedal sin plantas de Jacinto de agua, en tanto las muestras R1, R2 y R3 son muestras de repetición de humedales con 10 plantas acuáticas de Jacinto de agua.

### 2.5. Métodos de análisis de datos

Para el análisis de los resultados se empleó el programa Excel para la elaboración de tablas y gráficos de líneas que permitieron analizar los porcentajes de capacidad de remoción de materia orgánica para los distintos tratamientos, y observar el efecto de los humedales artificiales de Jacinto de agua en función al tiempo.

Asimismo, se utilizó el paquete estadístico SPSS V.23 para el análisis estadístico de Análisis de Varianza, para determinar si existen diferentes efectos de remoción entre los tratamientos, y la Prueba de Tukey para la comparación entre estos mismos y determinar la influencia de los humedales artificiales con Jacinto de agua.

### III. RESULTADOS.

En la presente investigación se evaluó el porcentaje de remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la universidad Cesar Vallejo – Trujillo sin y con Jacinto de agua y con tres repeticiones de humedales artificiales. La cantidad de remoción de materia orgánica medido en sus indicadores físico - químicos (DBO, DQO, SST) en los Días 0; 5; 10 y 15 del tratamiento los resultados se presentan en la siguiente tabla.

*Tabla 4: Resultados de los parámetros físico-químicos del tratamiento de aguas residuales de la UCV – Trujillo, 2018 (mg/L)*

TRATAMIENTO	DIAS											
	0			5			10			15		
	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST
(R0)*	74.54	148.65	279	33.8	67.34	154	58.96	113.21	219	56.34	112.63	211
(R1)**				26.96	53.67	142	29.44	54.87	52.3	28.32	56.21	118
(R2)**				29.52	58.25	95	28.11	52.3	116	27.23	54.2	112
(R3)**				27.41	51.82	83	24.17	48.32	98	25.12	49.43	94

Fuente: Elaboración propia.

LEYENDA:

\* = Sin plantas.

\*\* = con plantas Jacinto de agua.

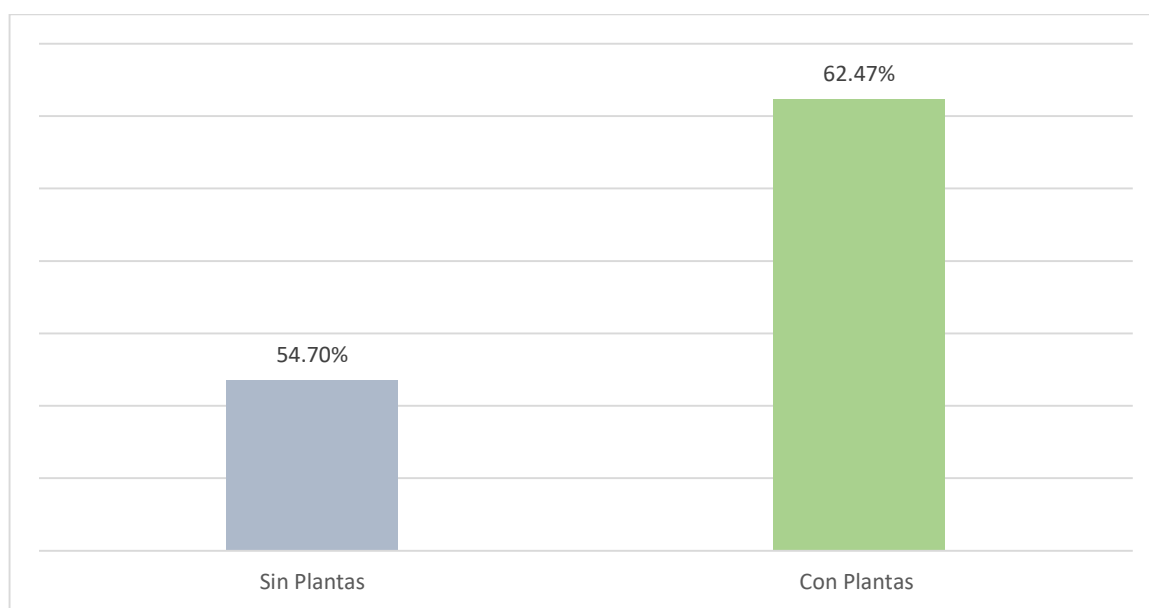
Al inicio del tratamiento se evaluó el contenido de DBO<sub>5</sub>, DQO y STT y fue 74.54 mg/L; 148.65 mg/L y 279 mg/L respectivamente.

*Tabla 5: Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> tras 5 días de aplicar el tratamiento.*

Tratamiento	Día 0	Día 5	% remoción	% Promedio
	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DBO <sub>5</sub>	
(R0)	74,54	33,8	54,7	54.7
(R1)	74,54	26,96	63,8	
(R2)	74,54	29,52	60,4	62.47
(R3)	74,54	27,41	63,2	

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se muestra el porcentaje de capacidad de remoción de DBO<sub>5</sub> tras 5 días de iniciado el tratamiento



*Figura 1: Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> tras 5 días de aplicar el tratamiento.*

El porcentaje de capacidad remoción de DBO<sub>5</sub> tras 5 días de tratamiento, resultó que R0 sin plantas de Jacinto de agua arrojó 54.7% de remoción de DBO<sub>5</sub>, y R1, R2 y R3 que tuvieron plantas de Jacinto de agua removieron 63.9%, 60.8% y 65.1% de DBO<sub>5</sub> respectivamente, los resultados muestran que la capacidad de remoción de las plantas de Jacinto de agua con respecto al testigo, en promedio removió 62.47% de DBO<sub>5</sub>.

Tabla 6: Porcentaje de remoción de DQO tras 5 días de aplicar el tratamiento.

Tratamiento	Día 0 DQO (mg/L)	Día 5 DQO (mg/L)	% remoción DQO	% Promedio
(R0)	148,65	67,34	54,7	54.7
(R1)	148,65	53,67	63,9	
(R2)	148,65	58,25	60,8	63.27
(R3)	148,65	51,82	65,1	

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se muestra el porcentaje de capacidad de remoción de DQO tras 5 días de iniciado el tratamiento.

