



Por un Desarrollo
Agrario Integral
y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

Sede Managua

Trabajo de graduación.

Evaluación de la eficiencia de las plantas flotantes *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, en el proceso de transferencia de oxígeno para el mejoramiento de la calidad de las aguas residuales provenientes de la granja demostrativa de peces de la UNA.

Autores

Br. Kenneth Alexander Fonseca Prado

Br. Eli Xavier Coleman Barrow

Asesores

MSc. Cristóbal Medina

Ing. Ernesto Tünnermann Gutiérrez
(Q.E.P.D.)

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

Sede Managua

Trabajo de graduación.

Evaluación de la eficiencia de las plantas flotantes *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, en el proceso de transferencia de oxígeno para el mejoramiento de la calidad de las aguas residuales provenientes de la granja demostrativa de peces de la UNA.

Autores

Br. Kenneth Alexander Fonseca Prado

Br. Eli Xavier Coleman Barrow

Asesores

MSc. Cristóbal Medina

Ing. Ernesto Tünnermann Gutiérrez (Q.E.P.D.)

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2021

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la decanatura de la **Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente** como requisito parcial para optar al título profesional de:

Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

Miembros del tribunal examinador

Presidente

secretario

Vocal

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2021

DEDICATORIA

Dedico este documento primeramente a mis padres y a quienes me apoyaron e hicieron posible poder culminar mis estudios. A todas las personas que me ayudaron a lo largo de todo este proceso amigos, compañeros y profesores.

En especial dedico este logro a **María Auxiliadora Gadea (Q.E.P.D.)**, que siempre esperó verme graduado como profesional.

Y a mí asesor **Ernesto Gutiérrez Tünnermann (Q.E.P.D.)**, por haber sido un amigo que me enseñó muchos valores y el coraje de terminar mi tesis.

Kenneth A. Fonseca Prado

DEDICATORIA

Este proceso de estudio culminado se lo dedico al gran esfuerzo ejercido por cada uno de los integrantes de mi familia en especial a los pilares fundamentales que son mi madre **Berna Barrow Zepeda** y a mi difunto padre que en paz descanse, el señor **Guzmán Coleman Borge**, quien fue un hombre ilustre y referente hacia mi persona en cada uno de las metas en distintas etapas de mi vida, por el cual trabajé y anhelé, por el tiempo que estuviste compartiendo conocimientos y consejos, el amor que brindaste a toda tu familia, dándonos el mejor regalo que un padre puede dar, el cual es el estudio.

De igual manera a todas aquellas personas que en algún momento me dieron su apoyo emocional, económico y críticas constructivas para poder llegar hasta este punto, mencionar cada uno de ellos terminaría en cantidades masivas de escrito, de manera general ellos entregaron su confianza hacia mi persona instando a que yo me convirtiera en la persona que soy hoy en día.

Eli Xavier Coleman Barrow

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mis tutores, **MSc. Cristóbal Medina** y al **Ing. Ernesto Tünnermann Gutiérrez (Q.E.P.D)**, que arduamente trabajaron en cada proceso desarrollado para la culminación de esta tesis, haciendo transferencia de conocimientos, sentimientos y lo más importante depositando confianza desde un inicio hasta la finalización de todo este aprendizaje.

A la familia **Noguera López** quienes me dieron la oportunidad de compartir el calor de hogar con su apoyo incondicional y el cariño como mi propia familia, durante todo el tiempo que duró este proceso.

A mi gran compañero, amigo y colega **Br. Elías Noguera López**, quien me dio la mano y nunca me dejó de apoyar emocional, profesional y en ciertos momentos, económicamente; para que yo pudiese cumplir mis sueños de convertirme en un buen profesional. Él me dio la mano amiga que tanto necesitaba, por ello estaré eternamente agradecido, sin nada más que decir, muchas gracias.

Eli Xavier Coleman Barrow

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a mis asesores, **MSc. Cristóbal Medina** e **Ing. Ernesto Tünnermann Gutiérrez**, por darnos la propuesta de tesis y guiarnos hasta la culminación de este documento.

A mi familia, a mi madre **Karla A. Prado Gadea**, por aconsejarme y apoyarme a seguir adelante, a mi padre **Mario A. Fonseca Molina** por creer en mí y apoyarme a pesar de las adversidades, a mis hermanos **Carlos R. Fonseca Prado** y **Vielka A. Fonseca Prado**, siempre que necesité ayuda estuvieron ahí para mí.

A **Melissa Sánchez**, por motivarme a no rendirme y estar de forma incondicional para mí.

A mi compañero de tesis, **Eli Xavier Coleman**, por soportarme y por completar este documento junto conmigo.

Y a todos los que me ayudaron en algún momento.

Kenneth A. Fonseca Prado

ÍNDICE DE CONTENIDO

| SECCIÓN | PÁGINA |
|--|--------|
| DEDICATORIA | i |
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTOS | iii |
| AGRADECIMIENTOS | iv |
| INDICE DE CONTENIDO | v |
| INDICE DE CUADROS | vii |
| INDICE DE FIGURAS | viii |
| INDICE DE ANEXOS | ix |
| RESUMEN | x |
| ABSTRACT | xi |
| I INTRODUCCIÓN | 1 |
| II OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 General | 3 |
| 2.2 Específicos | 3 |
| III MARCO DE REFERENCIA | 4 |
| 3.1. Aguas residuales | 4 |
| 3.2 Tratamiento de aguas residuales usando sistemas de Fito depuración | 4 |
| 3.3 Características de las macrófitas flotantes jacinto de agua <i>Eichhornia crassipes</i> | 5 |
| 3.3.1 Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) | 5 |
| 3.3.2 Lechuga de agua (<i>Pistia stratiotes</i>) | 5 |
| 3.4 Parámetros evaluados con el uso de macrófitas | 6 |
| 3.4.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | 6 |
| 3.4.2 Oxígeno disuelto | 6 |
| IV MATERIALES Y MÉTODOS | 7 |
| 4.1 Ubicación y fecha de estudio | 7 |
| 4.2 Diseño metodológico | 8 |
| 4.2.1 Pre campo | 8 |
| a)Recolección de muestras vegetales | 9 |
| b)Recolección de muestras de agua residual | 10 |
| 4.2.2 Campo (Laboratorio) | 11 |
| Variables evaluadas | 11 |
| Establecimiento de los tratamientos | 12 |
| Manejo del ensayo | 13 |
| 4.2.3 Post campo | 14 |
| - Análisis de datos | 14 |
| V RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 16 |
| 5.1 Trasferencia de OD en los tratamientos CPCB y CPSB con jacinto de agua <i>Eichhornia crassipes</i> | 16 |
| 5.2 Transferencia de OD en los tratamientos CPCB y CPSB con Lechuga de agua (<i>Pistia stratiotes</i>) | 17 |

| | | |
|-------------|--------------------------|----|
| VI | CONCLUSIONES | 22 |
| VII | RECOMENDACIONES | 24 |
| VIII | LITERATURA CITADA | 25 |
| IX | ANEXOS | 28 |

INDICE DE CUADROS

| CUADROS | SECCION | PAGINA |
|----------------|--|---------------|
| 1 | Variables evaluadas | 11 |
| 2 | Valores medios de oxígeno disuelto en aguas residuales de origen acuícola conteniendo plantas macrófitas durante nueve días a nivel de laboratorio | 19 |
| 3 | Valores medios de oxígeno disuelto en aguas residuales de origen acuícola con tratamiento con y sin barrera durante nueve días de observación | 19 |
| 4 | Concentraciones de oxígeno disuelto transportado en aguas residuales de origen acuícola utilizando Jacinto de agua | 20 |
| 5 | Porcentaje de remoción de DBO5 en aguas residuales de origen acuícola, con planta de Jacinto Sin y Con Barrera. | 20 |
| 6 | Porcentaje de remoción de DBO5 en los tratamientos Sin Planta o Con Barreras en aguas residuales de origen acuícola | 21 |

INDICE DE FIGURAS

| FIGURAS | SECCION | PAGINA |
|----------------|---|---------------|
| 1 | Ubicación del sitio de estudio (Granja de peces UNA). | 7 |
| 2 | Etapas del proceso investigativo | 8 |
| 3 | Mapa de los sitios de recolección de muestras vegetales | 9 |
| 4 | Recipientes para muestras de agua residual para los análisis de OD y DBO5 | 11 |
| 5 | Esquema experimental de los tratamientos utilizados en las muestras de agua | 13 |
| 6 | Promedio de contenido de oxígeno disuelto (mg/l) utilizando Eichhornia crassipes con tratamientos CPSB y CPCB | 16 |
| 7 | Promedio de contenido de oxígeno disuelto (mg/l) utilizando Pistia stratiotes con tratamientos CPCB y CPSB | 18 |

INDICE DE ANEXOS

| ANEXO | SECCION | PAGINA |
|--------------|---|---------------|
| 1 | Lectura con el Oxímetro STARTER 300D de oxígeno disuelto durante 9 días con individuos de Pistia Stratiotes. | 29 |
| 2 | Lectura con el Oxímetro STARTER 300D de oxígeno disuelto durante 9 días con individuos de Eichhornia Crassipes | 30 |
| 3 | Resultado de análisis de varianza con el software InfoStat durante 9 días con los tratamientos de Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes. | 30 |

RESUMEN

En esta investigación se evaluó la transferencia de oxígeno disuelto en aguas residuales de la granja demostrativa de peces de la UNA, empleando plantas Macrófitas *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Pistia stratiotes* (Lechuga de agua), esto con la finalidad de evaluar la eficiencia de las macrófitas con los parámetros evaluados, siendo estos el Oxígeno Disuelto (OD) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), transporte de O₂ y la biomasa de las plantas. Las muestras se colocaron en un ambiente controlado a una temperatura promedio de 25°C a 27°C., se estableció dos tratamientos distintos con cuatro repeticiones de los mismos. Se tomó lecturas durante 9 días consecutivos. Por lo tanto, el análisis de varianza al contenido de oxígeno disuelto (OD) mostró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre especies y tratamiento. La especie de Jacinto presento valores promedios de oxígeno disuelto (OD) de 2.60 a 5.08 mg/L, asimismo el tratamiento con plantas sin barrera (CPSB) mostro mayor valor de 2.7 a 4.85 mg/L. Por otro lado, la Lechuga de agua con valores en el tratamiento CPSB de 2.27 a 4.81 mg/L y CPCB de 1.24 a 1.53 mg/L. La planta de Jacinto en el tratamiento con planta con barrera (CPCB) y con plantas sin barrera CPSB presento valores de OD transferido que van de 0.46 y 0.45 mg/L O₂ por día respectivamente. La planta de Jacinto CPSB removió en aguas residuales el 20.23 % de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y CPCB el 19 % al final del noveno día de observación. De esta manera se aportó que el tratamiento SPSB (condiciones aeróbicas) removió un promedio de 63%, de la DBO₅, mientras el tratamiento SPCB (condiciones anaeróbicas) fue de 42 %., destacando que la especie de Jacinto CPSB mostró mayor promedio de peso en cuanto la biomasa seca total (6.06 gr) y las concentraciones de OD (3.63 – 5.34 mg/L) a contraste que la planta de Lechuga de agua CPSB (3.20 gr) y OD (1.7-4.81mg/L).

