



# MONOGRAFÍA DE BIOLOGÍA NM

*Convocatoria: Noviembre 2018*

---

Fitorremediación de aguas residuales domésticas con las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Dracaena braunii*.

¿En qué medida se diferencia la actividad fitorremediadora de las plantas *Eichhornia crassipes* y *Dracaena braunii* sobre las aguas residuales domésticas?

*N.º de palabras: 3598*

*Chiclayo, Perú*

## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	5
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. El agua .....</b>	<b>7</b>
1.1.1. Importancia del agua como recurso.....	7
1.1.2. Contaminación del agua .....	8
1.1.3. pH.....	8
1.1.4. Oxígeno disuelto .....	9
1.2. Aguas residuales.....	9
1.3. Fitorremediación.....	10
1.3.1. Estrategia de fitorremediación .....	11
1.4. Fitorremediación de aguas residuales.....	12
1.4.1. Sistema de fitorremediación de aguas residuales.....	13
1.5. Tipos de plantas acuáticas usadas en la fitorremediación.....	13
1.5.1. Emergentes .....	13
1.5.2. Flotantes.....	14
1.5.3. Funciones de las plantas en los sistemas de fitorremediación acuática .....	14
1.6. <i>Eichhornia crassipes</i> .....	15
1.7. <i>Dracaena braunii</i> .....	16
<b>CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>17</b>
2.1. Pregunta de investigación.....	17
2.2. Hipótesis.....	17
2.3. Objetivo .....	17
2.3.1. General.....	17
2.3.2. Específico .....	17
2.4. Variables.....	17
2.4.1. Variables independientes .....	17
2.4.2. Variables dependientes .....	17
2.4.3. Variables intervinientes .....	18
2.4.4. Variables controladas .....	18
2.5. Materiales y equipo.....	18
2.5.1. Materiales de laboratorio .....	18
2.5.2. Equipos .....	18
2.5.3. Materiales biológicos.....	18
2.5.4. Otros.....	18
2.6. Condiciones sobre configuración y principios éticos .....	19

<b>CAPÍTULO III: PROCEDIMIENTO Y MÉTODOS</b> .....	20
<b>3.1. Acondicionamiento de la muestra</b> .....	20
<b>3.2. Ensamblaje del sensor de oxígeno disuelto</b> .....	20
<b>3.3. Medición de pH y oxígeno disuelto</b> .....	21
<b>CAPÍTULO IV – DATOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	22
<b>4.1. Promedio de las mediciones de pH por día y por repetición.</b> .....	22
<b>4.2. Promedio de las mediciones de oxígeno disuelto por día y por repetición.</b> .....	23
<b>4.3. Comparación de la actividad fitorremediadora de <i>Dracaena braunii</i> y <i>Eichhornia crassipes</i></b> .....	24
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y MEJORAS</b> .....	27
<b>6.1. Conclusiones</b> .....	27
<b>6.2. Recomendaciones y mejoras</b> .....	28
<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS</b> .....	29

*Este trabajo se lo dedico a mis padres y a mi asesora de monografía, Karina Rojas, por orientarme a mejorar cada detalle de mi investigación.*

## INTRODUCCIÓN

En el Perú, desde el año 2012, se ha podido apreciar un déficit en el tratamiento de aguas residuales. Este déficit se refleja en el porcentaje de agua que se llegan a tratar, el cual es de un 32% de las aguas residuales producidas por día en nuestro país. El problema del Perú hoy en día es la capacidad de las lagunas de oxidación, las cuales no alcanzan para poder tratar la totalidad de aguas residuales producidas por cada distrito del Perú.

Existen diferentes métodos para tratar aguas residuales, la más utilizada son las lagunas de oxidación, las cuales consisten en lagunas artificiales en las que se depositan aguas residuales, las cuales han sido filtradas previamente para retirar los residuos sólidos. Pero también resulta interesante y ecológicamente atractivo el proceso de fitorremediación de aguas, es decir el uso de plantas para la purificación del agua, ya que la acumulación de aguas residuales también incomoda a los pobladores que viven cerca de estas lagunas de oxidación. Este trabajo es importante ya que muestra una forma alternativa de tratar las aguas residuales más rápida que en una laguna de oxidación y que estas aguas ya no posean características que dañen la salud de las personas.

El objetivo de este trabajo es determinar la capacidad fitorremediadora de las plantas *Eichhornia crassipes* y *Dracaena braunii* y responder a la pregunta de la investigación: ¿En qué medida se diferencia la actividad fitorremediadora de las plantas *Eichhornia crassipes* y *Dracaena braunii* sobre las aguas residuales domésticas?

Para poder responder a la pregunta se realizarán pruebas de fitorremediación de aguas residuales domésticas con las plantas *Eichhornia crassipes* y *Dracaena braunii* colocando estas plantas con una masa similar en 800 ml de aguas residuales domésticas seleccionadas en casa. Se evaluará la actividad fitorremediadora de cada planta midiendo el pH y oxígeno disuelto de cada muestra durante 6 días.