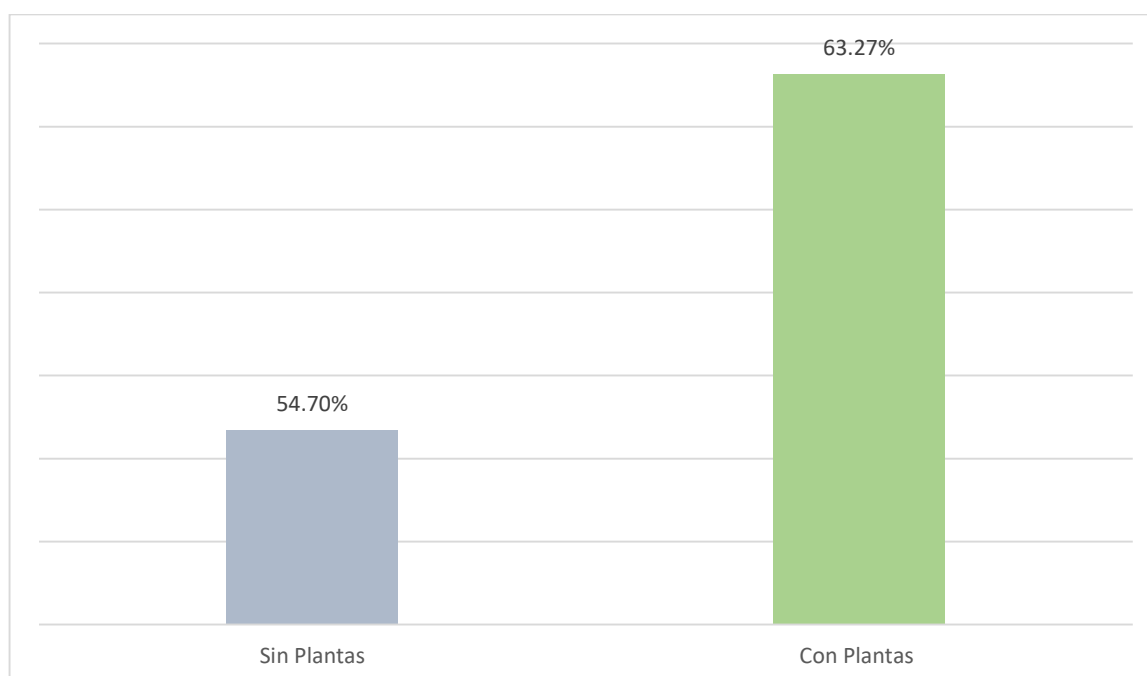


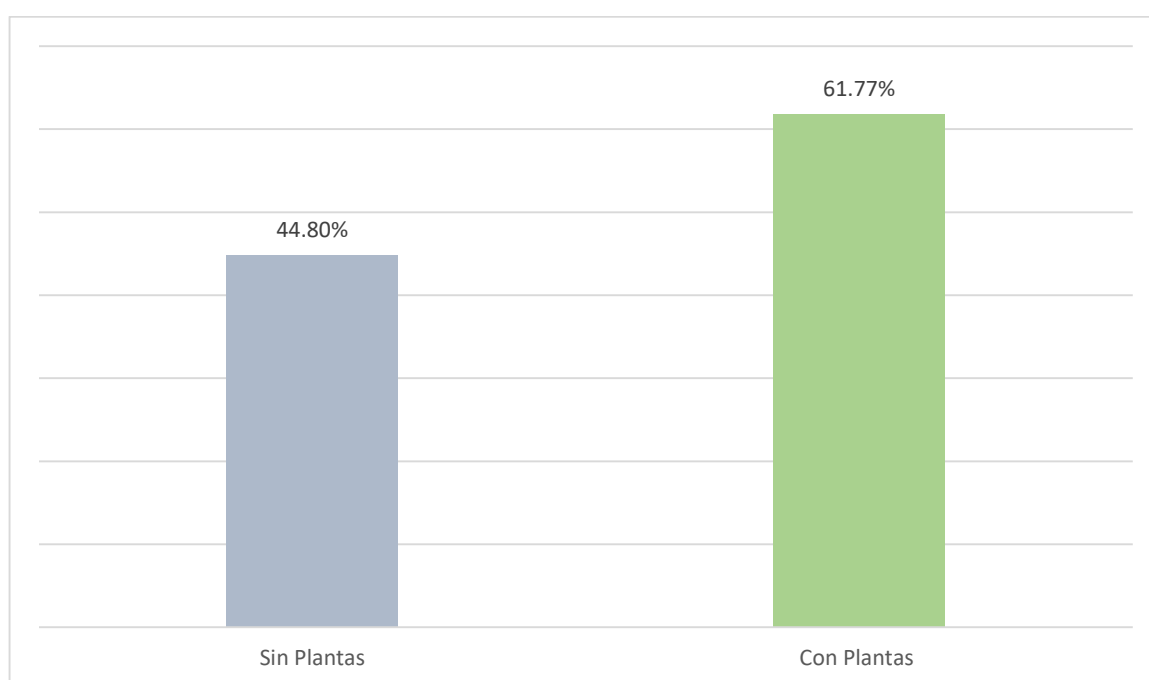
Figura 2: Porcentaje de remoción de DQO tras 5 días de aplicar el tratamiento.

Respecto al porcentaje de capacidad de remoción de DQO tras 5 días de tratamiento, resultó que R0 sin plantas de Jacinto de agua arrojó 54.7% de remoción de DQO, y R1, R2 y R3 que tuvieron con plantas de Jacinto de agua removieron 63.9%, 60.8% y 65.1% de DQO respectivamente, los resultados muestran que la capacidad de remoción de las plantas de Jacinto de agua con respecto al testigo, en promedio removió 63.27% de DQO.

*Tabla 7: Remoción de SST a 5 días de aplicar el tratamiento.*

Tratamiento	Día 0 SST (mg/L)	Día 5 SST (mg/L)	% Remoción SST	% Promedio
(R0)	279	154	44,8	44.8
(R1)	279	142	49,1	
(R2)	279	95	65,9	61.77
(R3)	279	83	70,3	

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 3: Porcentaje de remoción de SST tras 5 días de aplicar el tratamiento.*

El porcentaje de capacidad remoción de SST tras 5 días de tratamiento, resultó que R0 sin plantas de Jacinto de agua arrojó 44.8% de remoción de DQO, y R1, R2 y R3 que tuvieron plantas de Jacinto de agua removieron 49.1%, 65.9% y 70.3% de SST respectivamente, los resultados muestran que la capacidad de remoción de las plantas de Jacinto de agua con respecto al testigo, en promedio removió 61.77% de SST.

Tabla 8: Remoción DBO<sub>5</sub> a 10 días de aplicar el tratamiento.

Tratamiento	Día 0 DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Día 10 DBO <sub>5</sub> (mg/L)	% remoción DBO <sub>5</sub>	% promedio
(R0)	74,54	58,96	20,9	20.9
(R1)	74,54	29,44	60,5	
(R2)	74,54	28,11	62,3	63.4
(R3)	74,54	24,17	67,6	

Fuente: Elaboración propia.