Palabras claves: Macrófitas, Oxígeno disuelto OD, Demanda bioquímica de oxígeno DBO₅, Tratamientos de agua residual.

ABSTRACT

In this research, the transfer of dissolved oxygen in wastewater from the UNA fish demonstration farm was evaluated, using macrophytic plants *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) and *Pistia stratiotes* (water lettuce), this with the purpose of evaluating the efficiency of the macrophytes with the parameters evaluated, these being Dissolved Oxygen (DO) and Biochemical Oxygen Demand (BOD), O₂ transport and plant biomass. The samples were placed in a controlled environment at an average temperature of 25°C to 27°C. Two different treatments were established with four repetitions of the same. Readings were taken for 9 consecutive days. Therefore, the analysis of variance to the content of dissolved oxygen (DO) showed a significant difference ($p < 0.05$) between species and treatment. The Hyacinth species presented average values of dissolved oxygen (DO) from 2.60 to 5.08 mg/L, likewise the treatment with plants without a barrier (CPSB) showed a higher value of 2.7 to 4.85 mg/L. On the other hand, the water lettuce with values in the CPSB treatment from 2.27 to 4.81 mg/L and CPCB from 1.24 to 1.53 mg/L. The Hyacinth plant in the treatment with plant with barrier (CPCB) and with plants without barrier CPSB presented values of transferred DO ranging from 0.46 and 0.45 mg/L O₂ per day, respectively. The Jacinto CPSB plant removed 20.23% of the Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) in wastewater and 19% of the CPCB at the end of the ninth day of observation. In this way, it was found that the SPSB treatment (aerobic conditions) removed an average of 63% of the BOD₅, while the SPCB treatment (anaerobic conditions) was 42%. in terms of total dry biomass (6.06 gr) and OD concentrations (3.63 - 5.34 mg/L) in contrast to the CPSB water lettuce plant (3.20 gr) and OD (1.7-4.81mg/L).

Keywords: Macrophytes, DO dissolved oxygen, BOD biochemical oxygen demand, Wastewater treatment.

I. INTRODUCCIÓN.

El concepto de macrófitas adoptado en este trabajo es el de Velásquez, quien define a las macrófitas como todas las plantas herbáceas que crecen y se desarrollan en suelos saturados o cubiertos por agua, y que tienen la capacidad para permanecer y tolerar un largo periodo en contacto con el agua (al menos su sistema radicular) (Velásquez, 1994).

La Fito depuración, “se refiere a la depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (macrófitas) en los denominados humedales o sistemas acuáticos, ya sean naturales o artificiales”. (Beascoechea, Muñoz, & Fernández de la Mora, 2020)

La depuración de aguas residuales con plantas acuáticas flotantes es uno de sistemas más utilizados, y consiste en estanques o canales de profundidad que fluctúan entre los 0,4 a 1,5 m. Estos estanques son alimentados con agua residual, en los que se desarrolla una especie flotante. (Metcalf & Eddy, 1995).

El agua es uno de los recursos naturales más vulnerables por los distintos tipos de contaminación que hay, siendo la contaminación por los vertidos provenientes de la piscicultura uno de los que pueden aprovecharse si se vincula con tratamientos de agua residuales usando macrófitas, en estos sistemas piscícolas los peces son alimentados con concentrado de proteínas y minerales, los peces al secretarlo convierten el nitrógeno de las proteínas en un desecho conocido como “nitrógeno amoniacal”, la piscicultura una rama de la acuicultura, cuyo fin es la producción de peces. (Martínez, 2020).

“Los compuestos nitrogenados se componen de amoníaco no ionizado (NH_3) y amonio ionizado (NH_4^+), originado en el metabolismo de las proteínas realizada por los peces y la descomposición orgánica de los desechos sólidos” (CENADAC, 2019).

Las macrófitas flotantes que son comunes en Nicaragua comprenden un amplio y variado grupo de plantas, entre las que se destacan el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), la salvinia (*Salvinia Spp.*), la redondita de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*) y algunas especies de lentejas de agua (*Lemna Spp.*, *Spirodella Spp.*) (Peralta Dimas, 2000)

La especie macrófita *Eichhornia crassipes* es una planta acuática con básculas flotantes provista de un grueso rizoma de crecimiento rápido pertenece a la familia de las pontederiáceas y su país de origen es Brasil, es conocida por su capacidad de eliminación de contaminantes del agua.

La macrófita *Pistia stratiotes* perteneciente a la familia de las Aráceas. Esta especie es la única que conforma el género *Pistia* dentro de las Aráceas y goza de una amplia distribución en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Su propagación es por estolones, aunque también se puede propagar por semillas, en condiciones favorables se multiplica muy rápidamente en la superficie inundada, puede incluso convertirse en plaga. Crece a temperaturas comprendidas entre 17°C y 30°C.

El objetivo del presente trabajo fue para identificar la capacidad de transferencia de oxígeno disuelto y la eficiencia de remoción de la materia orgánica en aguas residuales de origen acuícola a través de un sistema de tratamientos a nivel de laboratorio a través de variables fisicoquímicos

II. OBJETIVOS.

2.1.General

Evaluar la eficiencia de las plantas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, en el proceso de transferencia de oxígeno disuelto para el mejoramiento de la calidad de las aguas residuales provenientes de la granja de producción de peces de la UNA.

2.2.Específicos

Determinar la transferencia de oxígeno disuelto a través de dos plantas flotantes, *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, en aguas residuales provenientes de la granja demostrativa de peces UNA.

Evaluar la capacidad de remoción de las especies *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* para remover DBO5 en aguas residuales de origen acuícola de la granja demostrativa de la granja demostrativa de peces.

Estimar la relación tallo/raíz de la biomasa seca de las dos especies macrófitas flotantes *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*

III. MARCO DE REFERENCIA.

3.1. Aguas residuales

“Las aguas residuales pueden definirse como “aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas o vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado” (OEFA, 2020).

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final, o su aprovechamiento mediante el re-uso (Ministerio del ambiente, 2019).

3.2. Tratamiento de aguas residuales usando sistemas de fitorremediación

De entre todos los diversos grupos de macrófitas, las de mayor importancia en la fitodepuración son las plantas emergentes o helófitas. Entre ellas se encuentran los carrizos (*Phragmites spp.*), los esparganios (*Sparganium spp.*), las espadañas (*Typha spp.*), el lirio de agua (*Iris pseudacorus L.*), entre otras. También tienen importancia las plantas flotantes, específicamente las de flotación libre. Entre ellas destacan el jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*), la lechuga de agua (*Pistia Stratiotes*), la salvinia (*Salvinia Spp.*), la redondita de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*), y algunas especies de lentejas de agua (*Lemna Spp.*, *Spirodella Spp.*). (Martelo & Borrero, 2012)

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 y filtración de los sólidos a

través del entramado que forma su sistema radicular (Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina, 2016).

3.3. Características de las macrófitas flotantes Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*)

3.3.1. Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

Es una especie que es usada de forma directa en los sistemas de tratamientos de agua residuales, siendo una planta perenne de agua dulce, posee un desarrollo poco creciente llegando a medir no más de 45 cm de altura (la envergadura total de la planta difiere dependiendo del sistema radicular debido a que este puede llegar a medir hasta 1m de longitud), hojas de color verde, con una afloración por medio de espigas de flores color lavanda. Los peciolos de la planta son elongados abultados con aire en su interior lo que le facilita la flotabilidad de la planta (EPA, 1988).

“El jacinto puede remover algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, ácido fórmico, colorantes y pesticidas, y disminuir niveles de DBO (demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), y sólidos suspendidos” (Metcalf & Eddy, 1995).

3.3.2. Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*)

La especie *Pistia stratiotes*, se destaca por tener un desarrollo bastante considerable destacándose por su capacidad de remoción del cadmio, aunque se presentan manifestaciones de algunos síntomas de toxicidad a concentraciones entre 4 y 6 mg/l. Los investigadores notaron que la mayor concentración del contaminante se localizaba en las raíces de las plantas (Celis Hidalgo, Junod Montano, & Sandoval Estrada, 2020)elis, 2020).

Planta acuática flotante, tallos a veces produciendo estolones con nuevas rosetas de hojas en el ápice; hojas arrosetadas, pecíolo corto, lámina más o menos obovada, redondeada o emarginada en el ápice, cuneada en la base, de 5 a 17 cm de largo y 2 a 7 cm de ancho, gruesa y esponjosa, pubescente en ambas superficies con tricomas cortos y de pocas células, nervios principales 5 a 15 pares, paralelos; inflorescencia pequeña, conspicua, subsésil, dispuesta entre las hojas, con una flor pistilada y 2 a 8 flores esta minadas, todas desnudas y dispuestas en verticilos; bayas con exocarpo delgado, elipsoidales, blanco-verdosas; semillas numerosas, cilíndricas, hundidas en ambos extremos, diminutas (Dray & Center, 2002).

3.4. Parámetros evaluados con el uso de macrófitas

3.4.1 Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) representa la medida de la cantidad de oxígeno necesaria para que se lleven a cabo procesos biológicos que se encargan de la biodegradación de materia orgánica, puesto que la carga de contaminantes aumentan la demanda de oxígeno, favoreciendo el crecimiento de algas, es importante resaltar que en condiciones de vida adecuadas (pH, oxígeno disuelto, temperatura y alimento) los microorganismos prosperan, de ahí la importancia de los mismos (Glynn, 1999).