Transcurrido los 6 días, se agruparán los datos obtenidos para así poder comparar la actividad fitorremediadora que tienen las plantas *Eichhornia crassipes* y *Dracaena braunii* y así poder concluir en cuál de estas dos ha obtenido mejores resultados en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

He escogido este trabajo ya que me llamó la atención la idea de poder modificar la calidad de las aguas residuales utilizando plantas acuáticas, y, como me gusta trabajar con plantas, vi en esta la oportunidad para realizar lo que me gusta. Decidí usar el *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) ya que es una de las plantas más usadas para la fitorremediación de aguas residuales domésticas y quería comprobar por mis propios métodos su eficacia en trabajos de este tipo. También utilicé la planta *Dracaena braunii*, comúnmente llamada Bamboo de la suerte, ya que es una planta que se ha vuelto muy popular para la decoración de hogares y me llamó la atención de que el agua en que utilizan para sobrevivir siempre está limpia, no como con otras plantas.

## **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO**

### **1.1. El agua**

Según el manual de educación Ambiental V publicada por la empresa Línea Verde Smart City, el agua, elemento natural más abundante en la tierra, ocupa más de dos tercios de superficie en la tierra. Este recurso también está presente en todo nuestro cuerpo, el cual está conformado por 70% de agua, y en las plantas, el porcentaje presente en estas puede llegar a ser hasta de un 99%. (S.F: 1)

#### **1.1.1. Importancia del agua como recurso**

Como lo menciona SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), en su informe sobre el agua, dicen que esta es de vital importancia en nuestro planeta. Todos los seres vivos dependemos de esta, para el consumo doméstico, y para lo seres humano, para realizar actividades industriales y agrícolas. La demanda del agua ha aumentado significativamente ya que, las personas necesitan cada vez más de esta para su consumo, producción de alimentos y energía. Por otro lado, el grado de contaminación de este líquido es otro importante problema, ya que si no consigue tener la calidad óptima, podría influir en el problema de escasez. En los cuerpos superficiales y subterráneos, el agua se contamina debido a la descarga de aguas municipales e industriales que no han tenido un tratamiento previo, también debido a los arrastres que proceden de áreas donde se desarrollan la agricultura y ganadería.

El agua es requerida mayoritariamente en las necesidades humanas, pero también esta una pieza fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas y los seres vivos que lo habitan. Si el agua no está presente en estos ecosistemas, estos se degradan, van perdiendo su

biodiversidad, lo que causa una reducción en la calidad de bienes y servicios ambientales producidos para el sustento de las sociedades.

### **1.1.2. Contaminación del agua**

SEMARNAT dice que el tratamiento inadecuado de las aguas residuales industriales, agrícolas y urbanas, lleva a que el agua que toman millones de personas se vea peligrosamente afectadas estando contaminadas o polucionadas químicamente. Como resultado de esta contaminación, parte de los ecosistemas acuáticos terminan desapareciendo debido al rápido incremento de algas se alimentan de los nutrientes producto de la descomposición de los residuos.

Esta contaminación de las aguas resultan a causa de distintos tipos de productos: aguas fecales, blancas y de proceso. El primero se genera a partir de la higiene de aquellos que corresponden a aguas residuales domésticas. Al segundo se les llama comúnmente “aguas crudas” por sus características previas a la potabilización. Y el último, es el resultado del proceso productivo, su nivel de contaminación dependerá de la actividad industrial.

### **1.1.3. pH**

Como indica la página web “Carbotecnia”, el pH es una prueba para conocer un aspecto de la calidad del agua. Este indica la alcalinidad o acidez de un líquido, en este caso, del agua, esta consiste en la medición del potencial de iones de hidrógeno. La escala para realizar estas mediciones es de 0 a 14.

Aquellas soluciones cuyo pH es inferior a 7 son considerados ácidos, el pH 7 es considerado como neutro y pH mayores son considerados alcalinos. Por lo general, aquellas aguas con un pH debajo del 7, pueden ser corrosivas y ácidas. Es por esto que el agua podría disolver iones metálicos.

Aquellas aguas con un pH mayor a 8.5, son consideradas como alcalinas. Estas pueden presentar problemas de incrustaciones por dureza, sin embargo, no representa un riesgo para nuestra salud, pero no significan un riesgo para la salud.

#### **1.1.4. Oxígeno disuelto**

Según la página “whitman.edu”, la vida en el agua depende de la cantidad de oxígeno disuelto que haya en ella. Los seres terrestres habitan en una atmósfera que contiene 20% de oxígeno aproximadamente, mientras que aquellos seres acuáticos tienen la capacidad de vivir con una cantidad de oxígeno menor a la que necesitan los seres terrestres. La cantidad del oxígeno en agua dulce oscila entre 14.6 mg/L a 0°C hasta aproximadamente 7 mg/L a 35°C, con una presión de 760 mmHg. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua está determinada por la ley de Henry, esta ley describe la relación de equilibrio que existe entre la concentración de oxígeno en agua y la presión parcial de oxígeno atmosférico. Hay algunos factores que intervienen en la concentración del oxígeno disuelto en el agua son: el contenido de sales en el agua, la presión atmosférica y la temperatura del agua.