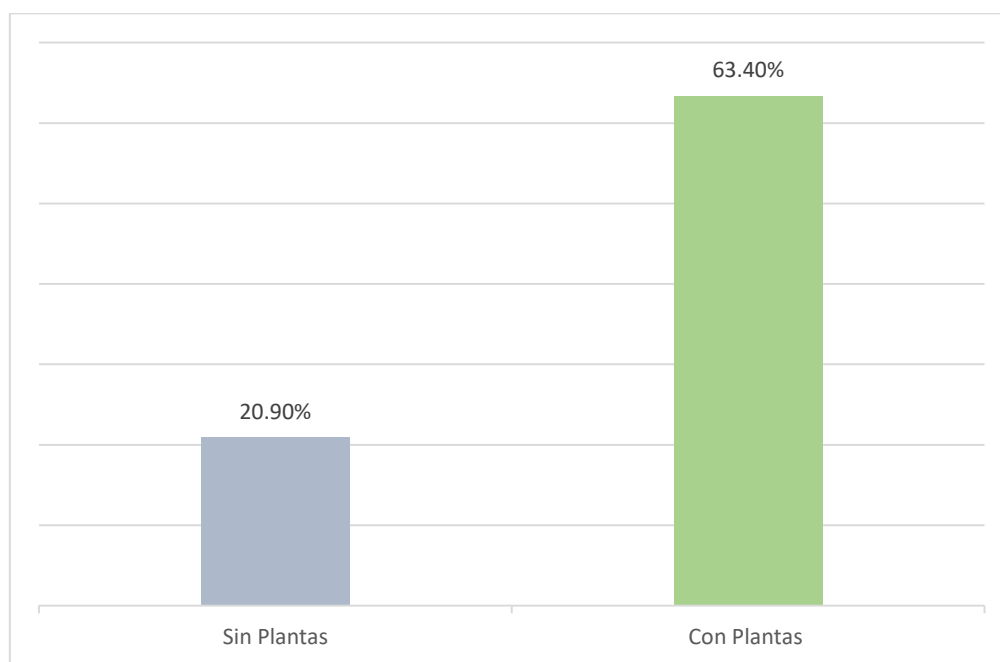


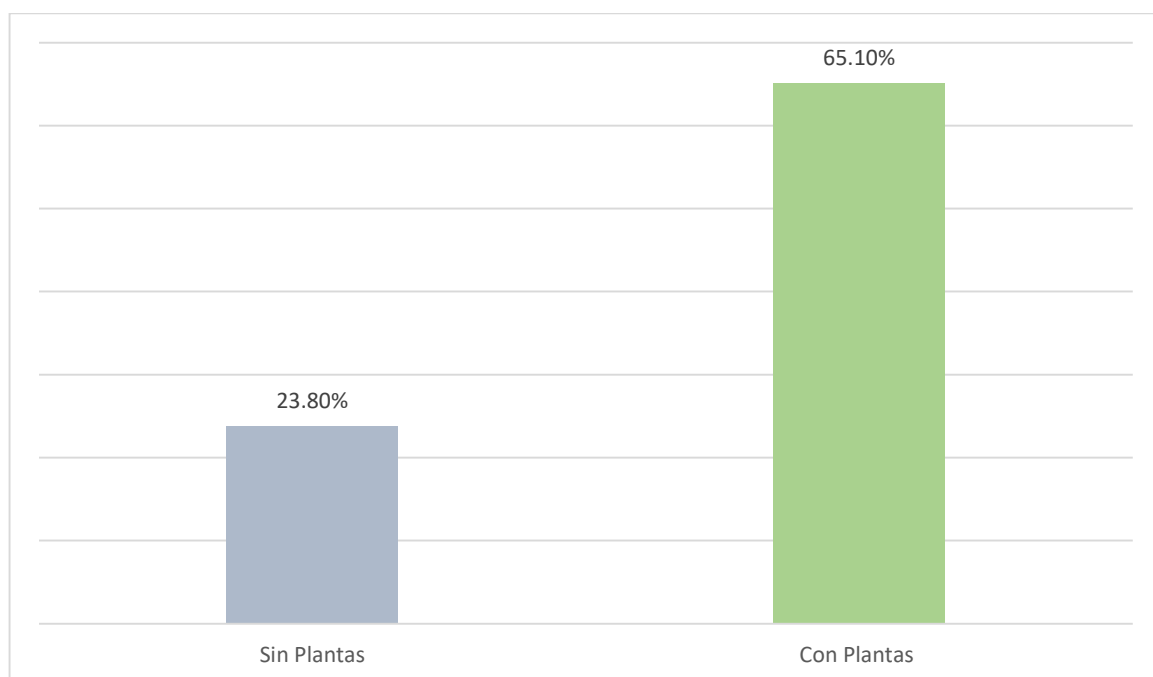
Figura 4: Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> tras 10 días de aplicar el tratamiento.

Con respecto al porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> tras 10 días, resultó que R0 sin plantas Jacinto de agua removió 20.9% de DBO<sub>5</sub>, en tanto R1, R2 y R3 que tuvieron Jacinto de agua removió 60.5%, 62.3% y 67.6% de DBO<sub>5</sub> respectivamente, los resultados muestran que la capacidad de remoción de las plantas de Jacinto de agua con respecto al testigo, en promedio removió 63.4% de DBO<sub>5</sub>.

*Tabla 9: Remoción DQO a 10 días aplicar el tratamiento.*

Tratamiento	Día 0 DQO	Día 10 DQO	% remoción DQO	% Promedio
(R0)	148,65	113,21	23,8	23.8
(R1)	148,65	54,87	63,1	
(R2)	148,65	52,3	64,8	65.1
(R3)	148,65	48,32	67,5	

Fuente: Elaboración propia.



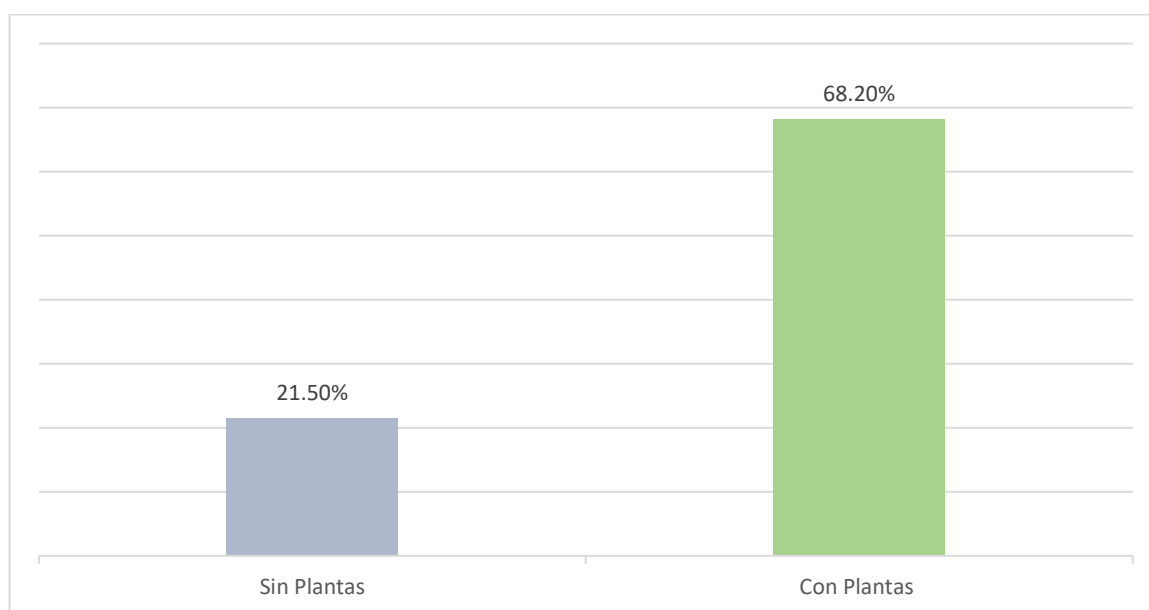
*Figura 5: Porcentaje de remoción de DQO tras 10 días de aplicar el tratamiento.*

En la siguiente Tabla, se observa los porcentajes de remoción de DQO tras 10 días de tratamiento, el testigo R0 sin plantas de Jacinto de agua removió 23.8% de DQO, mientras que R1, R2 y R3 (si se aplicó el Jacinto de agua) arrojaron un 63.1%, 64.8% y 67.5% de remoción de DQO respectivamente, los resultados muestran que la capacidad de remoción de las plantas de Jacinto de agua con respecto al testigo, en promedio removió 65.10% de DQO.

*Tabla 10: Remoción de SST a 10 días de aplicar el tratamiento.*

Tratamiento	Día 0 SST (mg/L)	Día 10 SST (mg/L)	% remoción SST	% Promedio
(R0)	279	219	21,5	21.5
(R1)	279	52,3	81,3	
(R2)	279	116	58,4	68.2
(R3)	279	98	64,9	

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 6: Porcentaje de remoción de SST tras 10 días de aplicar el tratamiento.*

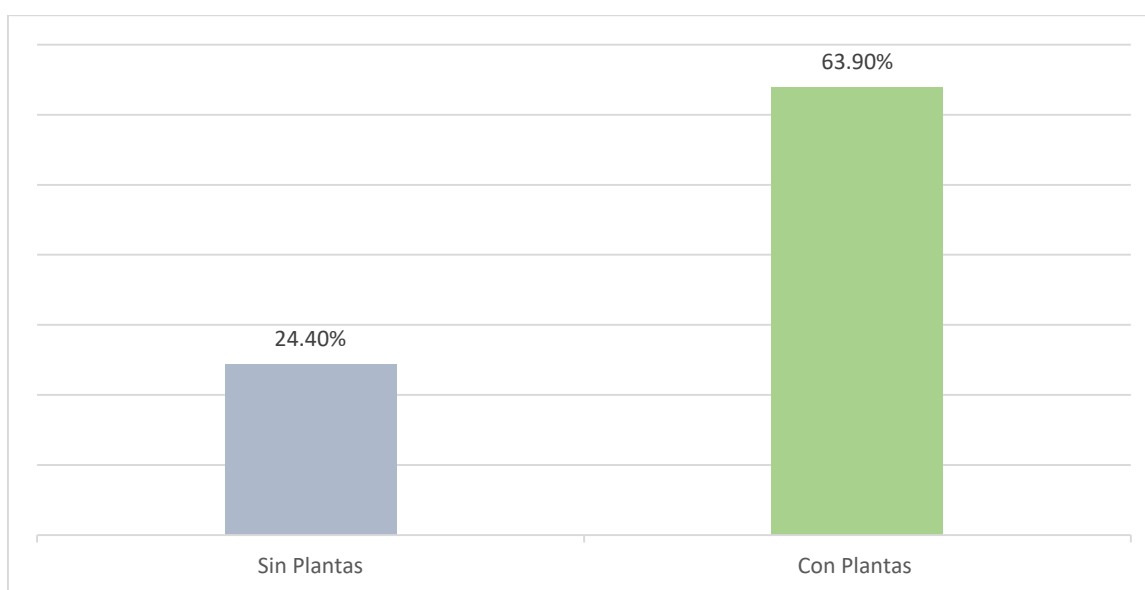
Con respecto a remoción SST tras 10 días de tratamiento, el testigo R0 removió 21.5% de SST, en caso de R1, R2 y R3 removió 81.3%, 58.4% y 64.9% de SST respectivamente, los resultados muestran que la capacidad de remoción de las plantas de Jacinto de agua con respecto al testigo, en promedio removió 68.20% de SST. Cabe destacar que en la segunda repetición (R1) se logró un porcentaje de remoción por encima de 80%.



