



Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental

Lizbeth Quispe Baldeón^{1a*}, Jimena Betsy Arias Chavez^a, Cristian Franco Martinez Suarez^a, Milda Cruz Huaranga^a

^aEP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

El objetivo del trabajo es evaluar la eficiencia en la remoción de los parámetros fisicoquímicos, metales pesados de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de Agua) y evaluar el crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en la laguna de la Universidad Peruana Unión. Para insertar el Jacinto de agua a la laguna, se adaptó a la especie por 3 semanas hasta ver el crecimiento medio de éstas y luego se diseñaron los sistemas flotantes, que fueron realizados con tubos PVC de 2 pulgadas, mallas metálicas y mallas de tela, entre otros. Se hizo el muestreo por dos meses, en función al ingreso de agua a la laguna y el tiempo de retención que fue de 3 a 5 días. Los resultados obtenidos muestran que hubo mayor disminución en la conductividad, oxígeno disuelto y sólidos totales. En conclusión, se obtuvo una eficiencia del 31% en la remoción de parámetros fisicoquímicos (conductividad (Us/cm)), Oxígeno disuelto (mg/L), sólidos totales ((mg/L), turbiedad (UNT), pH, temperatura (°C), DBO5 (mg/L), DQO (mg/L) y fosfato (mg/L)), asimismo, se obtuvieron resultados de eficiencia negativa en algunos parámetros. En cuanto al crecimiento de macrófitas flotantes, Jacinto de agua, en el monitoreo que se hizo durante dos meses, el crecimiento fue rápido; en 15 días se llegó a duplicar la cantidad de plantas y luego fue llenando al sistema flotante, esto debido a que hay suficientes nutrientes en la laguna de la Mansión.

Palabras clave: Jacinto de Agua; macrófitas flotantes; sistema flotante; remoción de metales; agua residual.

Abstrac

The objective of the work is to evaluate the efficiency in the removal of the physicochemical parameters, heavy metals of the macrophyte species *Eichhornia crassipes* (Jacinto de Agua) and to evaluate the growth in time and adoption in the lagoon of the Universidad Peruana Unión. To insert the water hyacinth into the lagoon, it was adapted to the species for 3 weeks until it saw the average growth of these and then the floating systems were designed, which were made with 2-inch PVC tubes, metal meshes and cloth meshes, among others. Sampling was done for two months, depending on the water entering the lagoon and the retention time, which was 3 to 5 days. The results obtained show that there was a greater decrease in conductivity, dissolved oxygen and total solids. In conclusion, an efficiency of 31% was obtained in the removal of physicochemical parameters (conductivity (Us / cm)), dissolved oxygen (mg / L), total solids ((mg / L), turbidity (UNT), pH, temperature (° C), BOD5 (mg / L), COD (mg / L) and phosphate (mg / L)), likewise, negative efficiency results were obtained in some parameters. Regarding the growth of floating macrophytes, Jacinto de agua, in the monitoring that was done during two months, the growth was fast; in 15 days the amount of plants was doubled and then it was filling the floating system, this because there are enough nutrients in the lagoon of the Mansion.

Keywords: Jacinto de Agua; floating macrophytes; floating system; metal removal; residual water

1. Introducción

Desde los inicios de la revolución industrial, en el mundo se ha manifestado un crecimiento gradual en la

¹ Autor de correspondencia:

Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima Tel.: 999391235

E-mail: lizabethquispe@upeu

creación de industrias y en la mejora de sus tecnologías. En un principio se consideraba que los beneficios que se obtenían eran mayores que los problemas que se ocasionaban. Esta forma de pensar solo cambió cuando la industrialización se hizo tan masiva que los problemas ambientales eran evidentes y sus impactos empezaron a afectar la salud y el medio (Romero, Santiso, y González, 2014).

Se considera que el agua está contaminada cuando se ve alterado las características físicas y químicas, biológicas o su composición, por lo que se pierde su potabilidad para consumo humano diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas. Las aguas residuales se definen como aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industrias, comerciales, servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamiento y en general, de cualquier otro uso, (Romero-Aguilar, Colín-Cruz, Sánchez-Salinas, y Ortiz- Hernández, 2009).

Los compuestos orgánicos e inorgánicos se encuentran en aguas residuales procedentes de instalaciones industrias diversas. Muchos de los contaminantes que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad y a sus efectos biológicos a largo plazo (Rodríguez Fernández-Alba et al, 2006).

Las aguas procedentes de las industrias; de la minería, la de recubrimientos metálicos, las fundidoras y otras más contaminan el agua con diversos metales. Por ejemplo, las sales de metales como el plomo, el zinc, el mercurio, la plata, el níquel, el cadmio y el arsénico son muy tóxicas para la flora y la fauna terrestres y acuáticas (Ulloa, 2012).