### **1.2. Aguas residuales**

Según la OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental), las aguas residuales son aguas a las cuales se les ha modificado sus características originales por acciones humanas y, que por su calidad, requieren ser tratadas previamente para que puedan ser reutilizadas, almacenadas a un espacio natural de agua o simplemente conducidas al sistema de drenaje.

Existen tres tipos de aguas residuales, industriales, son el resultado del desarrollo de un proceso productivo; domésticas, aquellas que tienen un origen comercial y residencial, están compuestas por residuos fisiológicos procedentes de la actividad diaria de las personas; y municipales, son aquellas que aguas que resulta de la fusión de las aguas residuales

domésticas con las aguas residuales obtenidas del drenaje pluvial o también podría ser con aguas residuales industriales que ya han sido previamente tratadas, esta mezcla es derivada por sistemas de alcantarillado combinado.

La OEFA informa que de las 50 EPS de Saneamientos que brindan el servicio de drenaje en nuestro país, se cubre solamente el 69.65% de la población urbana. La población que no es cubierta elimina sus aguas residuales, sin tratamiento, al agua de los ríos, al mar, quebradas o, las utilizan para la agricultura.

Un estudio hecho por la OEFA mostró que el Perú produce 2 217 946 m<sup>3</sup> por día de aguas residuales aproximadamente, estas son eliminadas a la red de desagüe de las EPS Saneamiento. Solo son tratadas el 32%. Cada persona en nuestro país produce aproximadamente 142 litros de aguas residuales al día.

### **1.3. Fitorremediación**

“La fitorremediación representa una tecnología alternativa, sustentable y de bajo costo para la restauración de ambiente y efluentes contaminados.” (Meas, Y; Núñez, R; Olgún, E; y Ortega, R. 2004: 1)

Según la revista científica “Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones” escrita por los doctores Roberto Núñez, Yunny Mas, Raúl Ortega y Eugenia Olgún, en el año 2004, cuando hablamos del termino Fitorremediación, estamos hablando sobre el empleo de plantas para restaurar o limpiar ambientes que han sido contaminados, como suelos, aguas, e incluso, aire. Este término fue acuñado en el año 1991.

También podemos definir a la Fitorremediación como la tecnología sustentable basada en utilizar plantas para minimizar la peligrosidad o concentración de contaminantes inorgánicos y orgánicos del suelo, agua, sedimentos, y aire, utilizando procedimientos bioquímicos realizados por microorganismos y plantas asociadas a su sistema de raíz que

llevan a la mineralización, reducción, estabilización, volatilización y descomposición de los diversos tipos de contaminantes.

### **1.3.1. Estrategia de fitorremediación**

En la revista científica “Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones”, mencionan que en estos últimos años ha aparecido una nueva terminología que se basa en las diversas funciones que cumplen las plantas durante el proceso de remediación, igualmente de los mecanismos que se involucran, de manera que se han llegado a definir las siguientes estrategias de fitorremediación:

**Fitoestimulación:** para esta estrategia, las secreciones de las raíces vegetales aportan en el desarrollo de microorganismos que pueden descomponer los contaminantes orgánicos. Dentro de sus actividades fisiológicas y metabólicas, las plantas liberan aminoácidos, azúcares simples, nutrientes, compuestos alifáticos y aromáticos, oxígeno y enzimas, que transporta desde sus partes superiores a sus raíces, lo que favorece en el desarrollo de comunidades microbianas en el suelo suburbano.

**Fitodegradación o fitotransformación:** esta consiste en utilizar plantas para transformar o degradar diferentes tipos de contaminantes orgánicos en sustancias menos tóxicas. Se tratan contaminantes como hidrocarburos del petróleo, hidrocarburos totales del petróleo, surfactantes, explosivos, compuestos clorados y plaguicidas. Empleando las reacciones enzimáticas de los microorganismos y vegetales en la rizósfera aquella parte del suelo estrechamente relacionada con las raíces de las plantas los contaminantes pueden ser parcial o completamente descompuestos o transformados

**Fitoestabilización:** esta estrategia usa plantas que forman un compacto sistema de raíces, para así aminorar la biodisponibilidad de algunos metales y otros contaminantes presentes en el ambiente utilizando mecanismos de lignificación, humidificación o

secuestración. Los vegetales controlan hidráulicamente el área contaminada, actuando absorbiendo la humedad de los suelos debido a que elevadas tasas de evapotranspiración debido a que este tratamiento mantiene constante la humedad en la rizósfera se muestran las condiciones adecuadas para la inmovilización de metales.

**Fitovolatilización:** algunas plantas pueden volatilizar algunos contaminantes, como selenio y mercurio, presentes en el suelo, agua o sedimentos. Estos contaminantes son metabolizados, absorbidos y trasladados desde su raíz hasta los órganos superiores y así liberarlos a la atmósfera en sus formas volátiles, menos tóxicas con un peligro radioactivo con respecto a sus formas oxidadas, esto ocurre en la raíz y se libera durante la transpiración.