3.4.2 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto se establece como la concentración actual (mg/L) o como la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura determinada. Se conoce también como el porcentaje de saturación. La unidad de mg/L representa miligramos por litro. La concentración en mg/L se refiere a veces como partes por millón (ppm) porque un litro equivale a 1000 gramos de agua y un miligramo es una milésima parte de un gramo. (California Water Boards, 2013)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1 Ubicación y fecha de estudio

Este experimento fue desarrollado en el periodo de septiembre a noviembre del 2018. Se realizó en los Laboratorios de Recursos Naturales (LARENA) en el campus central de la Universidad Nacional Agraria, las muestras de agua residual fueron colectadas de la granja demostrativa de cultivo de peces UNA ubicada en el km 12 y 1/2 de la carretera Norte, Managua, Nicaragua (ver figura 1).

Las coordenadas geográficas de la zona son: 12° 08' 36'' latitud Norte y 86° 09' 49'' longitud Oeste, con una elevación de 56 msnm. La precipitación anual es de 1100 a 1600 mm, la temperatura anual es de 27 °C a 40 °C, la humedad relativa promedio anual es de 75 %, la dirección predominante de los vientos es del ESTE. (Martínez, 2020).



Figura 1. Ubicación del sitio de estudio (Granja de peces UNA).

4.2 Diseño metodológico

El diseño metodológico consistió en tres etapas, se desarrollaron de manera simultánea en pre-campo, campo y post-campo. Facilitando así el proceso de investigación cuantitativo en un periodo de tres meses en base a procesos experimentales.

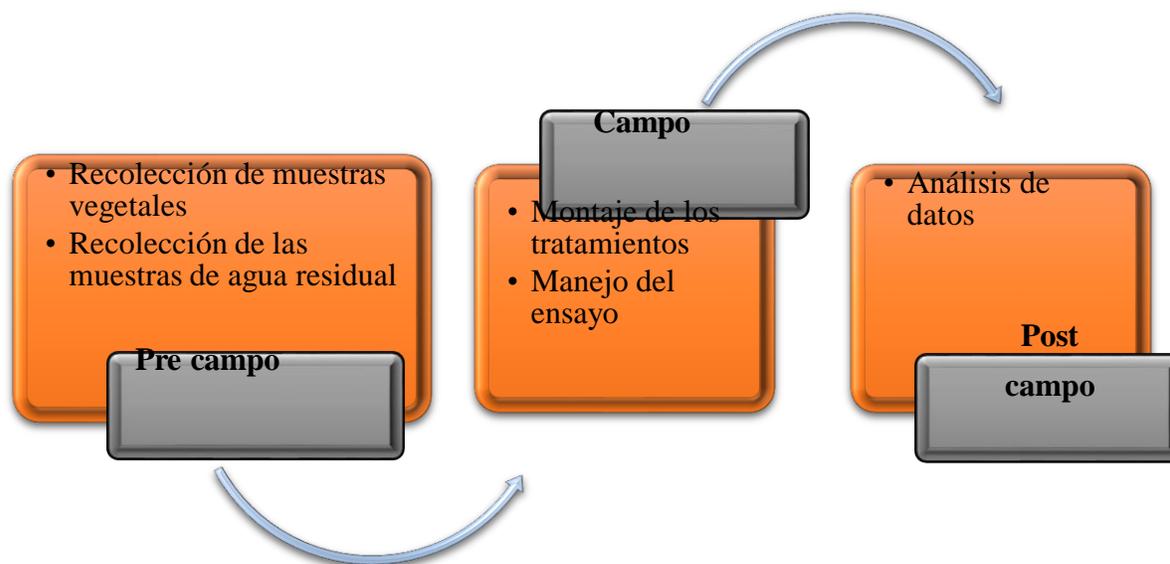


Figura 2. Etapas del proceso investigativo

4.2.1 Pre-campo

La morfología de las plantas macrófitas varía dependiendo de que especie se especifique, nos concentramos en las que tuvieran relación con la Demanda Bio-química de Oxígeno (DBO5) y la concentración de Oxígeno disuelto en el agua. Las plantas que elegimos para los ensayos fueron el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), cada una poseen la capacidad mediante procesos Fito-celulares generar intercambios gaseosos en sus sistemas radiculares.

a) Recolección de muestras vegetales

Se tomaron de diferentes hábitats localizados en la zona pacífico y zona central norte, para generar una producción que mantuviera y abasteciera durante todo el proceso investigativo, las zonas que fueron contempladas para la recolección fueron en las coordenadas: Rio Tipitapa en las coordenadas X597662 Y1348983, Laguna de Moyuá en las coordenadas X603537 Y1375665 y el Lago de Apanas en las coordenadas X610408 Y1460072. Utilizamos el sistema de coordenadas UTM Zona 16P WGS1984.

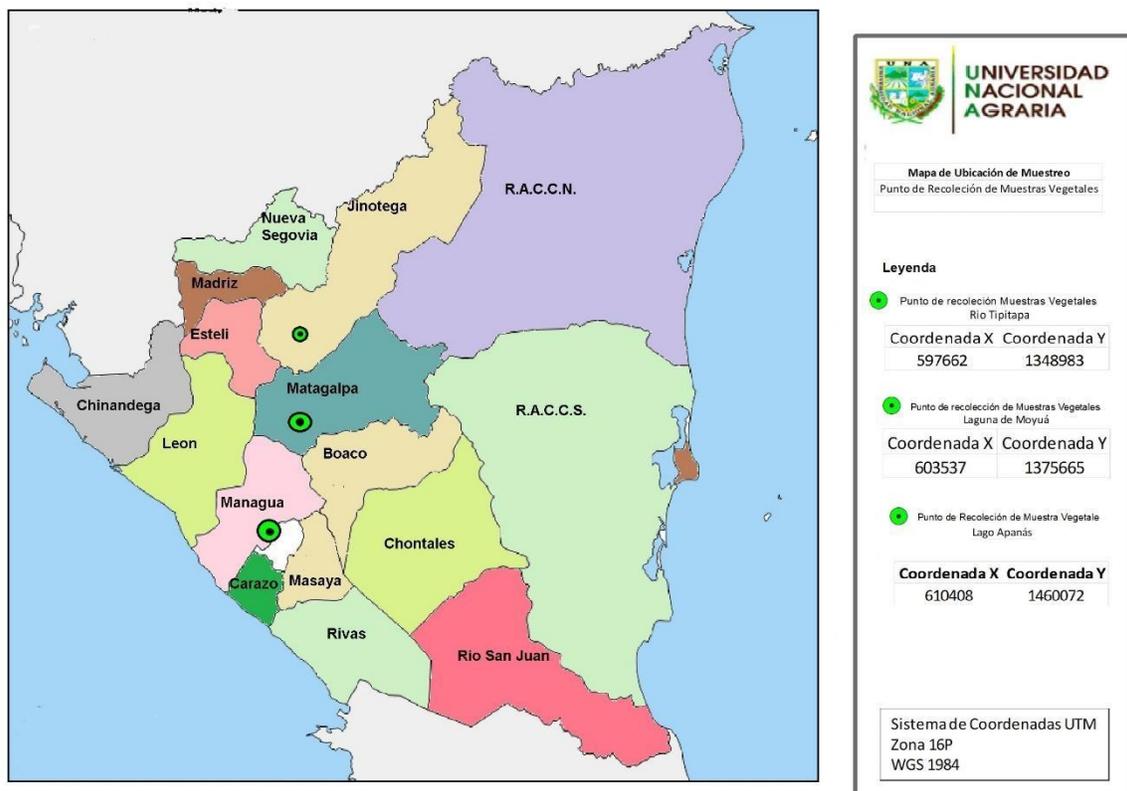


Figura 3. Mapa de los sitios de recolección de muestras vegetales

b) Recolección de las muestras de agua residual

Para esta investigación se analizaron los parámetros de concentración de oxígeno disuelto (OD) y la demanda bio-química de oxígeno (DBO5), a través de muestras de agua residual siendo trasladadas al Centro para la investigación en recursos acuáticos de Nicaragua (CIRA-UNAN) en el laboratorio se realizaron los debidos análisis para las muestras tomadas in situ en la pileta #18 de la batería de piletas de la granja experimental de piscicultura ubicada en la UNA.

Las muestras de agua para analizar el oxígeno disuelto se tomaron utilizando un recipiente Winkler, endulzándolo varias veces para eliminar la interacción con el oxígeno atmosférico, posteriormente el recipiente fue sumergido en el agua de la pileta y antes de sacar la muestra del agua se procuró evitar cualquier interacción de aire sellando posteriormente el recipiente obteniendo una muestra base, el recipiente de Winkler alberga una muestra de 300 mL.

El oxígeno disuelto en la muestra se añadió 1 ml del reactivo #1 Sulfato de Manganeso (**MnSO₄**) sumergiendo una probeta por debajo de la superficie del recipiente de la muestra base y de igual forma con una probeta diferente se agregó 1 mL del reactivo #2 azida de sodio (**NaN₃**) para fijar el oxígeno disuelto haciendo énfasis en evitar cualquier producción de burbujas cerrando el recipiente cuidadosamente. (ver figura 2)

En la toma de la muestra para la determinación de DBO5, se realizó utilizando un recipiente que albergaba un volumen con capacidad de 1500 mL, se procuró tomar la muestra a una profundidad media de la pileta, para establecer la cantidad de oxígeno que es consumido debido a la materia orgánica.