Todos los metales pesados existen en las aguas superficiales en forma coloidal, de partículas y en fases disueltas, pero, las concentraciones en disolución son bajas generalmente. El metal en forma de partículas y coloidal puede encontrarse en: hidróxidos, óxidos, silicatos o sulfuros, adsorbidos en la arcilla o en la materia orgánica. La solubilidad de trazas de metales en las aguas superficiales está controlada predominantemente por el pH, por el tipo de concentración de los ligandos en los cuales el metal puede absorberse, y por el estado de oxidación de los componentes minerales.

El aumento de los costos y la limitada eficacia de los tratamientos fisicoquímicos han estimulado el desarrollo de nuevas tecnologías. Por lo que, la Fitorremediación representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos (Delgadillo-lópez & González- ramírez, 2011).

La técnica de Fitorremediación se caracteriza por ser una práctica de limpieza pasiva y estéticamente agradable que aprovechan la capacidad de las plantas macrofitas y la energía solar para el tratamiento de una gran variedad de contaminantes del medio ambiente. En esta técnica las plantas macrofitas actúan como trampas o filtros biológicos que descomponen los contaminantes y estabilizan las sustancias metálicas presentes en el agua al fijarlos en sus raíces y tallos, o metabolizándolos. (Sergio Adrián Arias Martínez, Ferney Mauricio Betancur Toro, Gonzalo Gomez Rojas, Juan Pablo Salazar Giraldo, 2010).

Numerosos estudios han reportado el uso de macrofitas para la remediación de agua contaminada con metales pesados como Pb, Cd, Cu, Fe, Ni, Mn, Zn y Cr. Las más conocidas son *Eichhornia crassipes* y determinadas especies de la familia *Lemnaceae*, tales como *Spirodela sp*, *Lemna gibba* y *Lemna Minor*. han sido estudiadas para la remoción de determinados metales demostraron que *E. Crassipes* es más eficiente que *P. stratiotes* y *Spirodela polyrrhiza* para eliminar entre el 50 y 90% de este metal dentro de las primeras 24 horas (Bres, P.; Crespo, D.; Rizzo P.; La Rossa, 2012).



Figura 01. Macrófitas más conocidas para la fitorremediación de aguas residuales

Según (Ramil Rego, Rubinos Román, Gómez Orellana, Rodríguez, & Hinojo Sánchez, 2015) El descubrimiento científico del Jacinto de agua fue realizado por el botánico alemán Carl Friedrich Philipp von Martius (17/04/1794– 13/12/1868) y publicada en su trabajo *Plantarum Brasiliensium Nova genera et species novae, vel minus cognitae* (1823–1832).

Según (Ospino Zambrano, Hernández Cardona, Ochoa Ceballos, Camilo Cadavid, & Arango Osorno, 2015) El Buchón de Agua, conocido también como Jacinto de agua, El Lirio de Pantano, Camalote, Lampazo, Violeta de agua, Buchón o Taruya, es una planta acuática flotante de aguas tranquilas, muy apreciado por la curiosa forma de sus hojas abombadas y por su flor de color violeta. Pertenece a la familia de las Pontederiaceas (Pontederiaceae).

Está considerada entre las 100 especies más invasoras del mundo por la Unión Internacional para la conservación de la naturaleza y recursos naturales. Esta es una especie flotante de raíces sumergidas. Carece de tallo aparente, provisto de rizomas, muy particular emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo y forma de vejiga llena de aire mediante la cual puede mantenerse sobre la superficie acuática (M. Sc. Zenón Much Santos, 2008).

El origen de esta planta es en el curso de agua de la cuenca del Amazonas, en América del Sur. Se han distribuido prácticamente en todo el mundo, laminas acuáticas de jardines en climas templados y cálidos. La principal característica morfológica es que son consideradas malas hierbas, que pueden obstruir en poco tiempo una vía fluvial o lacustre (Much Santos, 2008).

El Jacinto de agua habita en cuerpos de agua dulce como los son: ríos, lagos, charcas y embalses de los trópicos y subtropical localizados a latitudes no mayores de 40°N y 45°S. Temperaturas menores de 0°C afectan su crecimiento al igual que alta salinidad. Sin embargo, cuerpos de agua eutrofizados que contienen niveles altos de nitrógeno, fosforo, potasio al igual que aguas contaminada con metales pesados como cobre y plomo no limitan su crecimiento. El Jacinto de agua puede anclarse y enraizar en suelos saturados de agua por un corto periodo de tiempo (Wilfredo Robles, 2009).

Se cultiva a una temperatura de 20 – 30°C. No resiste los inviernos fríos (Hay que mantenerla entre 15-18°C en contenedores con una profundidad de al menos 20 cm y una capa delgada de turba en el fondo). Puede rebotar en primavera si se hiela. Necesita aguas estancadas o con poca corriente e intensa iluminación (M. Sc. Zenón Much Santos, 2008).