**Rizofileración:** esta estrategia se base en lograr que crezcan raíces de vegetales terrestres, en cultivos hidropónicos, con una elevada tasa de crecimiento y de área superficial que le permita absorber, precipitar y concentrar metales pesados de aguas residuales contaminadas.

**Fitoextracción o fitoacumulación:** en este procedimiento se aprovecha la capacidad para almacenar que tienen los tallos, follaje o raíces de algunas plantas. Los contaminantes que mayormente se extraen son metales pesados, pero también se pueden extraer algunos tipos de contaminantes orgánicos y elementos e isótopos radiactivos.

#### **1.4. Fitorremediación de aguas residuales**

La revista científica mencionada anteriormente menciona que habitualmente, las plantas vasculares acuáticas fueron vistas como plagas en zonas enriquecidas con nutrientes. Al proliferarse rápidamente, puede dificultar que se pueda navegar con un buen balance en los ecosistemas acuáticos. Hoy en día, estas plantas también se pueden manejar adecuadamente para así volverse útiles, gracias a su habilidad de acumular y remover diferentes tipos de contaminantes. También, su biomasa se puede utilizar como fuente de forraje, fibra y energía.

Los primeros sistemas para el tratamiento de las aguas residuales utilizando plantas, fueron implementados en los países europeos a inicios del año 1960, utilizando carrizos o juncos. Desde esa implementación, estos sistemas han ido perfeccionándose y diversificándose, y ahora su aplicación y aceptación son cada vez mayores.

#### **1.4.1. Sistema de fitorremediación de aguas residuales**

Humedales construidos: es un complejo de vegetación sub-emergente y emergente, sustratos saturados, animales y agua que aparenta los humedales naturales, que ha sido diseñado y hecho por la mano del hombre para su propio beneficio.

Sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes: estos sistemas se pueden dar en estanques naturales o semiconstruidos, en los cuales se cultivan plantas flotantes que tratan las aguas residuales.

Sistema de tratamiento integral: este sistema es una combinación de los dos sistemas mencionados anteriormente.

Sistema de Rizofiltración: se ha demostrado que estos tipos de sistemas remueven eficientemente nitratos, pesticidas, elementos radiactivos, bacterias, fosfatos, fenoles, metales pesados, fluoruros y virus, de aguas residuales agrícolas, industriales y municipales, y también de las industrias: de pulpa y papel, azucarera, de destilería, de galvanizado, lechera, textil, de curtidería, aceitera y metalurgia.

### **1.5. Tipos de plantas acuáticas usadas en la fitorremediación**

#### **1.5.1. Emergentes**

Estas plantas se caracterizan por tener la raíz enterrada en los sedimentos y su parte superior extendida sobresaliendo de la superficie del agua. Sus sistemas reproductores se encuentran

en la parte aérea de la planta. Ejemplos: platanillo (*Sagittaria latifolia*), tule (*Thypha dominguensis*) y carrizo (*Phragmites communis*).

### 1.5.2. Flotantes

Plantas de libre flotación o no fijas: los tallos y hojas de estas plantas se desenvuelven encima de la superficie del agua. Sin embargo, sus raíces no están sujetas a ninguna base y penden en la superficie del agua. Sus sistemas reproductores y vegetativos se mantienen en la superficie. Ejemplo: lirio acuático o Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Plantas de hoja flotante o fijas: sus hojas se encuentran flotando en la superficie del agua, mientras que sus raíces están fijas al suelo. Ejemplo: nenúfares (*Nymphaea elegans* y *Nymphoides fallax*)

Sumergidas: estas plantas se pueden desarrollar completamente sumergidas o debajo de la superficie del agua. Sus sistemas reproductores se pueden presentar emergentes, sumergido o pueden quedar encima de la superficie del agua. Ejemplo: bejuquillo (*Ceratophyllum demersum*) y pastos (*Phyllospadix torreyi*).

### 1.5.3. Funciones de las plantas en los sistemas de fitorremediación acuática

Los mecanismos que permiten la remoción de contaminantes de las aguas residuales son de tres tipos: físicos, químicos y biológicos. La degradación de los restos orgánicos que realizan los microorganismos que habitan cerca y sobre las raíces de las plantas constituyen uno de los principales tratamientos de las aguas residuales. Los productos de la degradación son absorbidos por las plantas junto con los minerales. Los microorganismos utilizan estos metabolitos, que las raíces de las plantas desechan, como su fuente de alimento. También está relacionado el proceso de atracción electrostática entre las cargas opuestas de partículas coloidales suspendidas y las cargas electrostáticas entre las cargas opuestas de partículas coloidales suspendidas y las cargas eléctricas de las raíces de las plantas, las cuales, al

adherirse a la raíz, son absorbidas y asimiladas por los microorganismos y las plantas. Así también, estas plantas tienen la habilidad de transferir oxígeno desde sus órganos superiores hasta la raíz, lo cual produce un contorno aeróbico.