*Tabla 11: Remoción de DBO<sub>5</sub> a 15 días de aplicar el tratamiento*

Tratamiento	Día 0 DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Día 15 DBO <sub>5</sub> (mg/L)	% remoción DBO <sub>5</sub>	% Promedio
(R0)	74,54	56,34	24,4	24.4
(R1)	74,54	28,32	62,0	
(R2)	74,54	27,23	63,5	63.9
(R3)	74,54	25,12	66,3	

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 7: Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> tras 15 días de aplicar el tratamiento.*

Se observa los porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> tras 15 días, el testigo R0, al que no se aplicó el Jacinto de agua, removi6 24.4% de DBO<sub>5</sub>, mientras que R1, R2 y R3 con plantas de Jacinto de agua removi6 62%, 63.5% y 66.3% de DBO<sub>5</sub> respectivamente, los resultados muestran que la capacidad de remoci6n de las plantas de Jacinto de agua con respecto al testigo, en promedio removi6 63.9% de DBO<sub>5</sub>.

Tabla 12: Remoción de DQO a 15 días de aplicar el tratamiento

Tratamiento	Día 0 DQO (mg/L)	Día 15 DQO (mg/L)	% remoción DQO	% Promedio
(T0)	148,65	112,63	24,2	24.2
(T1)	148,65	56,21	62,2	
(T2)	148,65	54,2	63,5	64.1
(T3)	148,65	49,43	66,7	

Fuente: Elaboración propia.

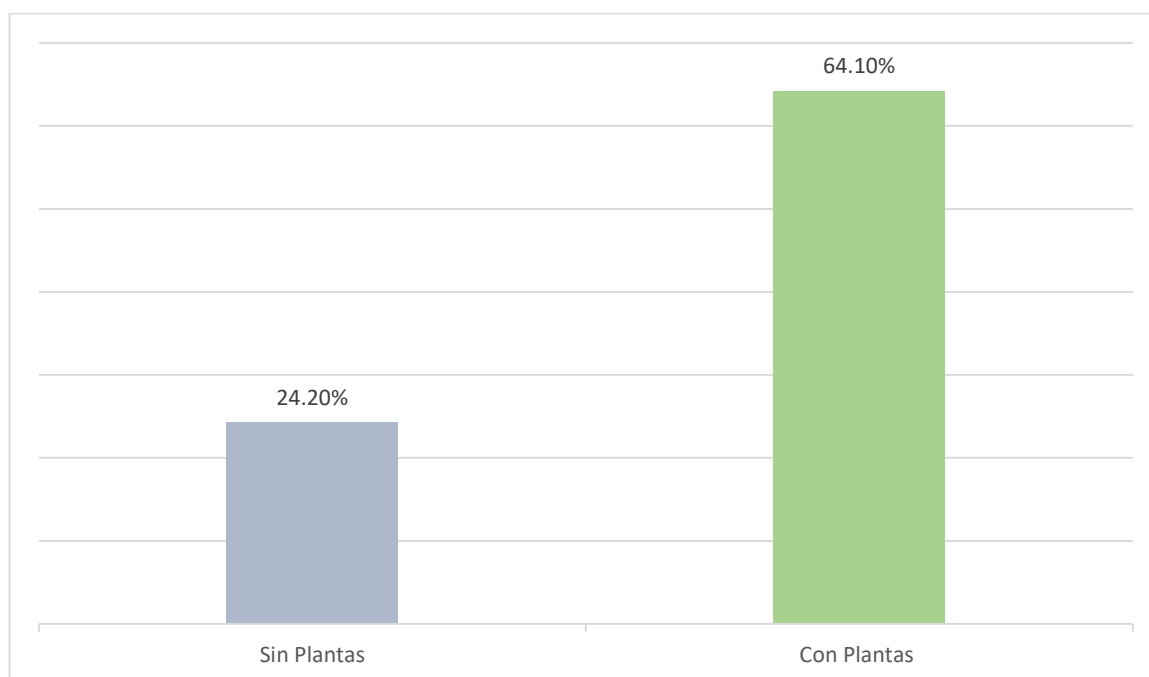


Figura 8: Porcentaje de remoción de DQO tras 15 días de aplicar el tratamiento.

Se observa los porcentajes de remoción de DQO tras 15 días, el testigo R0, al que no se aplicó el Jacinto de agua, removió 24.2% de DQO, el R1, R2 y R3 (si se aplicó el Jacinto de agua) removió 62.2%, 63.5% y 66.7% de DQO respectivamente, los resultados muestran que la capacidad de remoción de las plantas de Jacinto de agua con respecto al testigo, en promedio removió 64.10% de DQO.

Tabla 13: Remoción de SST a 15 días de aplicar el tratamiento.

Tratamiento	Día 0 SST (mg/L)	Día 15 SST (mg/L)	% remoción SST	% Promedio
(R0)	279	211	24,4	24.3
(R1)	279	118	57,7	
(R2)	279	112	59,9	61.3
(R3)	279	94	66,3	

Fuente: Elaboración propia.

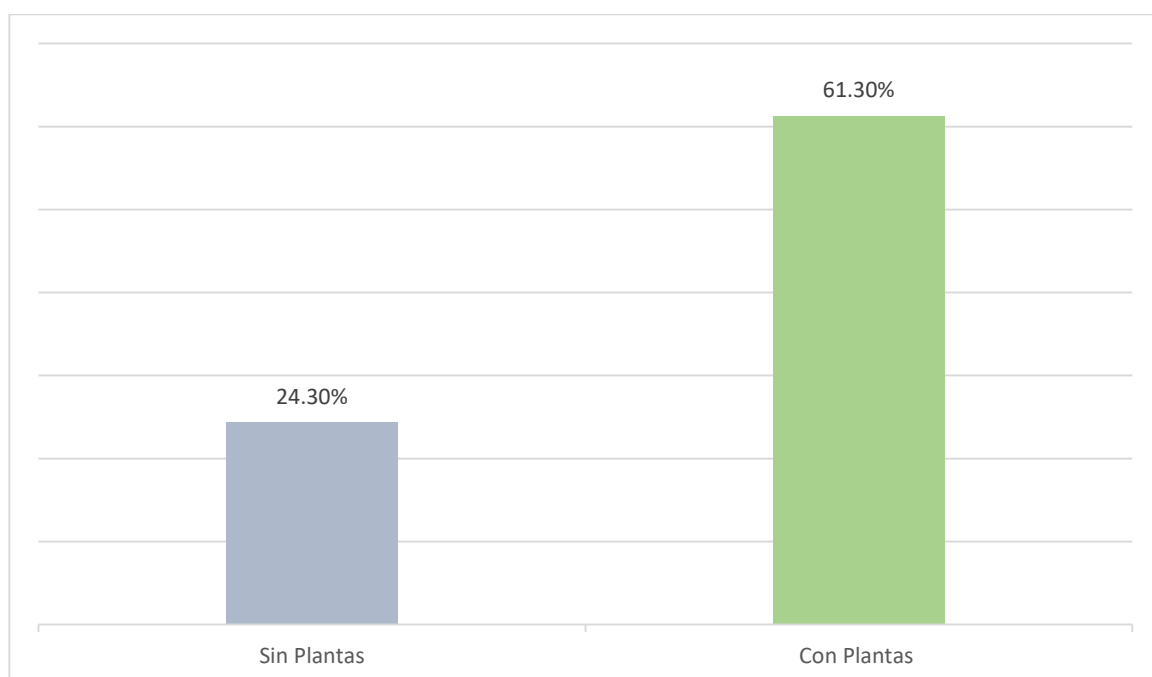


Figura 9: Porcentaje de remoción de SST tras 15 días de aplicar el tratamiento.