Figura 4. Recipientes para muestras de agua residual para los análisis de OD y DBO

4.2.2 Campo (Laboratorio)

Variables evaluadas

Cuadro 1 Variables evaluadas

| Variable evaluada | Descripción | Unidad de medida | Método de análisis |
|---|---|------------------|---|
| Oxígeno disuelto (OD) | Es la cantidad o presencia de oxígeno que se encuentra de manera disuelta en un cuerpo de agua | Mg/L | software estadístico Infostat y análisis de laboratorio CIRA. |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) | Es el consumo de oxígeno (O ₂) mediante la degradación bioquímica de la materia orgánica, | Mg/L | $\text{Diferencia DBO} = (\text{DBO inicial}) - (\text{DBO final})$ $\text{capacidad de remoción} = \frac{\text{Diferencia DBO} * 100}{(\text{DBO inicial})}$ |
| Temperatura (°C) | Es la magnitud referida de calor medible a través de un termómetro | °C | oxímetro STARTER 300D |

| | | | |
|---------|--------------------------------------|---------|---|
| Biomasa | Para fines de análisis de la biomasa | cm y gr | se basó en medir y obtener la información durante 9 días, con alto nivel de precisión por lo que fue necesario mantener condiciones controladas durante todo el proceso a nivel de laboratorio. |
|---------|--------------------------------------|---------|---|

Establecimiento de los tratamientos

Se evaluaron ambas especies macrofitas flotantes, aplicando dos tratamientos con cuatro repeticiones y dos de control sin muestras vegetales, los cuales representaban un entorno diferente por tratamiento con cada una de las especies. Los tratamientos fueron: Con plantas con barrera (CPCB), con plantas sin barrera (CPSB), sin plantas sin barrera (SPSB) y sin planta con barrera (SPCB). Cada repetición fue marcada para diferenciar las muestras a la hora de la lectura que se efectuaron en ellas (ver figura 3).

a) Con planta sin barrera (CPSB)

Es tratamiento en el que se empleó con la planta de Jacinto y Lechuga de agua, en un recipiente con agua residual cuya parte superior fue descubierta. Este tratamiento permitió el poder evaluar el transporte de O₂ a través de la planta, en conjunto con la difusión simultánea de O₂ en la columna de agua que rodea la planta. (Medina, 2021)

b) Con plantas con barrera (CPCB)

Este tratamiento se basó en que la planta de Jacinto y Lechuga de agua permanezcan en un recipiente con agua residual cuya parte superior se encuentre sellada con papel aluminio para evitar posibles fotosíntesis de micro algas u organismos, evaluando la transferencia de O₂ a través de la planta.

c) Sin planta con barrera (SPCB)

“Se trató de un envase sellado de forma hermética, lo que determinó la interacción de los microorganismos anaeróbicos efectuada en la DBO5 de las aguas residuales”. (Medina, 2021)

d) Sin planta y sin barrera (SPSB)

“Depósito con agua residual, igualmente sin planta con el parte superior descubierto este tratamiento permitió la evaluación para las aguas residuales de la atmosfera teniendo una difusión de O2 en la reducción de la DBO5.” (Medina, 2021)

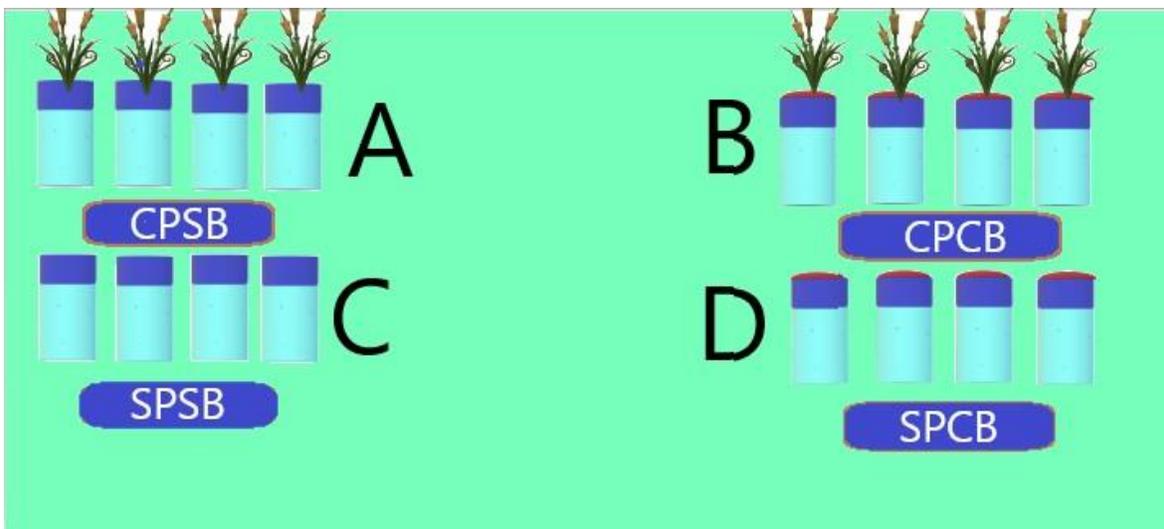


Figura 5. Esquema experimental de los tratamientos utilizados en las muestras de agua.

Manejo del ensayo

El seguimiento y manejo de cada uno de los tratamientos del ensayo se llevaron a cabo en los laboratorios LARENA, bajo condiciones controladas con temperatura climatizada entre 25°C a 27°C ejercida por un aire acondicionado, cada una de las repeticiones de los tratamientos que contenían plantas macrófitas estaban ubicados en una zona de amplia cobertura lumínica para favorecer a la interacción del sistema radicular con las muestras de aguas residuales.

Se llevó a cabo lecturas de temperatura y oxígeno disuelto por medio del oxímetro marca OHAUS STARTER 300D, se calibró el dispositivo a través del manual de usuario para especificar las unidades de medida y se confirmó el buen desempeño del dispositivo, las lecturas se realizaron para su posterior registro en la base de datos.

Se realizó un pesaje de las plantas al final del ensayo tomado el peso húmedo del tallo y raíz, luego se procedió a un secado en un horno a una temperatura constante de 70 grados durante 5 días para generar una correlación a la biomasa seca de la planta y de la raíz con el contenido de oxígeno disuelto.

Lecturas de oxígeno disuelto y temperatura con el oxímetro STARTER 300D

Se tomaron lecturas de oxígeno disuelto, empezando a determinar a las 9: 00 a.m. durante nueve días, se efectuó un monitoreo de los tratamientos, el cual involucraba la recolección de datos de temperatura, oxígeno disuelto y una evaluación del estado de cada una de las muestras vegetales presentes en las muestras, este proceso se realizó en cada uno de los cuatro tratamientos que se estudiaron haciendo mayor énfasis en los dos tratamientos con muestras vegetales.

Las lecturas de oxígeno disuelto fueron representadas en mg/l, utilizando un sensor con electrodo el cual se introducía en cada una de los tratamientos, al medir la muestra de agua, se tomó en cuenta mezclar la muestra sin extraer la planta. Con la membrana del electrodo se mantuvo en movimiento (5 cm/seg).

4.2.3 Post-campo

- Análisis de datos

Se introdujeron los datos en excel Microsoft Office de las lecturas realizadas en los tratamientos, en los cuales se observó el comportamiento de las plantas macrófitas, con esto se procedió a utilizar el software estadístico Infostat. Se hizo un análisis de varianza de contenido OD en aguas residuales, asimismo, se realizó separación de media por Tukey ($P=0.05$). (Ver anexos, 4)

Para determinar la velocidad de transporte de OD mg/L ejercidas por las plantas durante nueve días en el agua, se utilizó la siguiente fórmula propuesta por (REDDY K.R., 1989)

$$\text{O2 Transportado} = \frac{DBO_5((Inicial - Final) + OD(Inicial - Final))}{Dias}$$

La capacidad de remoción de DBO5 Es el porcentaje obtenido por la diferencia entre la concentración antes y después del tratamiento, se determinó usando una regla de tres simple (porcentaje) en la que a la lectura inicial se le resto la lectura final, dando como resultado la diferencia de DBO5, a esta diferencia se le multiplicara por 100 y se le dividió la lectura inicial para dar como resultado de capacidad de remoción. A continuación, la fórmula:

$$Diferencia DBO = (DBO inicial) - (DBO final)$$

$$\text{capacidad de remoción} = \frac{Diferencia DBO * 100}{(DBO inicial)}$$

Para la evaluación de la biomasa con el contenido de oxígeno disuelto se recopilaron los datos de Excel en un paquete de software de Microsoft office, se hizo un análisis de varianza para hacer comparaciones entre tratamiento y especies en cuanta al contenido de OD en aguas residuales en un periodo de 9 días.

Durante el proceso de evaluación de las plantas se tomaron datos cada una de las variables ejercidas se basó en medir y obtener la información durante 9 días, con alto nivel de precisión por lo que fue necesario mantener condiciones controladas durante todo el proceso a nivel de laboratorio.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados que se exponen en estos resultados fueron sacados del artículo científico preliminar publicado en La Calera, como continuación del mismo para terminar el proceso de procesamiento de los Datos que se tomaron durante el periodo de análisis en las muestras de agua residuales de origen acuícola con los tratamientos de macrófitas (Tunnerman, Medina, Fonseca, & Coleman, 2021).

5.1. Evaluación de oxígeno disuelto

5.1.1 Transferencia de OD en los tratamientos CPCB y CPSB con Jacinto de agua

Eichhornia crassipes

La evaluación de las plantas de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) tomando las lecturas del contenido de oxígeno disuelto durante un lapso de nueve días, utilizando los dos tratamientos ‘con planta con barrera’ (CPCB) y ‘con planta sin barrera’ (CPSB). Cabe resaltar que al inicio del ensayo se registró un promedio de 5.91 mg/L para ambos tratamientos, en el periodo observado de nueve días se obtuvieron promedios de valores de OD que fluctuaron entre 3.69 hasta 5.37 mg/L en el tratamiento CPSB, mientras que el tratamiento CPCB en el primer día se redujo hasta 1.42 mg/L y en los siguientes días del periodo de observación el contenido de oxígeno disuelto oscilo entre 1.42 a 2.53 mg/L y luego se incrementa en el noveno día con valores de 4.81 mg/L.