### 1.6. *Eichhornia crassipes*

El Jacinto de agua es una planta acuática duradera que se encuentra flotando en la superficie del agua. Oriunda de Brasil, fue introducida a Estados Unidos en 1884 como una planta decorativa en jardines acuáticos. Para su reproducción, esta produce estolones, esta es de forma vegetativa. También se pueden reproducir por semillas, pero estas tienen un bajo porcentaje de germinación. Esta planta ha sido objeto de estudio de varias investigaciones.

Necesita de que la superficie en la que se encuentre sea extensa y con un agua neutra. El pH óptimo del agua para esta planta se sitúa entre 6,8 y 7,5.

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica de "Eichhornia crassipes"*

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
Phylum	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Commelinales
Familia	Pontederiaceae
Género	<i>Eichhornia</i>
Especie	<i>Crassipes</i>
Nombre científico	<i>Eichhornia crassipes</i>

**Fuente:** EcuRed. (S.F.). *Jacinto de agua*. Recuperado de: [https://www.ecured.cu/Jacinto\\_de\\_agua](https://www.ecured.cu/Jacinto_de_agua)

### 1.7. *Dracaena braunii*

Últimamente se han hecho populares los tallos denominados bambús de la suerte, esto no tiene que ver con los verdaderos bambúes, sino con las *Dracaena*.

Estas plantas tienen pocas hojas y pueden sobrevivir con poca luz, pero, esto no es la mejor forma de asegurarle el crecimiento y frondosidad de la drácena, pues esta simplemente sobrevive. Esta planta requiere de temperaturas constantes en torno a los 20°C. Esta se puede adaptar muy fácilmente y se desarrolla sin problema una vez transcurrido un periodo de aclimatación.

**Tabla 2**

*Clasificación taxonómica de “Dracaena braunii”*

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
Phylum	Tracheobionta
Clase	Liliopsida
Orden	Asparagales
Familia	Asparagaceae
Género	<i>Dracaena</i>
Especie	<i>braunii</i>
Nombre científico	<i>Dracaena braunii</i>

**Fuente:** EcuRed. (S.F.). *Bambú de la suerte*. Recuperado de:  
[https://www.ecured.cu/Bamb%C3%BA\\_de\\_la\\_suerte](https://www.ecured.cu/Bamb%C3%BA_de_la_suerte)

## CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1.Pregunta de investigación

¿En qué medida se diferencia la actividad fitorremediadora de las plantas *Eichhornia crassipes* y *Dracaena braunii* sobre las aguas residuales domésticas?

### 2.2.Hipótesis

*Eichhornia crassipes* presenta una mayor actividad fitorremediadora que el *Dracaena braunii* lo cual se verá evidenciado en las medidas de pH y oxígeno disuelto.

### 2.3.Objetivo

#### 2.3.1. General

Determinar la capacidad fitoremediadora de las plantas *Eichhornia crassipes* y *Dracaena braunii* en aguas residuales domésticas.

#### 2.3.2. Específico

Comparar la capacidad fitoremediadora entre las plantas *Eichhornia crassipes* y *Dracaena braunii* en aguas residuales domésticas.

### 2.4.Variables

#### 2.4.1. Variables independientes

Especies de plantas fitorremediadoras: las plantas *Eichhornia crassipes* y *Dracaena braunii*.

#### 2.4.2. Variables dependientes

La actividad fitorremediadora medida a través del oxígeno disuelto y pH del agua residual.

### **2.4.3. Variables intervinientes**

Luz solar, evaporación del agua.

### **2.4.4. Variables controladas**

Volumen de agua (800ml), masa de las plantas (26 – 28g).

## **2.5. Materiales y equipo**

### **2.5.1. Materiales de laboratorio**

- 11 vasos de precipitación de 1L
- 1 bagueta
- 2 soportes universales con pinzas
- Pipeta Pasteur de 1ml
- Solución de DO Filling
- Agua destilada

### **2.5.2. Equipos**

- Interfas Vernier LabQuest2 modelo LQ2-LE
- Sensor de pH Vernier código PH-BTA
- Sensor de DO Vernier código DO-BTA
- Balanza marca Electronic Kitchen scale SF-400 x 2kg.

### **2.5.3. Materiales biológicos**

- 10L de agua residual doméstica seleccionada procedente solo de actividades de cocina (lavado de frutas y verduras, lavado de vajilla, residuos de comida) y lavado de ropa.
- Plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Dracaena braunii*.

### **2.5.4. Otros**

- 1 marcador indeleble

- Tijeras

## **2.6. Condiciones sobre configuración y principios éticos**

Durante la investigación, se siguieron todas las normas de bioseguridad tales como el uso de los equipos de protección personal (guardapolvo, guantes, mascarilla), así como la debida higiene después de cada procedimiento. Se tuvo el cuidado que el agua residual doméstica utilizada en esta investigación solo procediera de las actividades de cocina y lavandería, y así evitar la presencia de microorganismos patógenos. Además, se consideró la calibración y uso adecuado de cada uno de los equipos empleados, contando con la supervisión del responsable del laboratorio.