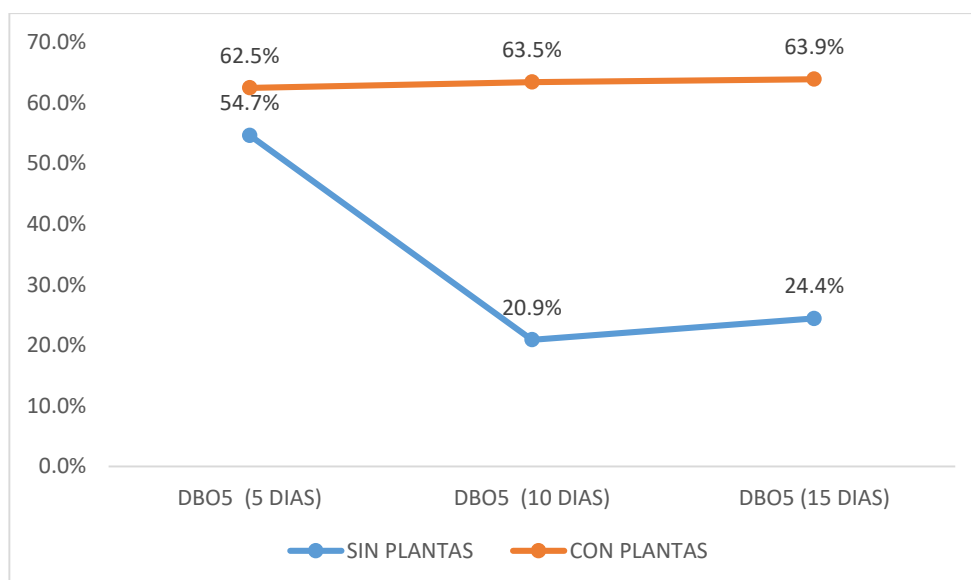
Se observa los porcentajes de remoción de SST tras 15 días, el testigo R0, al que no se aplicó el Jacinto de agua, removió 24.4% de SST, mientras que R1, R2 y R3 (si se aplicó el Jacinto de agua) removió 57.7%, 59.9% y 66.3% de SST respectivamente, los resultados muestran que la capacidad de remoción de las plantas de Jacinto de agua con respecto al testigo, en promedio removió 61.3% de SST.

Efecto de los humedales artificiales con Jacinto de agua en función al tiempo de tratamiento de las aguas residuales de la UCV – Trujillo en diferentes periodos evaluado se resumen en la Tabla siguiente:

*Tabla 14: Comparación de porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> con y sin plantas de Jacinto de agua*

Tratamientos	Remoción de DBO <sub>5</sub> (%)		
	5 días	10 días	15 días
Sin plantas	54,7	20,9	24,4
Con plantas	62,5	63,5	63,9

Fuente: Elaboración propia.



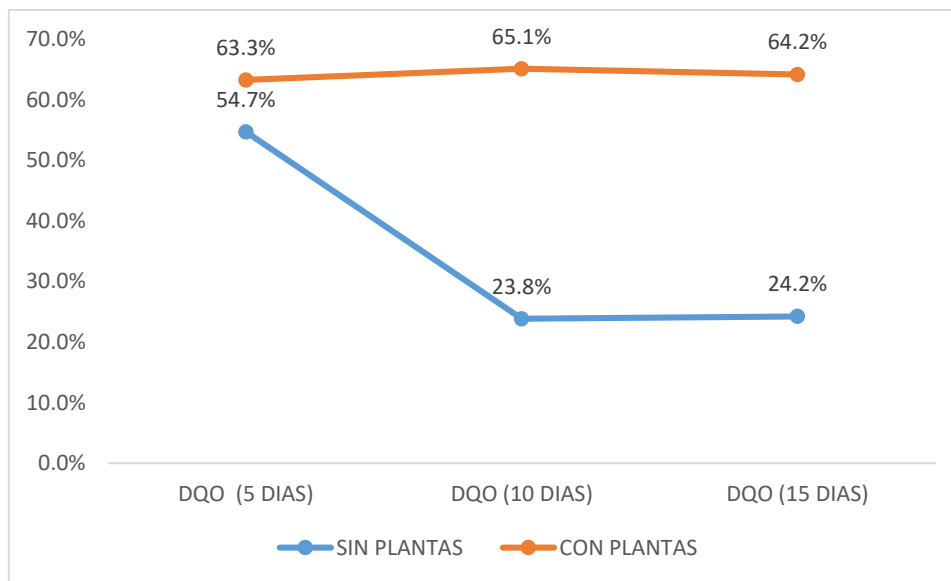
*Figura 10: Comparación de remoción de DBO<sub>5</sub> tras 5, 10 y 15 días de aplicar el tratamiento.*

Se observa el comportamiento de remoción de DBO<sub>5</sub> con respecto al tiempo para ambos tratamientos con y sin plantas. El tratamiento sin plantas de Jacinto de agua, al pasar del tiempo el porcentaje de remoción disminuye considerablemente llegando de un 54.7% a un 20.9%, mientras que el tratamiento al que se le aplico los humedales artificiales con Jacinto de agua mostro un comportamiento estable al pasar del tiempo, mostrando porcentajes eficiente de remoción.

*Tabla 15: Comparación de porcentaje de remoción de DQO con y sin plantas de Jacinto de agua.*

Tratamiento	Remoción de DQO ( % )		
	5 días	10 días	15 días
Sin plantas	54,7	23,8	24,2
Con plantas	63,3	65,1	64,2

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 11: Comparación de remoción de DQO tras 5, 10 y 15 días de aplicar el tratamiento.*

Interpretación: Se observa el comportamiento de la DQO con respecto al tiempo para ambos tratamientos. El tratamiento al cual no se le aplico los humedales artificiales con Jacinto de agua, al pasar del tiempo el porcentaje de remoción disminuye considerablemente llegando de un 54.7% a un 23.8%, mientras que el tratamiento al que se le aplico los humedales artificiales con Jacinto de agua mostro un comportamiento estable al pasar del tiempo, mostrando porcentajes eficiente de remoción, por encima del 60%.

Tabla 16: Comparación de porcentaje de remoción de SST con y sin plantas de Jacinto de agua.

Tratamientos	Remoción de SST (%)		
	5 días	10 días	15 días
Sin plantas	44,8	21,5	24,4
Con plantas	61,8	68,2	61,3

Fuente: Elaboración propia.