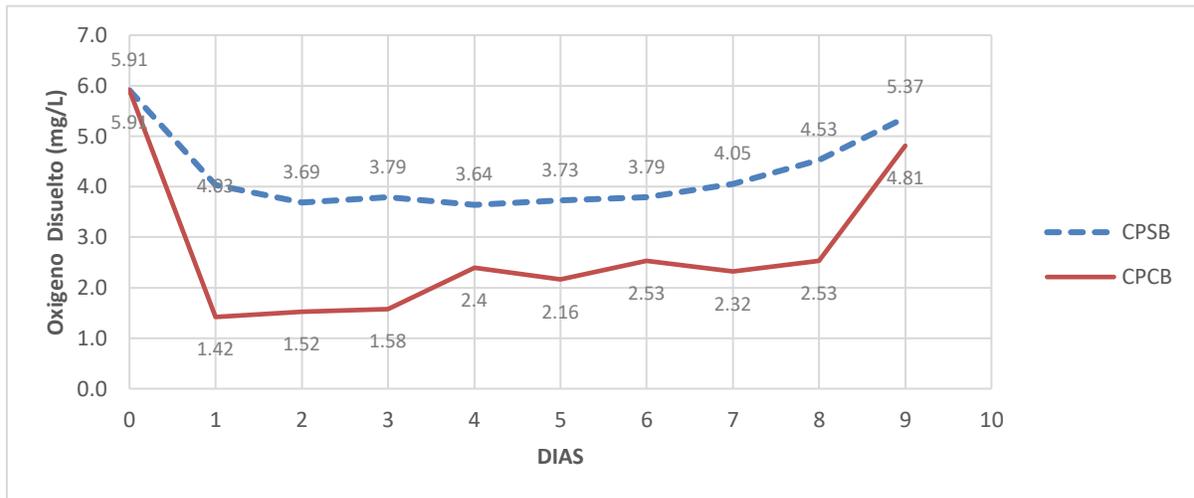


Figura 6 Promedio de contenido de oxígeno disuelto (mg/l) utilizando *Eichhornia crassipes* con tratamientos CPSB y CPCB.

Prácticamente en este tratamiento influyeron los procesos de oxigenación de un cuerpo de agua, como la re-aeración superficial ejercida por el aire acondicionado y la fotosíntesis ejercida por las plantas macrófitas.

Según Saavedra, un factor clave en la oxigenación por medio del sistema radicular es la degradación de la materia orgánica en las muestras de agua se lleva a cabo gracias a la simbiosis que existen entre las bacterias heterótrofas del medio aerobio y el sistema radicular de las plantas, lo cual generó una disminución en el porcentaje de oxígeno desde el primer día. (Saavedra, 2017)

No obstante, el tratamiento presentó un declive en la concentración de oxígeno en el día 1 (1.41 mg/L), esto se debe al consumo de oxígeno que ejercen las plantas en el recipiente, lo que termina en un considerable aumento gradual hasta el día 9 (4.81 mg/L), en otros casos la concentración de oxígeno continuó disminuyendo, de cierto modo esto puede estar ligado al tamaño del sistema radicular esto se debate, ya que el crecimiento del sistema radicular es un factor que no se tomó en cuenta.

5.1.2. Transferencia de OD en los tratamientos CPCB y CPSB con Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*)

Utilizando el tratamiento con las plantas utilizando la planta de Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), este presentó las concentraciones de 1.68 a 4.35 mg/L OD, el cual obtuvo una transferencia superior comparada al tratamiento previo con barrera en el cual se observó valores de 1.01 a 1.60 mg/L de oxígeno disuelto. Cabe destacar el descenso del primer día que se tomó la muestra inicia mostrando concentraciones del 32% hasta 76%. (Medina, 2021)

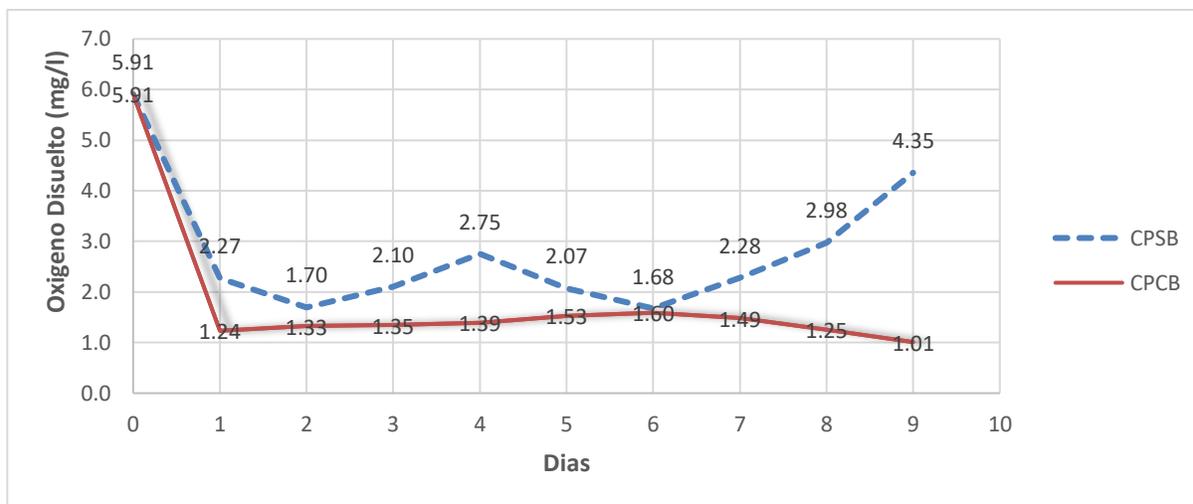


Figura 2 Promedio de contenido de oxígeno disuelto (mg/l) utilizando *Pistia stratiotes* con tratamientos CPCB y CPSB.

Se realizó análisis de varianza en los resultados de concentración de OD en las aguas residuales en el periodo de observación, arrojando que las plantas de Jacinto presentan una diferencia significativa mayor ($p < 0.05$) contra los valores presentados por la Lechuga de agua. Dando que la planta Jacinto de agua dio valores de 2.60 a 5.08 mg/L, mientras que la Lechuga arrojó valores más bajos en la concentración de oxígeno disuelto de 1.51 a 2.75 mg/L. Ver cuadro 2. (Medina, 2021)

R ajustado de 0.78

Cuadro 2 . Valores medios de oxígeno disuelto en aguas residuales de origen acuícola conteniendo plantas macrófitas durante nueve días a nivel de laboratorio

| Especie | DIAS | | | | | | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Jacinto | 2.73b | 2.60b | 2.69b | 3.02b | 2.94b | 3.16b | 3.19b | 3.53b | 5.08b |
| Lechuga | 2.75a | 1.51a | 1.72a | 2.07a | 1.8a | 1.64a | 1.88a | 2.12a | 2.68a |

Si posee similitud en las letras refiere a que no posee diferencia significativa al $P > 0.05$.

El tratamiento Sin Barrera determino una diferencia significativa ($P < 0.05$) durante todo el periodo de observación, exceptuando el sexto día donde no hubo diferencia. Este tratamiento presento de 2.7mg/L a 4.85 mg/L de oxígeno disuelto OD, siendo este superior al tratamiento Con Barrera dando valores de 1.33 mg/L a 2.91 mg/L OD (ver tabla 2).

Reddy *et al.* 1989 dio a conocer en algunos estudios de aguas residuales de origen doméstico provenientes de efluentes primarios mostro que luego de un periodo de ocho días valores de 1.1 mg/L OD (en el tratamiento Con Barrera) y 2 mg/L OD (en el tratamiento Sin Barrera) en la utilización de plantas de Lechugas, igualmente para las plantas de Jacinto se reportaron valores de 3.4 mg/L OD (en el tratamiento Con Barrera) y 4.9 mg/L OD (en el tratamiento Sin Barrera). En base a los datos obtenidos se confirma que el tratamiento Sin Barrera presento concentraciones mayores de OD. Ver cuadro 3.

Cuadro 3 Valores medios de oxígeno disuelto con muestras de aguas residuales procedentes de la granja de peces UNA, empleando los tratamientos Con Barrera y Sin Barrera.

| Tratamiento | DIAS | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Plantas SB | 3.15b | 2.7b | 2.95b | 3.20b | 2.9b | 2.73a | 3.16b | 3.75b | 4.85b |
| Plantas CB | 1.33a | 1.42a | 1.46a | 1.89a | 1.85a | 2.06a | 1.9a | 1.89a | 2.91a |

CB: Con Barrera, SB: Sin Barrera. Media con similar letra en los tratamientos no son significativo $P > 0.05$.

Se observó que la velocidad en la transferencia de Oxígeno Disuelto, las plantas de Jacinto en los tratamientos CPSB y CPSB tuvieron valores de 0.46 mg/L y 0.45 mg/L de O₂ por día, demostrando que no hubo una tendencia perceptible en las concentraciones de OD y por lo cual no se estableció un coeficiente para transferencia de OD en el agua residual en el periodo que fueron observado. Estos datos están por debajo a lo reportado por Domínguez, A. 2003, en la cual obtuvo en tres experimentos velocidades de transporte de 6.6, 7.3 y 5.2 mg/L de O₂ por día con la planta de Jacinto en un periodo de observación de nueve días. Ver cuadro 4.

Cuadro 4. Concentraciones de oxígeno disuelto transferido hacia las muestras de agua residual procedente de la granja acuícola UNA empleando el Jacinto de agua.

| O₂ Transportado = DBO₅ (Inicial-Final) + OD (final-Inicial))/9 días | | | | | |
|--|------------------------|--------------|----------------|--------------|-----------------------------------|
| Tratamiento | DBO₅ | | OD | | O₂ Transportado |
| | Inicial | Final | Inicial | Final | |
| CPSB | 21.4 mg/L | 17.06mg/L | 5.63mg/L | 5.91mg/L | 0.45 mg/L por día |
| CPCB | 21.4mg/L | 17.4mg/L | 6.03mg/L | 5.91mg/L | 0.46mg/L por día |

SPSB: Sin Planta Sin Barrera; **SPCB:** Sin Planta Con Barrera; **DBO₅:** Demanda Bioquímica de

Oxígeno **OD:** Oxígeno Disuelto

Con relación a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), en aguas residuales tratadas con la planta de Jacinto en el tratamiento CPSB, presentó al inicio del experimento un valor de 21.4 mg/L y al final del periodo redujo hasta 17.0 mg/L, para una remoción del 20.60%, mientras CB el porcentaje de remoción fue de 18.69 % muy por debajo a lo reportado por Reddy *et al.* (1989) en un estudio de sistema tratamiento de agua domiciliar de un efluente primario con una DBO₅ inicial 112.2 mg/L, utilizando Jacinto, removió el 73.9 % DBO₅ Con Barrera y Sin Barrera 79.8 %. Por otro lado, se confirma en nuestro estudio que el tratamiento Sin Barrera es la que presenta mayor remoción de la DBO₅. Ver Cuadro 5. (Medina, 2021)

Cuadro 5. Porcentaje de remoción de DBO5 en aguas residuales procedentes de la granja de peces UNA utilizando el tratamiento de Jacinto CPSB y CPCB.