El Jacinto de agua se puede reproducir asexual o sexualmente. Aunque la generación puede ser importante en la recolonización de un área, la producción de nuevas plantas por reproducción vegetativa es mucho más significativa. En esta última, las plantas producen estolones horizontales que desarrollarán hojas arrosietadas de una yema terminal.

El proceso se repite en las plantas hijas y cuando la maleza crece rápidamente en condiciones ideales, un número inmenso de plantas se pueden producir en corto tiempo, llegándose a duplicar una población de 5 a 15 días. Cuando la tensión de oxígeno es baja, el tiempo de duplicación puede ser hasta de 50 días. La regeneración de fragmentos de plantas también puede ser prolífica (Lemus, 2014)
 El objetivo del presente artículo es evaluar la eficiencia en la remoción de los parámetros fisicoquímicos, metales pesados con la especie macrofita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de Agua) y evaluar el crecimiento en función al tiempo y adaptación al medio en la laguna de la Universidad Peruana Unión.

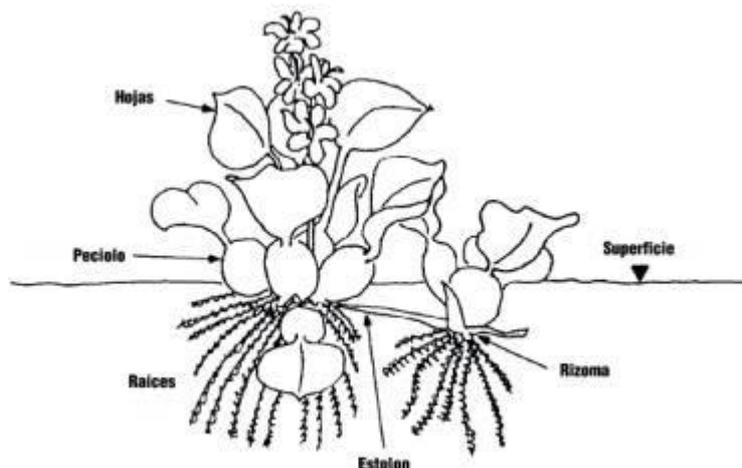


Figura 02. Morfología de una macrofitas flotante (*Eichhornia crassipes*)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de menor recurso económico y tecnología. • Suprime el crecimiento del fitoplancton y otras plantas sumergida en los ecosistemas acuáticos • Un agente biorremediante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sirve como hospedero de larvas de mosquito, ocasiona problemas ecológicos. • El Jacinto de agua no está listado en la lista federal de especies nocivas de EU. Sin embargo, es listada como especie nociva en Alabama y considerada invasora en muchos estados de EU. • Puede llegar a causar la eutrofización • A temperaturas por debajo de los 10 °C las plantas mueren

2. Materiales y métodos

Se utilizó la planta macrofitas flotante Jacinto de agua para la remoción de metales pesados que se encuentran en la laguna de la mansión para lo cual se realizaron monitorios con los siguientes equipos: Oxímetro (HI 9146), medidor de pH, conductividad y solidos totales (HI 9811-5), Turbidímetro (HI 83414).

Descripción del área de la Mansión

El área de investigación está ubicado a 580 msnm, tiene un área total de 3050.15m² con una profundidad de 4m y un volumen de 6405.336m³. El área es considerada como “La laguna de la mansión” ver la figura N° 2, donde encontramos aves silvestres y también tiene un espacio de recreación para la familia o estudiantes de UPeU. Está considerada en la categoría 3: Riego de Vegetales y Bebidas de animales dentro del D.S. N°15 -2015-MINAM.

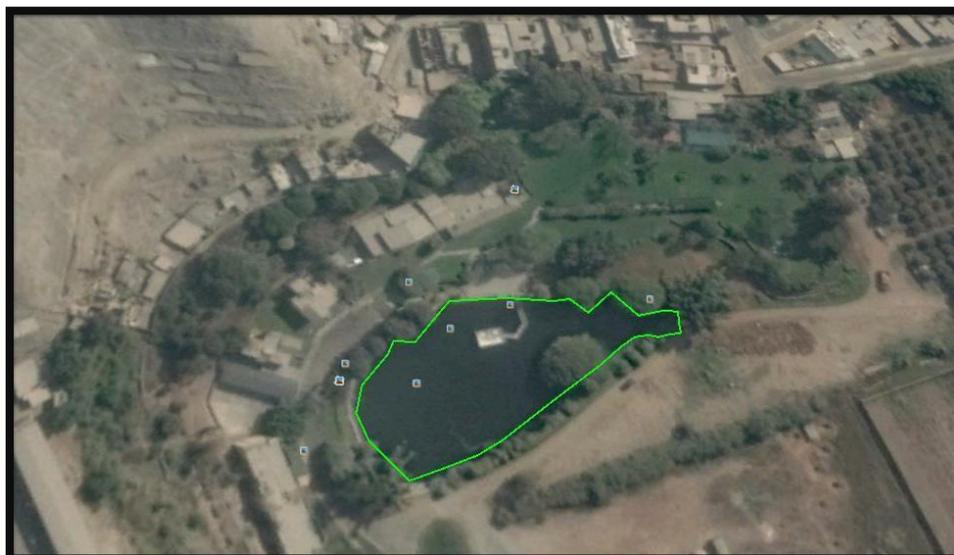


Figura 03. Imagen Panorámica de la laguna artificial de UPEU.