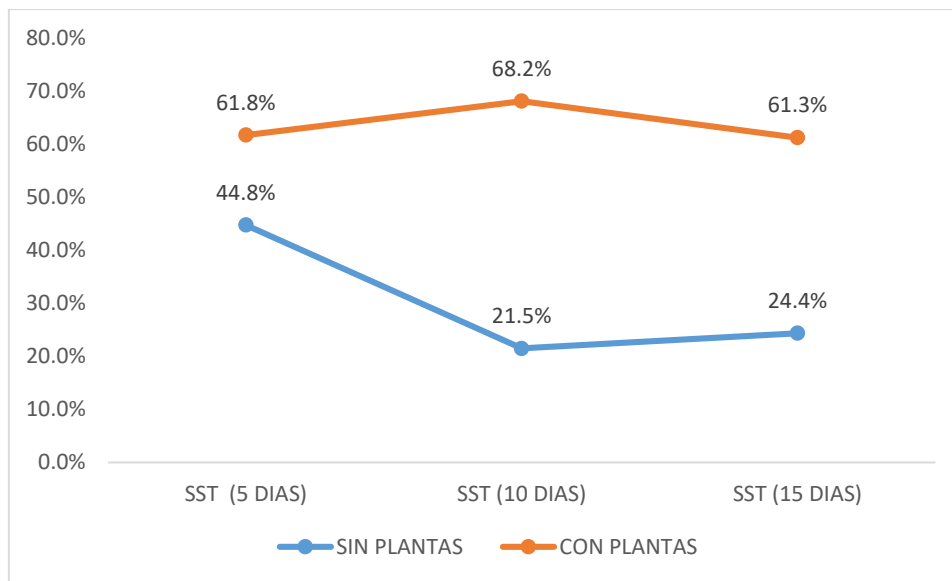


Figura 12: Comparación de remoción de SST tras 5, 10 y 15 días de aplicar el tratamiento.

Interpretación: Se observa el comportamiento de SST con respecto al tiempo para ambos tratamientos. El tratamiento al cual no se le aplicó los humedales artificiales con Jacinto de agua, al pasar del tiempo el porcentaje de remoción disminuye considerablemente llegando de un 44.8% a un 21.5%, mientras que el tratamiento al que se le aplicó los humedales artificiales con Jacinto de agua mostró un comportamiento estable al pasar del tiempo, mostrando porcentajes eficientes de remoción, por encima del 60%.

*Tabla 17: Análisis de varianza para medir el efecto de los tratamientos en la remoción DBO<sub>5</sub>.*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1137,021	3	379,007	7,697	,010
Intra-grupos	393,949	8	49,244		
Total	1530,970	11			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se observa que la significancia (0.01) es menor que 0.05, por lo que se puede afirmar que los tratamientos empleados con y sin el Jacinto de agua tienen diferentes efectos para disminuir la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

*Tabla 18: Prueba de Tukey para la comparación entre tratamientos en cuanto a remoción de DBO<sub>5</sub>.*

Tratamiento	Tratamiento	Diferencia de medias	Sig.
<u>R0</u>	<u>R1</u>	21,46000	,024
	<u>R2</u>	21,41333	,024
	<u>R3</u>	24,13333	,013
<u>R1</u>	<u>R0</u>	-21,46000	,024
	<u>R2</u>	-,04667	1,000
	<u>R3</u>	2,67333	,964
<u>R2</u>	<u>R0</u>	-21,41333	,024
	<u>R1</u>	,04667	1,000
	<u>R3</u>	2,72000	,963
<u>R3</u>	<u>R0</u>	-24,13333	,013
	<u>R1</u>	-2,67333	,964
	<u>R2</u>	-2,72000	,963

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Se observa que las significancias entre el tratamiento al cual no se aplicó los humedales artificiales con Jacinto de agua (R0) y el tratamiento al que se aplicó (R1, R2, R3) son menores que 0.05, por ende, si existe diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 19: Análisis de varianza para medir el efecto de los tratamientos en la remoción de DQO.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	4506,102	3	1502,034	8,502	,007
Intra-grupos	1413,291	8	176,661		
Total	5919,393	11			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se observa que la significancia (0.007) es menor que 0.05, por lo que se puede afirmar que los tratamientos empleados con y sin el Jacinto de agua tienen diferentes efectos para disminuir la Demanda Química de Oxígeno.

Tabla 20: Prueba de Tukey para la comparación entre tratamientos en cuanto a remoción de DQO.

Tratamiento	Tratamiento	Diferencia de medias	Sig.
<u>R0</u>	<u>R1</u>	42,81000	,018
	<u>R2</u>	42,81000	,018
	<u>R3</u>	47,87000	,010
<u>R1</u>	<u>R0</u>	-42,81000	,018
	<u>R2</u>	,00000	1,000
	<u>R3</u>	5,06000	,964
<u>R2</u>	<u>R0</u>	-42,81000	,018
	<u>R1</u>	,00000	1,000
	<u>R3</u>	5,06000	,964
<u>R3</u>	<u>R0</u>	-47,87000	,010
	<u>R1</u>	-5,06000	,964
	<u>R2</u>	-5,06000	,964

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se observa que las significancias entre el tratamiento al cual no se aplicó los humedales artificiales con Jacinto de agua (R0) y el tratamiento al que se aplicó (R1, R2, R3) son menores que 0.05, por ende, si existe diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a remoción de Demanda Química de Oxígeno. Mientras que entre R1, R2 y R3 no existen diferencias.



Tabla 21: Análisis de varianza para medir el efecto de los tratamientos en la remoción de SST.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	20102,723	3	6700,908	7,451	,011
Intra-grupos	7194,860	8	899,358		
Total	27297,583	11			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se observa que la significancia (0.011) es menor que 0.05, por lo que se puede afirmar que los tratamientos empleados con y sin el Jacinto de agua tienen diferentes efectos para disminuir la cantidad de Sólidos Suspendidos Totales.

Tabla 22: Prueba de Tukey para la comparación entre tratamientos en cuanto a remoción de SST.

Tratamiento	Tratamiento	diferencia de medias	Sig.
<u>R0</u>	<u>R1</u>	90,56667	,025
	<u>R2</u>	87,00000	,031
	<u>R3</u>	103,00000	,013
<u>R1</u>	<u>R0</u>	-90,56667	,025
	<u>R2</u>	-3,56667	,999
	<u>R3</u>	12,43333	,955
<u>R2</u>	<u>R0</u>	-87,00000	,031
	<u>R1</u>	3,56667	,999
	<u>R3</u>	16,00000	,911
<u>R3</u>	<u>R0</u>	-	,013
	<u>R1</u>	-12,43333	,955
	<u>R2</u>	-16,00000	,911

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se observa que las significancias entre el tratamiento al cual no se aplicó los humedales artificiales con Jacinto de agua (R0) y el tratamiento al que se aplicó (R1, R2, R3) son menores que 0.05, por ende, si existe diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a remoción de Sólidos Suspendidos Totales. Mientras que entre R1, R2 y R3 no existen diferencias.

Comparación de los resultados de los parámetros físico – químicos de las aguas tratadas con los humedales artificiales utilizando Jacinto de agua con los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas D. S. N° 003-2010-MINAM.

*Tabla 23: comparación de resultados con LMP.*

Parámetro	Inicio (mg/L)	Final (mg/L)	Límites Máximos Permisibles (mg/L)
DBO <sub>5</sub>	74,54	26,89	100
DQO	148,65	53,28	200
SST	279	108	150

Interpretación: Se compararon los resultados de los parámetros fisicoquímicos con los límites máximos permisibles para efluentes de Plantas de tratamiento de aguas residuales. En cuanto a remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO, los resultados antes y después de aplicado los humedales artificiales con Jacinto de agua están por debajo del límite máximo permisible, destacando que el tratamiento final arrojó aproximadamente la tercera parte de remoción del tratamiento inicial. En cuanto a remoción de Solidos Suspendidos Totales, los resultados del tratamiento inicial están por encima del límite máximo permisible, mientras que después de aplicado los humedales artificiales con Jacinto de agua, se reduce considerablemente estando por debajo del límite máximo permisible.

#### IV. DISCUSIÓN:

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Coronel (2005) en su tesis “Determinar la Eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) y Lenteja De Agua (*Lemna Minar*) en el Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas- Chachapoyas”, quien señala que el tratamiento con Jacinto de agua fue más eficiente, cuya concentración de demanda bioquímica de oxígeno presente en el agua residual fue 169.39 mg/L, y tras la aplicación del tratamiento de Jacinto de agua se redujo en un 95%. La concentración de demanda química de oxígeno presente en el agua residual fue 106.79 mg/L, y tras la aplicación del tratamiento de Jacinto de agua se redujo en un 93%.