## CAPÍTULO III: PROCEDIMIENTO Y MÉTODOS

### 3.1. Acondicionamiento de la muestra

4. Se agregaron 800 ml de aguas residuales en cada uno de los 11 vasos de precipitación de 1L.
5. Las 10 muestras se dividieron en 2 grupos, 5 para el *Eichhornia crassipes*, con la rotulación “J1 – J5”; y 5 para el *Dracaena braunii*, con la rotulación de “B1 – B5”. El vaso sobrante sirvió como control.
6. Se pesaron las plantas, de *Eichhornia crassipes* y *Dracaena braunii*, en un rango de 26 – 28 g, y se colocaron en cada vaso de precipitación según su rotulación (“B” para *Dracaena braunii* y “J” para *Eichhornia crassipes*).
7. Finalmente, se dejaron las muestras expuestas al ambiente en un área exclusiva para la investigación.

### 3.2. Ensamblaje del sensor de oxígeno disuelto

1. Se siguieron los pasos establecidos en el Manual del usuario de la sonda de oxígeno disuelto Vernier.
2. Retire la tapa protectora azul de la punta de la sonda.
3. Desatornille la tapa de la membrana de la punta de la sonda. No toque la membrana. El aceite de tu piel podría causar daño.
4. Use una pipeta para llenar la tapa de la membrana con 1 mL de solución de llenado de electrodo DO.
5. Con cuidado, enrosque la tapa de la membrana nuevamente en el electrodo. Alguna solución de llenado debe desbordarse durante este proceso.
6. Enjuague la sonda y colóquela en agua destilada. Nota: No sumergir por completo; el mango no es a prueba de agua.

### **3.3. Medición de pH y oxígeno disuelto**

1. La medición se tomó en simultáneo tanto para el sensor de pH y el de Oxígeno disuelto.
2. Se conectó los sensores al interfaz LabQuest2.
3. Se introdujo los sensores en la muestra.
4. Se calibró el rango de toma de datos (1 dato cada 10 segundos por 120 segundos).
5. Esperar 1 minuto para que se estabilice la lectura.
6. Se procedió con la toma de datos presionando “Enter”.
7. Tomados los datos de la muestra, se retiraron los sensores, se lavaron con agua destilada y se procedió a medir las siguientes muestras según lo descrito anteriormente.

## CAPÍTULO IV – DATOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Promedio de las mediciones de pH por día y por repetición.

**Tabla 3**

*pH de la muestra control de aguas residuales domésticas por día.*

pH						
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6
<b>CONTROL</b>	5.822	5.126	5.182	5.109	5.144	5.278

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4**

*pH de las muestras con Eichhornia crassipes por día.*

pH						
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6
<b>J1</b>	5.437	5.593	5.975	6.108	6.858	6.715
<b>J2</b>	5.290	5.431	5.627	5.814	6.541	6.719
<b>J3</b>	5.425	6.018	5.777	6.034	5.513	6.635
<b>J4</b>	5.234	5.834	5.546	5.628	6.003	6.427
<b>J5</b>	5.454	5.148	5.635	6.187	5.805	6.919

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 5**

*pH de las muestras con Dracaena braunii por día.*

pH						
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6
<b>B1</b>	5.650	5.180	5.397	5.135	5.342	5.568

<b>B2</b>	5.461	5.129	5.242	5.109	5.366	5.456
<b>B3</b>	5.529	5.143	5.284	5.273	5.406	5.508
<b>B4</b>	5.513	5.153	5.264	5.303	5.448	5.068
<b>B5</b>	5.516	5.160	5.250	5.252	5.381	5.447

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2.Promedio de las mediciones de oxígeno disuelto por día y por repetición.

**Tabla 6**

*DO (oxígeno disuelto) de la muestra control de aguas residuales domesticas por día.*

DO (mg/L)						
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6
<b>CONTROL</b>	0.769	1.355	3.056	2.770	2.935	2.632

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 7**

*DO (oxígeno disuelto) de las muestras con Eichhornia crassipes por día.*

DO (mg/L)						
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6
<b>J1</b>	1.016	1.055	0.809	0.647	0.650	0.816
<b>J2</b>	0.728	0.761	0.796	0.648	0.658	0.756
<b>J3</b>	1.191	1.131	0.799	0.658	0.663	0.759
<b>J4</b>	1.066	1.068	0.946	0.632	0.685	0.790
<b>J5</b>	0.756	0.800	0.790	0.712	0.686	1.447

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 8**

*DO (oxígeno disuelto) de las muestras con Dracaena braunii por día.*

DO (mg/L)						
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6
<b>B1</b>	0.902	1.176	1.956	1.247	1.826	2.077
<b>B2</b>	0.923	1.368	2.173	2.128	2.417	2.511
<b>B3</b>	1.058	1.311	1.981	1.815	1.909	2.014
<b>B4</b>	1.015	1.361	1.921	1.964	2.031	2.036
<b>B5</b>	1.175	1.825	2.468	1.954	2.319	2.750