Muestreo de agua en la laguna antes de tratamiento con Jacinto de agua

Se tomó una muestra en una botella de vidrio, seguidamente se analizó en el laboratorio de Ingeniería ambiental mediante los siguientes equipos: oxímetro (HI 9146), medidor de pH, conductividad y sólidos totales (HI 9811-5), Turbidímetro (HI 83414).

Tabla 1
 Resultados de los parámetros fisicoquímicos y metal pesado

Parámetro	Resultado	LMP (categoría 3)
pH	8.6	6.5 – 8.5
T°	23.5 C°	-----
Conductividad	406 cm	2 500
Ox. Disuelto	13ppm (1300 mg/L)	4 mg/L
Sólidos Totales	230 mg/L	-----
Turbiedad	12 UNT	-----
DBO ₅	14ml/L	15 mg/L
DQO	16.94ml/L	40mg/L
Fosfato	0.9ml/L	-----
Plomo total	0.115 ml/L	0.05ml/L

Adaptación del Jacinto para integrar al sistema

Para dar inicio al sistema flotante se hizo una previa adaptación del Jacinto de Agua en 5 tinajas con el agua de la laguna para que estas puedan crecer un tamaño favorable en un tiempo de 2 semanas con cambios de agua de dos veces a la semana, con la finalidad de incorporarlas en el sistema flotante ubicado en la laguna de la mansión. (Ver anexo, figura 05).

Diseño de construcción e instalación del sistema

El diseño de los sistemas de tratamientos flotantes, fueron realizados con tubos PVC de 2 pulgadas, mallas metálicas y mallas de tela, entre otros. Se comenzó cortando los tubos para que al armar y unir estos tubos con un pegamento especial, estos sistemas lleguen a ser de 3 m de longitud y 0.60 m de ancho. Teniendo un área de cada sistema flotante de 1.8 m² con la especie *Eichhornia Crassipes*. Luego se cortaron tubos para formar un tubo de 3 m de longitud y a los extremos dos colas de tuberías de 0.25 cm, con la finalidad de que los tubos colocados en cada extremo sean cortados en sus orificios de salida, uniéndolos así con mayor facilidad al sistema con fierros delgados siendo ajustados con un alicate, para que esto sirva como el soporte

de la malla metálica, además de que estas mallas servirán para evitar que las aves de la laguna puedan maltratar las plantas. Finalmente se colocan las mallas de tela por debajo del sistema, las cuales son amarrados con listones al sistema y servirán para que los peces no puedan comerse las raíces.



Figura 04. Proceso de la construcción del sistema flotante

Se instalaron cinco sistemas en la laguna de la mansión la cual tiene un área total de 1.8 m^2 y un promedio de 15 plantas al inicio de la instalación en cada sistema. Posteriormente estas se reproducirán de acuerdo a los alimentos que la laguna contiene por la carga de materia orgánica y metales.

Monitoreo de agua después de integrar el sistema en la laguna de la mansión.

El monitoreo después de la instalación del sistema en la mansión consistió en la evaluación de parámetros físicos (temperatura, pH, conductividad, oxígeno disueltos, sólidos totales y turbiedad), se tomaron muestras complementarias en tres divisiones del diseño y luego se sacó una sola muestra patrón de agua en botellas de polietileno de 600 ml dos veces por semana y fue llevado al laboratorio de Ingeniería Ambiental durante dos meses.

Muestras compuestas

Se refiere a la mezcla de varias muestras individuales colectadas en diferentes sitios de cuerpo de agua que se trate (presa, lago, etc.), o en un solo sitio con intervalos de tiempo definidos previamente (tomas domiciliarias, pozos). La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedias usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de agua. Se considera estándar para la mayoría de los determinantes una muestra compuesta que representa un periodo de 24 horas. Sin embargo, bajo otras condiciones se consideran que pueda ser una muestra compuesta un ciclo completo de una operación periódica. Para evaluar los efectos de descargas y operaciones variables o irregulares, tomar muestras compuestas que representan el periodo durante el cual ocurren, tomar muestras compuestas que representan el periodo durante el cual ocurren tales descargas (Bolívar, 2011)