De la misma manera, García (2012) en su tesis “Comparación y Evaluación de tres Plantas Acuáticas para determinar la Eficiencia de Remoción de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas” manifestó que el Jacinto de agua es la especie más eficiente en la remoción de materia orgánica (50%, a diferencia de 40% en los otros tratamientos), El tiempo de retención promedio fue tomado de 13 días, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación

Villaruel (2005) realizó una investigación acerca de la planta de tratamiento “El Cortijo” para las aguas residuales municipales de la ciudad de Trujillo utilizando como especie vegetal *Scirpus coliformicus* “Totora” y *Typha angustifolia* “Tina o inea”. Cabe destacar que con el uso de humedales artificiales superficiales con las especies vegetales Totora y Tina se logró obtener porcentajes de remoción por encima del 80%, obteniendo un 92.49% de remoción en demanda bioquímica de oxígeno y 83.33% en sólidos suspendidos totales.

El tratamiento al cual no se le aplicó los humedales artificiales con Jacinto de agua, al pasar del tiempo el porcentaje de remoción de  $DBO_5$  disminuye considerablemente llegando de un 54.7% a un 20.9%, mientras que el tratamiento al que se le aplicó los humedales artificiales con Jacinto de Agua mostró un comportamiento estable al pasar del tiempo, mostrando porcentajes por encima del 60%. De la misma manera, en cuanto a remoción de DQO disminuye considerablemente al pasar del tiempo llegando de un 54.7% a un 23.8% para el tratamiento sin plantas, mientras que los porcentajes se mantienen estables por encima del 60% para el tratamiento con plantas. Finalmente, para los Sólidos Suspendidos Totales, el comportamiento es similar, el tratamiento sin plantas a los 5 días se obtiene un 44.8% de

remoción, mientras que para los 15 días disminuye llegando al 24.4%; y el tratamiento con plantas a los 5 días se obtuvo un 61.8%, y para los 15 días llega al 61.3%.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza señalan que existe diferencia significativa entre los tratamientos empleados en cuanto a remoción de materia orgánica (DBO<sub>5</sub>, DQO y SST). Así mismo, la prueba de Tukey para la comparación entre grupos señala que las parejas de tratamientos que presentan diferencias significativas son R0 y R1, R0 y R2, R0 y R3, el cual R0 representa el tratamiento al cual no se aplicó humedales artificiales con Jacinto de agua y R1, R2, R3 representan tratamientos a los que sí se aplicó humedales artificiales con Jacinto de agua.

Cabe destacar que son muy pocas las investigaciones que utilizan el análisis estadístico como el ANOVA y la Prueba de Tukey para la comparación y medir el efecto entre tratamientos que utilicen humedales artificiales con plantas. Por lo cual esta investigación es de gran aporte al ser novedoso en la técnica que se está empleando.

## V. CONCLUSIONES:

- Se logró evaluar el grado de remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la UCV – Trujillo, el tratamiento al cual se aplicó los humedales artificiales con Jacinto de agua obtuvieron mayores porcentajes de remoción de los parámetros indicadores de materia orgánica. En cuanto a (DBO<sub>5</sub>), el mayor porcentaje obtenido fue 63.9%. Para la (DQO), el mayor fue 65.1%. Mientras que (SST), el mayor fue 68.2%.
- Se evaluaron las concentraciones de los parámetros físico – químicos (DBO<sub>5</sub>, DQO, SST) antes y después del tratamiento. Para la DBO<sub>5</sub>, la concentración inicial fue de 74.54 mg/L, la final de 56.34 mg/L, para la DQO, la concentración inicial fue de 148.65 mg/L, la final de 112.63 mg/L, para los SST la concentración inicial fue de 279 mg/L, la final de 211 mg/L.
- El tratamiento al cual no se implementó humedales artificiales con Jacinto de agua tras 5 días, obtuvieron un 54.7%, 54.7% y 44.8% de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST respectivamente, mientras que el tratamiento al que si se implementó se obtuvo 63.8%, 65.9% y 70.3% de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST. Tras 10 días, los porcentajes obtenidos fueron, 20.9%, 23.8% y 21.5% de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST respectivamente para el tratamiento sin plantas y de 67.6%, 67.5% y 81.3% de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST para el tratamiento con plantas. Tras 15 días, los porcentajes obtenidos fueron, 24.4%, 24.2% y 24.4% de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST respectivamente para el tratamiento sin plantas y de 66.3%, 66.7% y 66.3% de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST para el tratamiento con plantas.
- Las aguas residuales tratadas con humedales artificiales de Jacinto de agua presentaron valores por debajo de los límites máximos permisibles para efluentes de PTARD según el D.S. 003-2010-MINAM. DBO<sub>5</sub> inicio 74.54 mg/L, final 26.89 mg/L, LMP 100 mg/L. DQO inicial 148.65 mg/L, final 53.28 mg/L), LMP 200 mg/L. SST inicial 279 mg/L, final 108 mg/L, LMP 150 mg/L

## **VI. RECOMENDACIONES:**

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación se hacen las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones.

- Se recomienda a la Universidad Cesar Vallejo – Trujillo adoptar un sistema de tratamiento de aguas residuales utilizando la planta Jacinto de Agua como humedal artificial ya que estos juegan un papel muy importante en la reducción de materia orgánica, además es un sistema ecológico y no requiere de cuidados especiales.
- Se recomienda hacer cosechas cuando se observe que el humedal está en crecimiento avanzado para optimizar la absorción de nutrientes por parte de las plantas.
- En este tipo de humedales se recomienda utilizar un tubo de pvc, o un sistema que permita el ingreso de electrodos, con el fin de medir otros parámetros como pH, temperatura, oxígeno disuelto, etc. En el agua que se encuentra dentro de los humedales.
- Al momento de realizar los análisis de laboratorio es muy importante la preservación adecuada de las muestras al igual que la correcta aplicación de los ensayos.
- Continuar el estudio de evaluación de este tipo de humedales con diferentes plantas, y otros tipos de contaminantes presentes en las aguas residuales de la UCV – Trujillo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

ARROYABE, F. Remoción de contaminantes de aguas residuales con humedales artificiales de flujo subsuperficial. Santafé de Bogotá, Colombia. 1997. pp. 12.

ATENEA. Análisis organoléptico y set de sólidos [en línea]. Colombia: Universidad distrital, 2004 [fecha de consulta 18 de abril de 2018]. Disponible [http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/capitulos\\_fluoreciencia/calaguas\\_cap4.pdf](http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap4.pdf)

RODRÍGUEZ, C, DÍAZ, HERNÁNDEZ, J. Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales, 1996. pp 1–5.

CAMACHO, J y ORDOÑEZ, I. Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con Eichhornia crassipes para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la universidad pontificia bolivariana de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia: Universidad pontificia bolivariana, 2008. pp. 27- 40.

CAMPOS, I. Saneamiento ambiental. 1° ed. universidad estatal a distancia uned.. San José, costa rica, 2003. 89 pp. ISBN: 9968-31-069-7.

CELIS, J, JUNOD, J. y SANDOVAL, M. Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. Chile, 2005. pp. 17-19.

Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales centro andino para la gestión y uso del agua por Delgadillo, O [et al]. Cochabamba, Bolivia, 2010. 94 pp.

ISBN: 9789995476625.

EPA (environmental protection agency). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedales de flujo libre superficial. Washington, D.C, 2000. 104 pp.

GARCÍA, Z. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. [en línea]. Lima, Perú: Universidad nacional de ingeniería, 2012.

[fecha de consulta 20 de abril de 2018]. Disponible en: [http://www.lima-water.de/documents/zgarcia\\_tesis.pdf](http://www.lima-water.de/documents/zgarcia_tesis.pdf).