| Experimento | Tratamiento | DBO5 (mg/l) | | Diferencia | % Remocion |
|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|
| | | Inicial | Final | | |
| 1 | CPSB | 21.4 mg/L | 17.06mg/L | 4.40mg/L | 20.28 % |
| 1 | CPCB | 21.4mg/L | 17.4mg/L | 4mg/L | 18.69 % |

DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno

En el tratamiento Sin Planta Sin Barrera en tres experimentos mostró remoción de 73, 33 y 85 % DBO5 en aguas residuales de origen acuícola en un periodo de nueve días, mientras el Sin Planta Con Barrera remueve el 42 %. Estos resultados indica que el tratamiento SPSB están contribuyendo la respiración de los microorganismos y su interacción con el ambiente. El tratamiento SPCB presenta los menores porcentaje de remoción de DBO5 ejercida por las actividades de las bacterias anaeróbicas. Cuadro 5. (Medina, 2021)

Cuadro 6. Porcentaje de remoción de DBO5 en los tratamientos SPSB y SPCB.

| Experimento | Tratamiento | DBO5 (mg/L) | | Diferencia | % Remoción |
|-----------------|-------------|-------------|-----------|--------------|---------------|
| | | Inicial | Final | | |
| 1 | SPSB | 26.27mg/L | 7.08mg/L | 19.19mg/L | 73 |
| 2 | SPSB | 11.83mg/L | 7.93mg/L | 3.9mg/L | 33 |
| 3 | SPSB | 21.4mg/L | 4.03mg/L | 17.37mg/L | 81 |
| Promedio | | | | | 63.33% |
| 1 | SPCB | 26.27mg/L | 15.29mg/L | 10.98mg/L | 42 |
| 2 | SPCB | 11.83mg/L | 16.1mg/L | 4.27 (-)mg/L | Sin remoción |
| 3 | SPCB | 21.4mg/L | 12.4mg/L | 9mg/L | 42 |
| Promedio | | | | | 42.00% |

SPSB: Sin Planta Sin Barrera; **SPCB:** Sin Planta Con Barrera; **DBO5:** Demanda Bioquímica de Oxígeno

Con relación a la biomasa seca la planta de Jacinto mostró mayor promedio de peso total seco (6.06 g.) que Lechuga de agua (3.20 gr.). La relación biomasa seca aérea - raíz (T/R), la planta de Jacinto presentó un valor promedio de 0.62 gr lo que indica mayor peso de biomasa de la raíz comparada con biomasa aérea. Por el contrario, la planta de Lechuga presenta mayor biomasa aérea con relación a la raíz con un valor

medio de (T/R) de 5.04 gr. Cuadro 6. Reddy *et al.* (1989) encontró menores pesos con un total promedio de (0.71 gr.) y mayor relación biomasa T/R (4.42gr) para Jacinto, similar comportamiento presenta las Lechugas con peso total de (1.49 gr.) y relación de T/R (6.40gr). En el cuadro 6, se observa la mayor concentración de OD en planta de Jacinto con mayor peso de la biomasa total. Moorhead y Reddy (1988) reporta que en planta de Jacinto existe alta correlación entre la biomasa de la raíz y oxígeno transportado, entre más pequeña es la biomasa de raíz mayor transporte de O₂ del tejido aéreo hacia la rizosfera. (Medina, 2021)

Cuadro 6. Biomasa seca de plantas macrófitas y contenido de oxígeno disuelto

| Macrófitas | Biomasa Seca (gr.) | | | Relación T/R | OD mg/L | T/R. |
|-----------------|--------------------|---------------|-----------------|---------------|-------------|------|
| | Raíz (gr) | Tallo (gr) | Peso Total (gr) | | | |
| Jacinto SB | 4.85gr | 2.23gr | 7.08gr | 0.46 gr | 3.63 - 5.34 | |
| Jacinto CB | 2.62gr | 2.41gr | 5.03gr | 0.92 gr | 1.42 - 4.35 | |
| Promedio | 3.74gr | 2.32gr | 6.06gr | | | |
| 0.62 gr | | | | | | |
| Lechuga SB | 0.61 | 2.40 | 3.01gr | 3.93gr | 1.7 - 4.81 | |
| Lechuga CB | 0.44 | 2.94 | 3.38gr | 6.68gr | 1.01 - 1.60 | |
| Promedio | 0.53gr | 2.67gr | 3.20gr | 5.04gr | | |

Relación tallo/raíz, OD: Oxígeno Disuelto

VI. CONCLUSIONES

“Existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre especies de plantas acuáticas y tratamientos Sin Barrera y Con Barrera en cuanto a la concentración de OD en aguas residuales en el periodo de nueve días de observación.” (Medina, 2021)

“La planta de Jacinto registra el mayor contenido de OD (3.64 a 5.37 mg/L) con referencia a Lechuga de agua (1.51 a 2.75 mg/L), asimismo el tratamiento plantas Sin Barrera, registró mayores concentraciones de OD (2.7 a 4.85 mg/L), comparado Con Barrera (1.33 a 2.91 mg/L).” (Medina, 2021)

Jacinto reporta transferencia del OD en aguas residuales de 0.45 y 0.46 mg/L O₂ por día, Con Barrera y Sin Barrera respectivamente, por lo tanto, no muestra un coeficiente de transferencia de OD muy significativo.

Los tratamientos con muestras vegetales de Jacinto presentaron mayores concentraciones de OD con mayor eficiencia en ambos tratamientos.

Con relación a la remoción de la DBO₅ en aguas residuales de origen acuícola con planta de Jacinto Sin Barrera, presenta una remoción del 20.60%, mientras Con Barrera fue de 18.69 %., esto indica que la capacidad de remoción es mayor utilizando muestras vegetales con interacción directa con el ambiente (CPSB).

“La remoción de la DBO₅ en aguas residuales con tratamiento Sin Planta Sin Barrera (condiciones aeróbicas) fue del 62 %, mientras en condiciones anaeróbica (Sin Planta Con Barrera) obtuvo un valor de 42 % en un periodo de observación de nueve días. (Medina, 2021)

La relación biomasa seca aérea - raíz (T/R), la planta de Jacinto presentó un valor promedio de 0.62 lo que indica mayor peso de biomasa de la raíz comparada con

biomasa aérea, asimismo en contenido OD de 3.63 a 5.34 mg/l. Por el contrario, la planta de Lechuga presenta mayor biomasa aérea con relación a la raíz con un valor medio de (T/R) de 5.04. La planta de Jacinto mostró mayor peso total de biomasa seca de 6.06 gr. y concentración OD de 1.42 a 5.34 mg/L en aguas residuales en comparación con Lechuga de agua con un peso total de su biomasa de 3.20 gr. y OD de 1.01 a 4.81 mg/L. (Medina, 2021)

La utilización de macrófitas en procesos de remoción de materia y transferencia de oxígeno disuelto indica que una posible alternativa debido al grado de eficiencia que posee, de igual forma por su capacidad de adaptación en los cuerpos de agua siendo eficientemente funcional en mejorar la calidad dl agua.

VII. RECOMENDACIONES

Realizar un proceso de Fito saneamiento de las muestras vegetales luego de haber sido extraídas de su medio natural, esto para poder reproducir plantas sanas.

Crear condiciones de adaptación previa de las plantas macrófitas en el sitio donde se realizará futuro trabajo de investigación.

Utilizar muestra vegetal de edad y tamaño homogéneo para garantizar resultados confiables.

Crear comparaciones de longitudes de raíz para evaluar la capacidad de transferencia de oxígeno, realizar un estudio.

Continuar realizando evaluaciones de plantas macrófitas flotantes para el mejoramiento de la calidad de aguas residuales.

XIII. LITERATURA CITADA

- Beascochea, E. d., Muñoz, J. d., & Fernández de la Mora, M. D. (2020). *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- California Water Boards. (2013). Obtenido de State water resources control board: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf
- Celis Hidalgo, J., Junod Montano, J., & Sandoval Estrada, M. (25 de 06 de 2020). *Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas*. Obtenido de Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2990010>
- CENADAC. (8 de Octubre de 2019). *Centro Nacional de Desarrollo Acuícola*. Obtenido de CHIL.ORG : <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>
- CEPIS . (2002). *Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América latina*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Cortés, N. M. (15 de 06 de 2019). *Instituto Tecnológico de Costa Rica*. Obtenido de Slideshare Web site: <http://es.slideshare.net/mobile/bquiroz9/informe-de-dbo>
- Dominguez, A. (2003). Transporte de Oxígeno a través de Plantas Macrofitas Acuáticas. *Scientia et Technica* N° 21, 160-162.
- Dray, A., & Center, E. (2002). *Waterlettuce. In: Biological Control of Invasive Plants in the Eastern United States* (Vol. 5). United States of America: USDA Forest Service Publication FHTET2002-04.
- EPA. (1988). Design manual: Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment. United States of America: US EPA. Retrieved from <http://yosemite.epa.gov/water/owrcatalog.nsf>

- Glynn, J. &. (1999). *Ingeniería ambiental (Segunda edición.)*. Mexico: México: PRENTICE HALL.
- Goyenola, G. (17 de 08 de 2019). *Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos*. Obtenido de <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/>
- Hernandez Puerta, N., & Luna Galvis, J. (2016). *Prueba piloto para la evaluación de la eficiencia de las plantas fitorremediadoras del humedal "Las Tinguas" en el tratamiento de las aguas residuales domésticas*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2020, de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/347
- Martelo, J., & Borrero, L. (2012). *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte*. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT.
- Martín García, I. C., Peñate Suárez, B. I., Salas Rodríguez, J. C., Pidre Borcardo, J. C., & Bentacort Rodríguez, J. I. (2006). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población*. Instituto Tecnológico Canarias S.A.
- Martínez, M. A. (25 de Agosto de 2020). *Red de mujeres para el desarrollo*. Obtenido de https://redmujeres.org/wp-content/uploads/2019/01/manejo_cultivo_tilapia.pdf
- Medina, C. T. (2021). *Transporte de oxígeno por plantas macrófitas en aguas residuales de origen acuícola*. *La Calera*, 21(36), 1-5. doi: <https://doi.org/10.5377/calera.v21i36.11235>
- Metcalf, A., & Eddy, E. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. España: Madrid McGraw-Hill, Interamericana de España 1995.
- Ministerio del ambiente. (18 de 6 de 2019). *Mesa de Partes, Orientación a la Ciudadanía, Biblioteca Ambiental - CENDOC*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/2017/09/01/octava-edicion-del-curso-virtual-de-tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas-y-municipalidades-para-su-reuso/>
- Novotny, V. (1999). Integrated water quality management. En *Water Science and Technology* (págs. 1-7). Milwaukee, United States of America: Department of Civil

and Environmental Engineering. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00206-5](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00206-5)

Núñez López, R., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R., & Olgún, E. (06 de 09 de 2020). *Dirección general de bibliotecas y servicios digitales de información - UNAM*. Obtenido de Bibliografía latinoamericana en revistas de investigación científica y social:

http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf

OEFA. (15 de 9 de 2020). *Organismo de evaluación y fiscalización ambiental*. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

OHAUS. (18 de Enero de 2018). *OHAUS Corporation*. Obtenido de <http://europe.ohaus.com/europe/en/home/support/weee.aspx>.