3. Resultados y discusiones

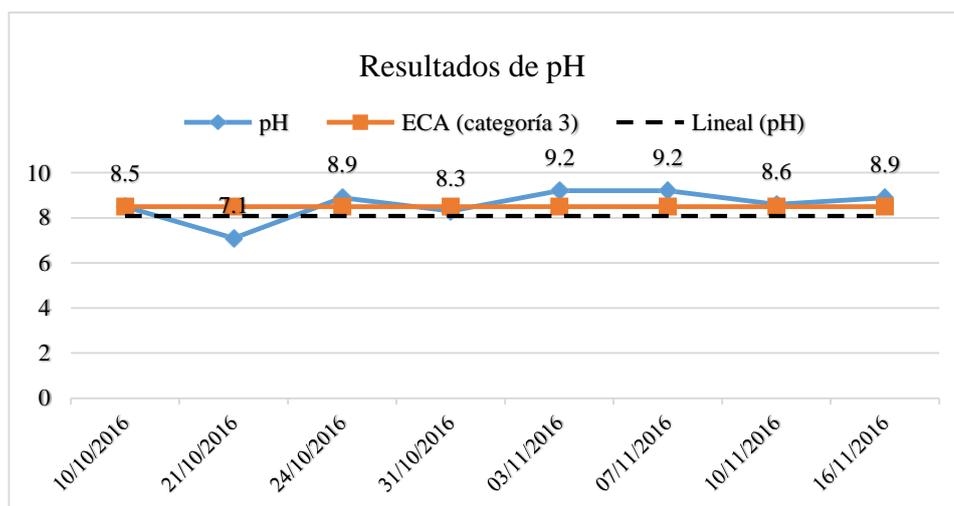
Tabla 2
 Resultados del monitoreo de parámetros fisicoquímicos

Parámetros	pH	Conductividad(uS/cm)	Turbiedad(UNT)	Temperatura(°C)	Oxígeno disuelto(ppm)	Solidos totales(mg/L)
10/10/2016	8.5	490	12	23.5	13	230
21/10/2016	7.1	530	15.1	23.7	5.08	250
24/10/2016	8.9	480	19.2	23.7	13.23	230
31/10/2016	8.3	500	17	23.2	9.52	240
03/11/2016	9.2	470	22.1	24.3	13.35	230
07/11/2016	9.2	450	17.3	26	10.92	220
10/11/2016	8.6	500	25.1	24.2	9.47	240
16/11/2016	8.9	460	12.9	25.5	8.09	220
Promedio	8.2	495.0	19.0	24.6	9.2	235.0

Tabla 3
 Eficiencia de los parámetros tomados en el muestreo

Parámetros fisicoquímico	Datos pre	Datos post	Eficiencia de parámetros (%)	ECA (categoría 3)	Eficiencia ECA (%)
pH	8.5	8.2	95%	6.5 – 8.5	
T° (C°)	23.5	24.6	-4%	3	
Conductividad(uS/cm)	490	495	-1%	2 500	
Ox. Disuelto (ppm)	13	9.2	71%	4 mg/L	
Solidos Totales(mg/L)	230	235	-2%	-----	100%
Turbiedad (UNT)	12	19	-58%	-----	
DBO ₅ (mg/L)	14	7.7	55%	15	
DQO (mg/L)	16.94	8.47	50%	40	
Sulfato(ml/L)	0.9	0.57	63%	---	
Plomo total (ml/L)	0.115	0.001	87%	0.05	

El cálculo de eficiencia de los parámetros analizados fue a 31% de eficiencia, como observamos en la tabla pH, sulfato y Plomo fue más eficiente en la remoción.



Gráfica 1. Resultado del monitoreo del pH

Según (García, 2012), El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6.5 y 8.5 es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9 donde relativamente existe la mayor parte de la vida biológica. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos.

En la **gráfica 01**, El pH permanece razonablemente constante en los parámetros, a menos que la calidad de agua ingrese a la mansión con cargas altas y el pH aumenta hacia la basicidad. Esto debido al origen del suministro del agua y el aporte por sustancias de uso domésticos.

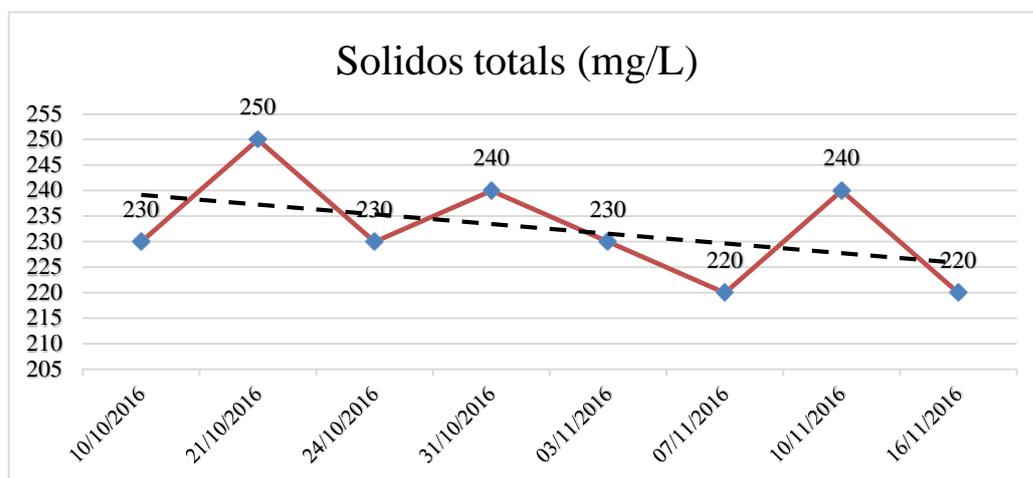
Según el D.S. N° 015-MINAM, el intervalo del potencial de hidrogeno debe ser de 6.5- 8.5, para el riego de vegetales de tallos alto y bajo. El pH en la laguna de mansión se adecua con el estándar a un periodo de retención de tres a cuatro días.