**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.3.Comparación de la actividad fitorremediadora de *Dracaena braunii* y *Eichhornia crassipes*

**Tabla 9**

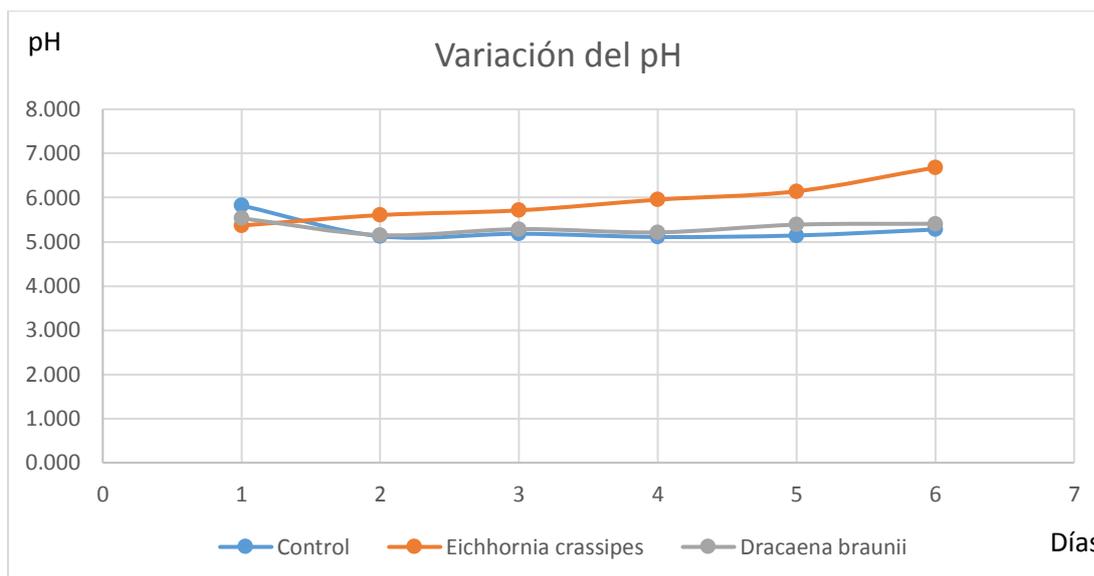
*Promedio de las mediciones de pH según planta fitorremediadora.*

	Control	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Dracaena braunii</i>
DIA	pH		
<b>1</b>	5.822	5.368	5.534
<b>2</b>	5.126	5.605	5.153
<b>3</b>	5.182	5.712	5.287
<b>4</b>	5.109	5.954	5.214
<b>5</b>	5.144	6.144	5.388
<b>6</b>	5.278	6.683	5.409

**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfico 1**

*Variación del pH con respecto al tiempo.*



**Fuente:** Elaboración propia

En la gráfica se observa un mayor incremento de pH para la muestra con *Eichhornia crassipes* con respecto a la muestra control y la muestra con *Dracaena braunii*.

**Tabla 10**

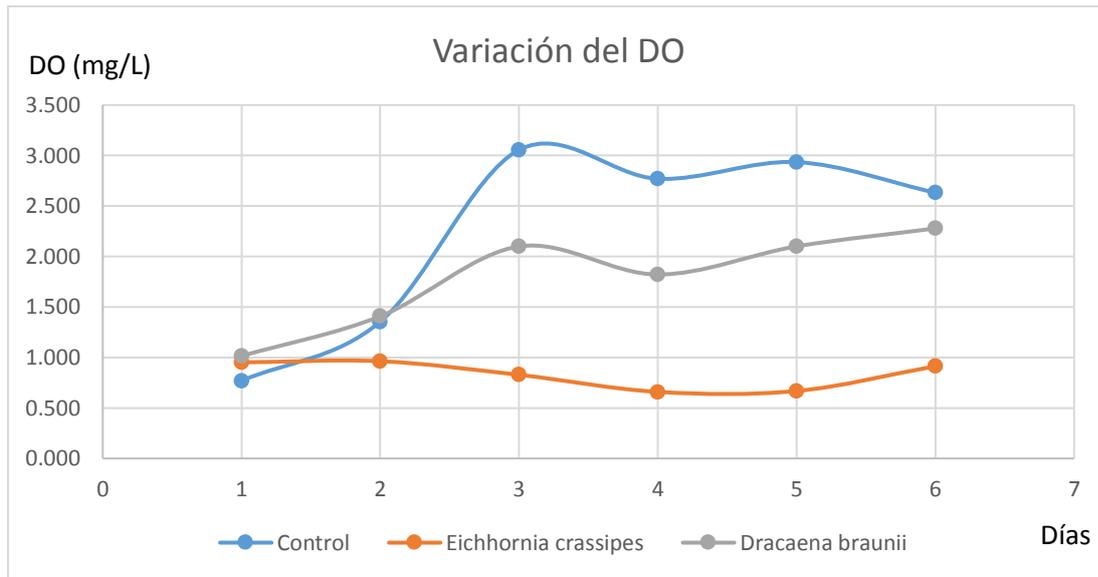
*Promedio de mediciones de DO (oxígeno disuelto) según planta fitorremediadora.*

	<b>Control</b>	<b><i>Eichhornia crassipes</i></b>	<b><i>Dracaena braunii</i></b>
<b>DIA</b>			<b>DO</b>
<b>1</b>	0.769	0.952	1.014
<b>2</b>	1.355	0.963	1.408
<b>3</b>	3.056	0.828	2.100
<b>4</b>	2.770	0.659	1.822
<b>5</b>	2.935	0.668	2.100
<b>6</b>	2.632	0.913	2.278

**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfico 2**

Variación del oxígeno disuelto con relación al tiempo.