Peralta Dimas, M. (2000). *Análisis del fitoplancton en lagunas secundarias de tratamiento de aguas residuales "El cocal" – León*. Nicaragua: Universidad Nacional de Nicaragua UNAN-Leon.

REDDY K.R., W. P. (1989). REDDY K.R., W. Patrick Jr y C.W. Lindau. *Limnol. Oceanogr* 34, 1004-1013.

Saavedra, B. (2017). *Aplicación de macrófitas en flotación como ayuda en el tratamiento de aguas residuales en la laguna UDEP*. Piura, Perú: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas.

Velásquez, J. (1994). *Plantas acuáticas vasculares de Venezuela*. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.

Vizcaíno Mendoza, L., & Fuentes Molina, N. (2016). Efectos de *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 189–198. Obtenido de <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.225>

Von Sperlling, M. (9 de 8 de 2020). *London: IWA Publishing*. Obtenido de Wastewater characteristics, treatment and disposal:

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SPERLING%202007%20Wastewater%20Characteristics,%20Treatment%20and%20Disposal.pdf

Zimmels, Y., Kirzhner, F., & Malkovskaja, A. (2006). Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. *Israel: Journal of Environmental Management*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.11.014>.

IX. Anexos

Anexo I. Leclura con el Oxímetro ST ARTER 3000 de oxígeno disuelto durante 9 días con individuos de *Pistia Stratiotes*.

| rrrat. REP. | | DIAS | | | | | | | | | |
|----------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | |
| CPSB | 1 | 5.91 | 1,48 | 1,55 | 1,49 | 1,17 | 1,30 | 1,59 | 1,01 | 1,7 | |
| CPSB | 11 | 5.91 | 1,60 | 1,51 | 1,60 | 1,99 | 1,81 | 1,69 | 3,22 | 3,2 | |
| CPSB | 111 | 5.91 | 3,86 | 1,92 | 2,93 | 3,43 | 1,95 | 1,28 | 1,3 | 6,07 | |
| CPSB | IV | 5.91 | 2,13 | 1,81 | 2,4 | 4,41 | 3,22 | 2,14 | 3,58 | 6,44 | |
| Promedio | | 5.91 | 2,27 | 1,7 | 2,1 | 2,75 | 2,07 | 1,68 | | | |
| CPCB | 1 | 5.91 | 1,2 | 1,59 | 1,51 | 1,57 | 2,11 | 2,18 | 2,2 | 1,5 | 0,90 |
| CPCB | 11 | 5.91 | 1,16 | 1,34 | 1,35 | 1,36 | 1, | 1,32 | 0,9 | 1 | 0,49 |
| CPCB | 111 | 5.91 | 1,29 | 1,01 | 1,3 | 1,4 | 1, | 1, | 1,1 | 1,0 | 0,60 |
| CPCB | IV | 5.91 | 1,3 | 1,37 | 1,22 | 1,24 | 1, | 1,28 | 1,6 | 1,3 | 2,05 |
| Promedio | | 5.91 | 1,24 | 1,33 | 1,35 | 1,39 | 1,53 | 1,60 | 1,4 | 1,2 | 1,01 |
| SPCB | 1 | 5.91 | 7,92 | 6,6 | 6,84 | 5,65 | 5,61 | 5,39 | 4,8 | 4,6 | 5,12 |
| SPCB | 11 | 5.91 | 8,37 | 6,83 | 5,7 | 4,75 | 4,5 | 5,06 | 4,1 | 4,0 | 4,86 |
| SPCB | 111 | 5.91 | 8,18 | 6,24 | 5,96 | 4,85 | 4,9 | 4,93 | 3,8 | 3,7 | 5,23 |
| SPCB | IV | 5.91 | 8,01 | 6,45 | 3,31 | 4,18 | 4 | 4,57 | 4,2 | 4,0 | 5,06 |
| Promedio | | 5.91 | 8,12 | 6,53 | 5,45 | 4,86 | 4,75 | 4,90 | | | |
| SPSB | 1 | 5.91 | 7,39 | 6,68 | 6,2 | 7,4 | 7,2 | 6,58 | 4,3 | 7, | 7,82 |
| SPSB | 11 | 5.91 | 8,08 | 6,92 | 7,5 | 7,42 | 7,32 | 6,75 | 5,2 | 6,6 | 7,35 |
| SPSB | 111 | 5.91 | 7,5 | 6,7 | 7,3 | 7,13 | 7,3 | 7,25 | 6,6 | 6,7 | 8,05 |
| SPSB | IV | 5.91 | 7,82 | 6,97 | 6,1 | 6,01 | 6,97 | 6,35 | 6,4 | 7,0 | 9,03 |
| Promedio | | 5.91 | 7,70 | 6,82 | 6,78 | 6,99 | 7,20 | 6,73 | | | |

Anexo 2. Lectura con el Oxímetro STARTER 3000 de oxígeno disuelto durante 9 días con individuos de *Eichhornia Crassipes*.

| Trat. REP. | Días | DIAS | | | | | | | | | |
|------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| CPSB | 1 | 5.91 | 4,51 | 4,43 | 4,57 | 4,31 | 4,71 | 4,82 | 5,49 | 5,30 | 5,8 |
| CPSB | 11 | 5.91 | 3,62 | 3,40 | 3,48 | 3,39 | 3,22 | 3,47 | 3,58 | 4,89 | 7,4 |
| CPSB | 111 | 5.91 | 3,98 | 3,19 | 3,24 | 3,22 | 3,17 | 3,11 | 3,09 | 3,72 | 2,9 |
| CPSB | IV | 5.91 | 4,02 | 3,75 | 3,89 | 3,65 | 3,80 | 3,77 | 4,03 | 4,19 | 5,38 |
| | Promedio | 5.91 | 4,02 | 3,69 | 3,8 | 3,64 | 3,73 | 3,79 | 4,05 | 4,53 | 5,17 |
| CPCB | 1 | 5.91 | 1,2 | 1,13 | 1,65 | 1,37 | 1,43 | 1,39 | 1,43 | 2,09 | 3,72 |
| CPCB | 11 | 5.91 | 1,13 | 1,15 | 1,02 | 2,63 | 1,8 | 1,65 | 1,7 | 2,14 | 4,35 |
| CPCB | 111 | 5.91 | 1,65 | 1,57 | 1,49 | 2,4 | 2,1 | 1,96 | 2,15 | 2,29 | 3,96 |
| CPCB | IV | 5.91 | 1,69 | 2,21 | 2,16 | 3,18 | 3,32 | 5,1 | 4,01 | 3,61 | 7,21 |
| | Promedio | 5.91 | 1,42 | 1,52 | 1,58 | 2,40 | 2,16 | 2,53 | 2,32 | 2,53 | 4,81 |
| SPCB | 1 | 5.91 | 7,92 | 6,6 | 6,84 | 5,65 | 5,61 | 5,39 | 4,85 | 4,65 | 5,12 |
| SPCB | 11 | 5.91 | 8,37 | 6,83 | 5,7 | 4,75 | 4,5 | 5,06 | 4,18 | 4,01 | 4,86 |
| SPCB | 111 | 5.91 | 8,18 | 6,24 | 5,96 | 4,85 | 4,9 | 4,93 | 3,83 | 3,72 | 5,23 |
| SPCB | IV | 5.91 | 8,01 | 6,45 | 3,31 | 4,18 | 4 | 4,57 | 4,2 | 4,01 | 5,06 |
| | Promedio | 5.91 | 8,12 | 6,53 | 5,45 | 4,86 | 4,75 | 4,99 | 4,27 | 4,10 | 5,07 |
| SPSB | 1 | 5.91 | 7,39 | 6,68 | 6,2 | 7,4 | 7,2 | 6,58 | 4,35 | 7,5 | 7,82 |
| SPSB | 11 | 5.91 | 8,08 | 6,92 | 7,5 | 7,42 | 7,32 | 6,75 | 5,26 | 6,64 | 7,35 |
| SPSB | 111 | 5.91 | 7,5 | 6,7 | 7,3 | 7,13 | 7,3 | 7,25 | 6,62 | 6,73 | 8,05 |
| SPSB | IV | 5.91 | 7,82 | 6,97 | 6,1 | 6,01 | 6,97 | 6,35 | 6,49 | 7,01 | 9,03 |
| | Promedio | 5.91 | 7,70 | 6,82 | 6,78 | 6,99 | 7,20 | 6,73 | 5,68 | 6,97 | 8,06 |

Anexo 3. Resultado de análisis de varianza con el software InfoStat durante 9 días con los tratamientos de *Eichhornia Crassipes* y *Pistia Stratiotes*.

Dias Variable N R' R' Aj cv
 DI OD 16 0,82 0,78 26,72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| | F. | se | gl | CM | F | p-valor |
|---------------|------|----|--------|------|-------|---------|
| Especie | 3,78 | 1 | 3,78 | 10,5 | 0,000 | |
| Trat. Especie | 2,51 | 1 | 2,51 | 7,02 | 0,000 | |
| Error | 4,29 | 12 | 0,3578 | | | |
| Total | 23,8 | 15 | | | | |

Test: Tukey Alia=0,05 DMS=0,65168

Error: 0,3578 gl: 12

Especie Medias n E.E.

Lechuga 1,75 8 0,21 A

Jacinto 2,73 8 0,21 B

Mediils con w,_,;i letra común no son significiltivdmente diferentes (p > 0,05)

Test: Tukey Alia=0,05 DMS=0,65168

Error: 0,3578 gl: 12

Trat. Medias n E.E.