Temperatura (°C)

La temperatura es importante, ya que muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura, esta influye de forma muy significativa en las especies acuáticas influyendo en su metabolismo, productividad primaria, respiración y descomposición de materia orgánica. Puede también influir en las velocidades de las reacciones químicas, en los usos del agua y en la vida de la flora y la fauna acuática, puede provocar la coagulación de las proteínas de la materia orgánica y aumentar la toxicidad de algunas sustancias. La temperatura de un agua residual varía de estación en estación y también con la posición geográfica. En regiones frías, la temperatura varía de 7 a 18°C mientras que en regiones cálidas la variación será de 13 a 30°C. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango 25 a 35°C.

Sólidos totales (mg/L)

Los sólidos totales representan la suma de los SDT (Sólidos Disueltos Totales) y SST (Sólidos Suspendidos Totales), además estos poseen fracciones de sólidos fijos y sólidos volátiles, que pueden ser sedimentables y no sedimentables. Generalmente cerca del 60% del total de sólidos suspendidos en aguas residuales son sedimentables. La prueba de SST son usados comúnmente como una medida de desempeño de las unidades de tratamiento y con propósitos de control, pues los sólidos sedimentables son aquellos que ocasionan la formación de bancos de lodos que producen olores desagradables ia (Garcia,2012).



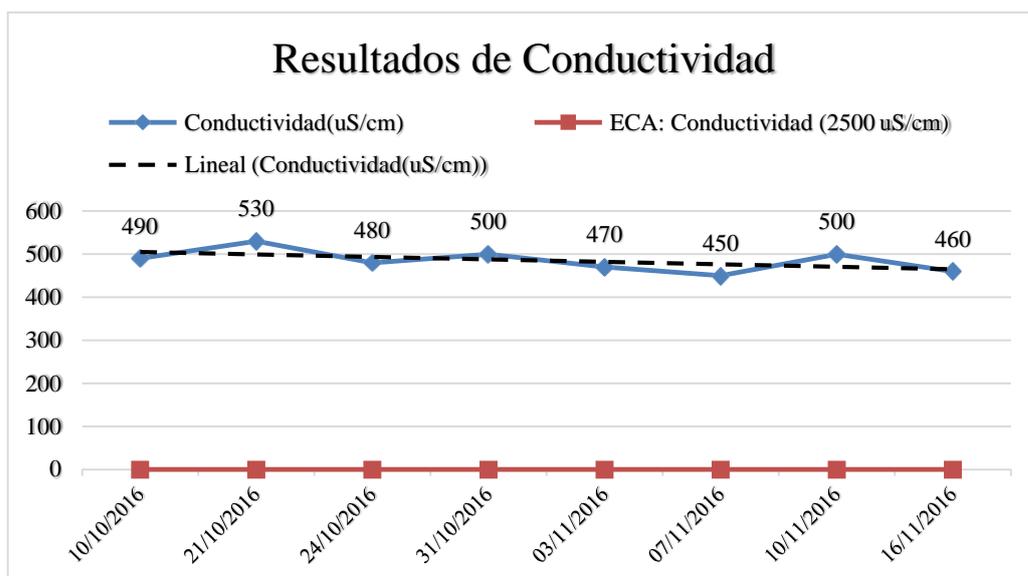
Gráfica 2. Resultados del muestreo de los sólidos totales

En la gráfica 2 presenciamos los datos del monitoreo de solidos totales los días que ingresa el agua a la mansión entra con más y cuando pasa un tiempo de retención de tres a cuatros días, en ese tiempo los sólidos totales disminuyen.

Conductividad (uS/cm).

Según (Wilfredo Robles, 2009) La conductividad eléctrica indica el contenido en sales disueltas en el agua. El uso doméstico de las aguas suele elevar su conductividad a valores de entre 1.000 y 2.000 μ Siemens/cm.

Si el destino final fuese el agua para riego, es necesario añadir a los anteriores parámetros algunos que permitan la evaluación del riesgo de salinización de los suelos. Así, los parámetros mínimos a determinar son la conductividad eléctrica, el sodio y los cloruros (Vargas, 2005).