JARAMILLO, J. FLORES S. Fito remediación mediante el uso de dos especies vegetales en aguas residuales producto de la actividad minera. [en línea]. 2017. [fecha de consulta 20 de abril de 2018]. Disponible en: <http://www.uam.es/departamentos/ciencias/qagri/mp-fitorrem.pdf>.

JIMÉNEZ y PADILLA, Remoción de contaminantes inorgánicos de aguas residuales industriales con *Eichhornia crassipes* o Jacinto de agua [en línea]. 2009. [fecha de consulta 20 de abril de 2018]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1881/1/1038..pdf>.

KADLEC, R y WALLACE, S. Treatment wetlands. Crc press. 2° ed. Boca ratón. Florida, USA 2009. pp 1016.

LEÓN, M. y LUCERO, A. Estudio de *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *azolla filiculoides* en el tratamiento biológico de aguas residuales domesticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del cantón cotacachi. Ibarra, Ecuador: Universidad técnica del norte, 2009. pp 29-37.

LONDOÑO, L. y MARÍN, C. Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética. Pereira Colombia: Universidad tecnológica de Pereira, 2009 pp 14- 29.

MARTELO, Jorge, LARA Jaime. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. 8° ed. 2012. 23 pp.

ISSN 1794–9165.

MENA, S. y otros. 2006. “diseño, construcción y puesta en marcha de una unidad experimental de humedales artificiales”. Dirección académica. Universidad centroamericana “José Simeón cañas”. San salvador. El salvador.

MINCHOLA, J.; GONZÁLES, F. Humedales artificiales en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la mina Barrick. Lima, Perú, 2013 pp 433-444.



OEFA (organismo de evaluación y fiscalización ambiental). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Lima, Perú 2014. 16 pp.

PNUMA. Evaluación mundial sobre el mercurio, pnuma productos químicos. [en línea]. 2005. [fecha de consulta 29 de octubre de 2017]. Disponible en: <http://www-chem.unep.ch/final-assessment-report-nov05-spanish.pdf>

POSADA M. ARROYAVE M. Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. [en línea]. 2006. [fecha de consulta 29 de octubre de 2017]. Disponible en: <http://revista.eia.edu.co/articulos6/articulo5.pdf>.

RAMALHO, R. Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas. España: universidad de castilla, 1993. pp 9-15.

ISBN: 8484271064

TITO, F. Tratamiento de aguas residuales grises domésticas con la especie paraguaitas *cyperus alternifolius* en humedales artificiales. [en línea]. Urbanización Zárate – san juan de Lurigancho, 2015. [fecha de consulta 29 de octubre de 2017]. Disponible en: [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/ucv/118/tito\\_cr.pdf?Sequence=1](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/ucv/118/tito_cr.pdf?Sequence=1)

TORRES, J, PINEDA, R y MAGNO, J. Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales artificiales de flujo libre superficial (fls) con las especies *cyperus papyrus* y *phragmites australis*. 1° ed. Lima: Universidad peruana unión. 2015.96 pp. ISSN: 2313 – 7991.

VILLARROEL, C. Tratamiento terciario del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales el cortijo para uso agrícola con humedales construidos de flujo superficial. Trujillo: Universidad nacional de Trujillo. 2005. 57 pp.

## ANEXOS



*Figura 13: Recolección de Jacinto de agua.*



*Figura 14: Recolección de agua residual de efluente de la UCV.*



*Figura 15: Instalación de los humedales artificiales con la especie Jacinto de agua.*



*Figura 16: Toma de muestras de los primeros 5 días de iniciado el tratamiento.*



*Figura 17: Toma de muestras después de 10 días de iniciado el tratamiento.*



*Figura 18: Muestras de agua en laboratorio.*





Figura 19: resultados de los parámetros antes del tratamiento.

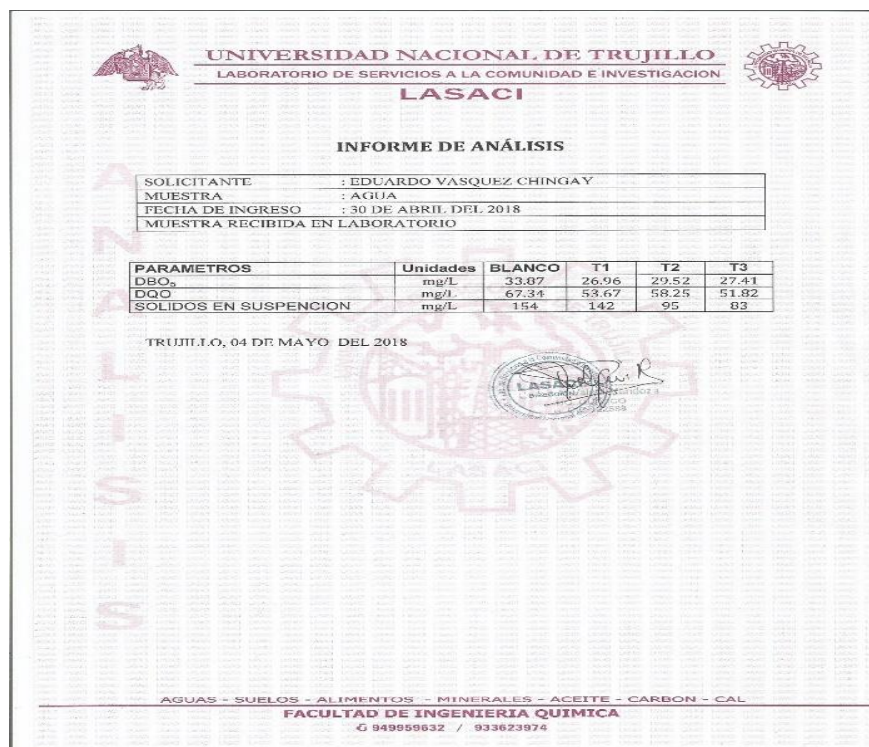


Figura 20: resultados de los parámetros a 5 días de tratamiento.

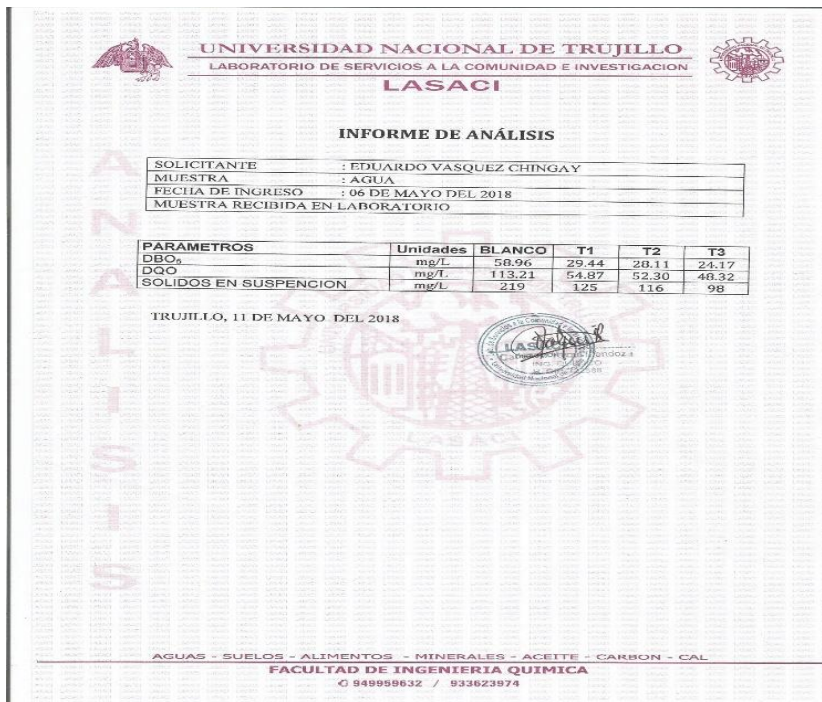


Figura 21: resultados de los parámetros a 10 días de tratamiento.



Figura 22: resultados de los parámetros a 15 días de tratamiento.