**Fuente:** Elaboración propia

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y MEJORAS

### 6.1. Conclusiones

- ✓ Con respecto al pH de las aguas residuales domésticas, aquellas que contenían las plantas de *Eichhornia crassipes* fueron las que obtuvieron mejores resultados. Se puede apreciar en la tabla 9 y el gráfico 1 que estas plantas pueden regular el pH de un agua ácida y convertirla en un agua con un pH cercano a la neutralidad. Esta planta logró cambiar el pH inicial de 5.3 a uno de 6.68.
- ✓ Con respecto al pH de las aguas domésticas que han sido tratados con *Dracaena braunii*, se nota, que igual que en la muestra control, el pH inicial de 5.53 en lugar de mejorar, iba disminuyendo poco a poco, haciendo al agua ligeramente más ácida.
- ✓ Para las mediciones de oxígeno disuelto la muestra control logró obtener unos resultados que se acercaban más a los parámetros organolépticos aceptados para el agua. Al no tener ninguna planta que influya en su procedimiento de oxidación puede haber tenido en el vaso de precipitado una mayor superficie para realiza la oxidación y por ende el incremento del de oxígeno disuelto.
- ✓ Las aguas residuales tratadas con las plantas *Dracaena braunii* y *Eichhornia crassipes* no mostraron resultados significativos con respecto al oxígeno disuelto, lo cual puede deberse a que el pH del agua no era el óptimo para el desarrollo de las mismas (Gráfico 2 y tabla 10).
- ✓ Tal como se observa en el gráfico 2 y la tabla 10, las plantas tratadas con *Dracaena braunii* tuvieron una mejora con respecto al oxígeno disuelto (2,278 mg/L) en comparación a *Eichhornia crassipes* (0,913 mg/L) pero este no resulta óptimo dentro de los niveles de oxígeno requeridos para los ecosistemas acuáticos.

## 6.2. Recomendaciones y mejoras

- Tener en cuenta la temperatura de la muestra ya que esto influye en la medición de oxígeno disuelto.
- Al utilizar la misma cantidad de masa en las plantas, tener en cuenta, en la planta *Eichhornia crassipes*, que la elongación de raíces sea la misma, ya que esto puede afectar en el tratamiento de las aguas residuales.
- Tener en cuenta la evaporación del agua, ya que se puede dar en grandes cantidades dependiendo del recipiente en donde se encuentren ubicados sus muestras.
- Recomendaría hacer este procedimiento por más días para poder ver si ambas plantas logran fitorremediar el agua residual domestica de una forma significativa.

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Dígesa. (S.F.). Parámetros organolépticos. Recuperado de:

[http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes\\_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf)

Hogarmania. (S.F.). Bambú de la suerte o Lucky bamboo. Recuperado de:

<https://www.hogarmania.com/jardineria/fichas/plantas/201304/bambu-suerte-lucky-bamboo-5527.html>

Línea Verde. (S.F.). El Agua: Manual de educación Ambiental V. Recuperado de:

<http://www.lineaverdemunicipal.com/Recursos-educacion-ambiental/Agua-juegos.pdf>

Madsen, J y Robles, W. (S.F.). *Jacinto de agua*. Recuperado de:

[http://atlas.eea.uprm.edu/sites/default/files/Jacinto%20de%20agua-Eichhornia%20crassipes\\_0.pdf](http://atlas.eea.uprm.edu/sites/default/files/Jacinto%20de%20agua-Eichhornia%20crassipes_0.pdf)

Meas, Y; Núñez, R; Olguín, E y Ortega, R. (2004). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones*. Recuperado de:

[https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55\\_3/Fitorremediacion.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf)

OEFA. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Recuperado de:

[https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)

SEMARNAT. (S.F.). Agua. Recuperado de:

[http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/pdf/Cap6\\_agua.pdf](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap6_agua.pdf)

Vazquez, E. (2017). *Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones*.

Recuperado de: <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-soluciones/>

Vernier. (S.F.). *Dissolved Oxygen Probe User Manual*. Recuperado de:

<https://www.vernier.com/manuals/do-bta/>

Whitman.edu. (S.F.). *Oxígeno disuelto en agua*. Recuperado de:

[https://www.whitman.edu/chemistry/edusolns\\_software/DO\\_Spanish.pdf](https://www.whitman.edu/chemistry/edusolns_software/DO_Spanish.pdf)