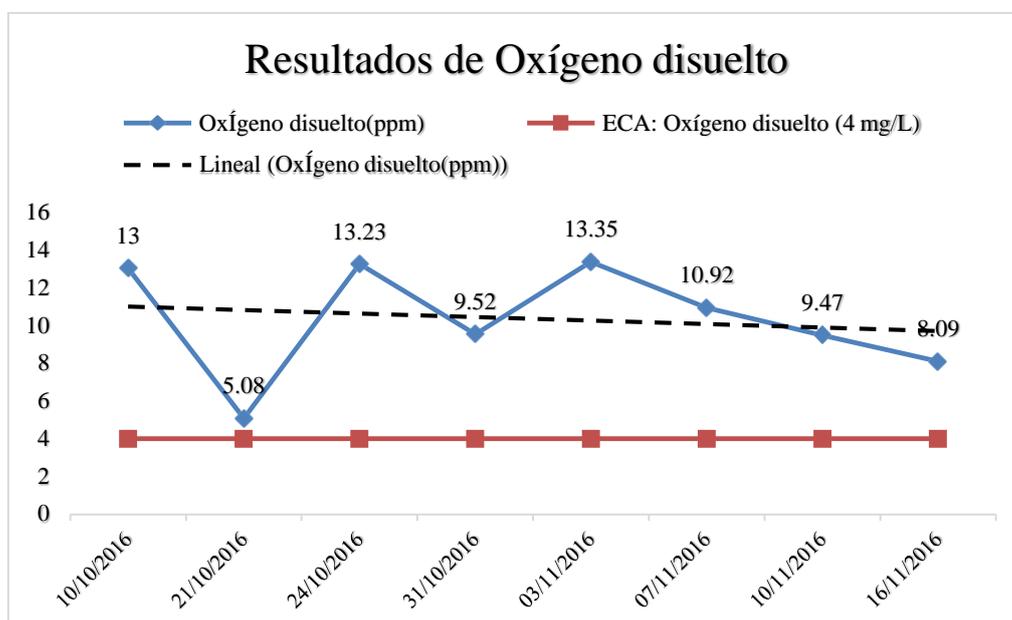
Gráfica 3. Resultado de la remoción de conductividad

En esta gráfica 03, se muestra las curvas para cada punto correspondiente al comportamiento de la conductividad con respecto al tiempo de retención, tal es el caso del punto 2 y 3. Ya que el punto 2 se tomó con un tiempo de retención de 1 día por lo cual muestra una conductividad de 530 uS/cm, y el punto 3 tiene un tiempo de retención de 5 días con una conductividad de 480. Entonces la relación de la conductividad con el tiempo de retención es directamente proporcional.

Oxígeno Disuelto (ppm)

Según (Zarela & Garcia, 2012) La presencia oxígeno disuelto en el agua es indispensable para la vida de peces y otros seres acuáticos, el problema es la baja solubilidad de este gas en el agua, además la cantidad de oxígeno en el agua depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión.

Los desperdicios orgánicos que se encuentran en el agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno para su respiración, esto quiere decir que cuanto mayor es la cantidad de materia orgánica, mayor es el número de microorganismos y por tanto mayor consumo de oxígeno. En muchas ocasiones esta falta de oxígeno es la causa de la muerte de peces y otros animales acuáticos más que la existencia de los compuestos tóxicos.



Gráfica 4. Gráfica de los resultados del Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto en las dos primeras semanas tuvo un descenso y ascenso notable en los datos obtenidos. Sin embargo, a partir de la tercera semana iba en descenso. Esto era debido a que los días de retención en la tercera y cuarta semana no eran de 4 días, ya que ingresaba agua muy seguido a la laguna provocando que los microorganismos ubicados en las raíces del Jacinto de agua necesitaran consumir una mayor cantidad de oxígeno para lograr absorber la materia orgánica y así cumplir su función. En el primer dato obtuvimos 13 ppm de oxígeno disuelto y como dato final obtuvimos 8.09 ppm de oxígeno disuelto.

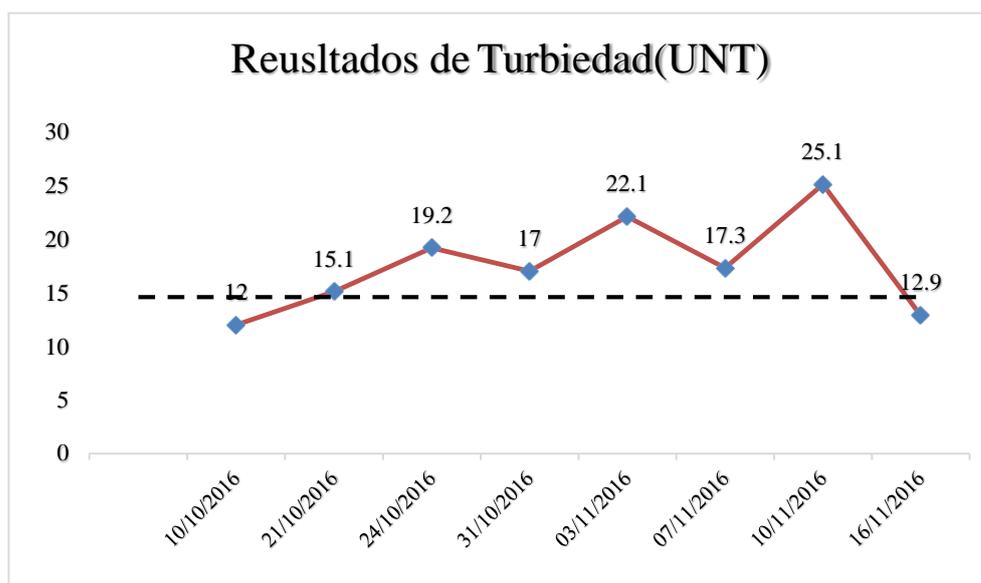
Turbiedad (UNT)