CPCB 1,33 8 0,21 A

CPSB 3,15 8 0,21 B

Mediils con un; letril común no son significiltivdmente difel:entes (p > 0,05)

Test: Tukey Alia=0,05 DMS=1,25582

Error: 0,3578 gl: 12

Especie Trat. Medias n E.E.

Lechuga 1,24 4 0,30 A

CPCB 1,42 4 0,30 A

Jacinto 2,27 4 0,30 A

CPCB 4,03 4 0,30 B

Lechuga

CPSB

Jacinto

CPSB

Mediils con w,_,;i letra común no son significiltivdmente difel:entes (p > 0,05)

Días Variable N R' R' Aj cv
 D2 OD 16 0,88 0,85 19,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | se | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo | 14,52 | 3 | 4,84 | 29,8 | <0,000 |
| Especie | 4,76 | 1 | 4,76 | 29,4 | 0,000 |
| Trat | 6,49 | 1 | 6,49 | 40,0 | <0,000 |
| Especie*Trat | 3,27 | 1 | 3,27 | 20,1 | 0,000 |
| Error | 1,94 | 12 | 0,16 | | |
| Total | 16,4 | 15 | | | |

Test:Tukey Al:fa=0,05 DMS=0,43842

Error: 0,1620 gl: 12

Especie Medias n E.E.

Lechuga 1,51 8 0,14 A

Jacinto 2,60 8 0,14 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Al:fa=0,05 DMS=0,43842

Error: 0,1620 gl: 12

Trat. Medias n E.E.

CPCB 1,42 8 0,14 A

CPSB 2,70 8 0,14 B

Test:Tukey Al:fa=0,05 DMS=0,84486

Error: 0,1620 gl: 12

Especie Trat. Medias n E.E.

Lechuga CPCB 1,33 4 0,20 A

Jacinto CPCB 1,52 4 0,20 A

Lechuga CPSB 1,70 4 0,20 A

Jacinto CPSB 3,69 4 0,20 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Días Variable N R² R² Aj cv
 D3 OD 16 0,82 0,78 23,14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V | sc | gl | C | F | p-valor |
|---------------|-------|----|------|-------|---------|
| Especie | 14,67 | 2 | 3,71 | 14,23 | 0,0021 |
| Trat. | 8,85 | 1 | 8,85 | 33,96 | 0,000 |
| Especie*Trat. | 2,12 | 1 | 2,12 | 8,13 | 0,014 |
| Error | 3,13 | 12 | 0,26 | | |
| Total | 17,80 | 15 | | | |

Test: Tukey Alia=0,05 DMS=0,55609

Error: 0,2606 gl: 12

Especie Medias n E.E.

Lechuga 1,72 8 0,18 A

Jacinto 2,69 8 0,18 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alia=0,05 DMS=0,55609

Error: 0,2606 gl: 12

Trat. Medias n E.E.

CPCB 1,46 8 0,18 A

CPSB 2,95 8 0,18 B

Test: Tukey Alia=0,05 DMS=1,07160

Error: 0,2606 gl: 12

Especie Trat. Medías n E.E.

Lechuga CPCB 1,35 4 0,26 A

Jacinto CPCB 1,58 4 0,26 A

Lechuga CPSB 2,10 4 0,26 A

Jacinto CPSB 3,80 4 0,26 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Dias Variable N R' R' Aj cv
 D4 OD 16 0,54 0,43 33,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| r.v. | se | gl | CM | r | p-valor |
|---------------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo | 10,39 | 3 | 3,46 | 4,75 | 0,0209 |
| Especie | 3,59 | 1 | 3,59 | 4,92 | 0,0466 |
| Trat. | 6,79 | 1 | 6,79 | 9,30 | 0,0101 |
| Especie*Trat. | 0,01 | 1 | 0,01 | 0,02 | 0,8997 |
| Error | 8,76 | 12 | 0,73 | | |
| Total | 19,15 | 15 | | | |

Test: Tukey Alia=0,05 DMS=0,93068

Error: 0,7298 gl: 12

Especie Medias n E.E.

Lechuga 2,07 8 0,30 A

Jacinto 3,02 8 0,30 B

Medias con w, letr. común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: Tukey Alia=0,05 DMS=0,93068

Error: 0,7298 gl: 12

Trat. Medias n E.E.

CPCB 1,89 8 0,30 A

CPSB 3,20 8 0,30 B

Medias con w, letr. común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: Tukey Alia=0,05 DMS=1,79305

Error: 0,7298 gl: 12

Especie Trat. Medias n E.E.

Lechuga CPCB 1,39 4 0,43 A

Jacinto CPCB 2,40 4 0,43 A

B Lechuga CPSB 2,75 4 0,43

A B Jacinto CPSB 3,64 4

0,43 B

Medias con w, letr. común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Días Variable N Rt Rt Aj cv
 D5 OD 16 0,64 0,55 29,94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V | se | gl | C | F | p-valor |
|---------------|-------|----|------|-------|---------|
| Especie | 10,72 | 2 | 5,24 | 10,41 | 0,0054 |
| Trat. | 4,43 | 1 | 4,43 | 8,79 | 0,011 |
| Especie*Trat. | 1,04 | 1 | 1,04 | 2,06 | 0,1763 |
| Error | 6,05 | 12 | 0,50 | | |
| Total | 16,76 | 15 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,77334

E.e.ro.e.: 0,5039 gl: 12

Especie Medias n E.E.

Lechug 1,80 8 0,25 A

a 2,94 8 0,25 B

Jacinto

Medias con una letra coaún no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,77334

E.e.ro.e.: 0,5039 gl: 12

Trat. Medias n E.E.

CPCB 1,85 8 0,25 A

CPSB 2,90 8 0,25 B

Medias con una letra coaún no son significativamente diferentes., ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,49026

E.e.ro.e.: 0,5039 gl: 12

Especie Trat. Medias n E.E.

Lechuga CPCB 1,53 4 0,35 A

Lechuga CPSB 2,07 4 0,35 A

Jacinto CPCB 2,16 4 0,35 A

Jacinto CPSB 3,73 4 0,35 B

Medias con una letra coaún no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Días Variable N R² R² Aj cv
 D6 OD 16 0,52 0,40 40,89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V | se | gl | C | F | p-valor |
|------------------------|---------------|----|--------------|--------------|---------|
| Especie | 12,51 9,29 | 1 | 9,29 | 9,67 | 0,0079 |
| Trat. Especie*Trat. | 1,82 1,41 | 1 | 1,82 1,41 | 1,89 1,47 | 0,249 |
| Error | 11,53 | 12 | 0,96 | | |
| Total | 24,04 | 15 | | | |

Test: Tukey Alia=0,05 DMS=1,06770

E.e.ro.e.: 0,9605 gl.: 12

Especie Medias n E.E.

Lechuga 1,64 8 0,35 A

Jacinto 3,16 8 0,35 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: Tukey Alia=0,05 DMS=1,06770

E.e.ro.e.: 0,9605 gl.: 12

Trat. Medias n E.E.

CPCB 2,06 8 0,35 A

CPSB 2,73 8 0,35 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: Tukey Alia=0,05 DMS=2,05750

E.e.ro.e.: 0,9605 gl.: 12

Especie Trat. Medias n E.E.

Lechuga CPCB 1,60 4 0,49 A

Lechuga CPSB 1,68 4 0,49 A

Jacinto CPCB 2,53 4 0,49 A

B Jacinto CPSB 3,79 4 0,49 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Días Variable N R² R² Ajustado cv
 07 OD 16 0,51 0,39 41,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | se | gl | CM | F | p-valor |
|---------------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo | 14,01 | 3 | 4,67 | 4,20 | 0,0301 |
| Especie | 6,80 | 1 | 6,80 | 6,11 | 0,0294 |
| Trat. | 6,34 | 1 | 6,34 | 5,70 | 0,0343 |
| Especie*Trat. | 0,87 | 1 | 0,87 | 0,78 | 0,3939 |
| Error | 13,35 | 12 | 1,11 | | |
| Total | 27,35 | 15 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,14887

Error: 1,1121 gl: 12
 Especie Medias n E.E.

Lechuga 1,88 8 0,37 A
 a 3,19 8 0,37 B
 Jacinto

Medias con W's letras común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,14887

Error: 1,1121 gl: 12
 Trat. Medias n E.E. CPCB

1,90 8 0,37 A CPSB
 3,16 8 0,37 B

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,21392

Error: 1,1121 gl: 12
 Especie Trat. Medias n E.E.

Lechuga CPCB 1,49 4 0,53 A
 Lechuga CPSB 2,28 4 0,53 A
 B Jacinto CPCB 2,32 4 0,53 A
 B Jacinto CPSB 4,05 4 0,53

B
Medias con W's letras común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Dias Variable N R' R' Aj cv
 D8 OD 16 0,76 0,70 27,10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| r.v. | se | gl | CM | F | p-valor |
|---------------|-------|----|-------|-------|---------|
| Modelo | 21,89 | 3 | 7,30 | 12,48 | 0,0005 |
| Especie | 7,99 | 1 | 7,99 | 13,67 | 0,0030 |
| Trat. | 13,82 | 1 | 13,82 | 23,63 | 0,0004 |
| Especie*Trat. | 0,07 | 1 | 0,07 | 0,12 | 0,7325 |
| Error | 7,02 | 12 | 0,58 | | |
| Total | 28,90 | 15 | | | |

Test: Tukey Al:fa=0,05 DMS=0,83304

Er.r.o.r.: 0,5847 gl: 12

Especie Medias n E.E.

Lechuga 2,12 8 0,27 A

Jacinto 3,53 8 0,27 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Al:fa=0,05 DMS=0,83304

Er.r.o.r.: 0,5847 gl: 12

Trat. Medias n E.E. CPCB

1,89 8 0,27 A CPSB 3,75

8 0,27 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Al:fa=0,05 DMS=1,60530

Er.r.o.r.: 0,5847 gl: 12

Especie Trat. Medias n E.E.

Lechuga CPCB 1,25 4 0,38 A

Jacinto CPCB 2,53 4 0,38 A B

Lechuga CPSB 2,98 4 0,38 B e

Jacinto CPSB 1,53 4 0,38 e

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)