Según Meerhoff & Mazzeo (2004), la interacción plantas flotantes-fitoplancton se ha descrito colateralmente a través de estudios realizados con otros objetivos, mientras que muy pocos trabajos han estudiado la comunidad perifítica asociada. En sistemas con una cobertura densa, es usual que este tipo de vegetación provoque una disminución de la turbidez del agua, tanto la determinada por una alta biomasa de fitoplancton como por sólidos en suspensión. Además de reducir la penetración de luz y la concentración de nutrientes, y por tanto la producción fitoplanctónica, el sistema radicular de *E. crassipes* puede retener grandes cantidades de biomasa fitoplanctónica y sólidos en suspensión.

La turbiedad decrece debido a la competencia para la supervivencia entre las algas con la macrófita, siendo la más beneficiada esta última a causa de la luz solar que le favorece para su desarrollo. Además, la disminución de la concentración de algas reduce los parámetros de DBO5, DQO, sólidos en suspensión y turbiedad (Zarela & Garcia, 2012).

Además, las primeras dos semanas de monitoreo no se tuvo una buena eficiencia de remoción de la turbiedad debido al proceso de adaptación por parte del Jacinto de agua en la laguna.

(González Romero, 2015) El periodo de adaptación se encuentra entre 2 y 4 semanas, este tiempo las especies vegetales se encuentran estresadas y no permiten un buen desenvolvimiento en la captación de nutrientes



Gráfica 5. Resultados obtenidos de las muestras de la Turbiedad

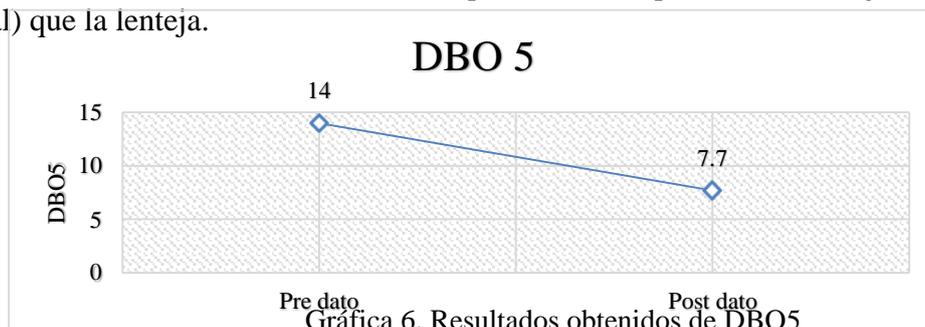
El Jacinto de agua mostraba una disminución notable en la turbiedad, ya que esta era analizada con un tiempo de retención de 4 días. Además, se consideró el análisis de la muestra con un tiempo de retención de 1 día. Con la finalidad de obtener comparaciones entre la eficiencia del tiempo de remoción. Sin embargo, el ingreso de agua a la laguna a veces era variado y no se conseguían en todos

los monitores este tiempo de retención. El primer muestreo nos dio una turbiedad de 12 UNT y el dato final a la cuarta semana nos dio una turbiedad de 12.9 UNT.

DBO₅

En Colombia en la Universidad Javeriana se realizó tratamiento de aguas residuales con *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua) y muestra su eficiencia Según (Martelo, 2012) Esta especie, de acuerdo con los reportes de la literatura, alcanza reducciones de DBO₅ en el orden de 95 %.

Según (Rodríguez-Miranda, Gómez, Garavito, & López, 2010) el comportamiento de la DBO₅ en los humedales artificiales presenta la consideración de que la DBO₅ afluente es muy variable en el tiempo, con picos máximos y mínimos correspondientes a eventos climatológicos de la zona. En términos de la DBO₅ efluente, se observa que el buchón presenta una mejor adaptación (dentro del humedal) que la lenteja.



En la *gráfica 06*, se muestra la comparación de los resultados pre y post por lo cual hay una disminución de DBO₅ de 14 a 7.7 entonces la eficiencia del Jacinto de agua en este parámetro sería de 55%.

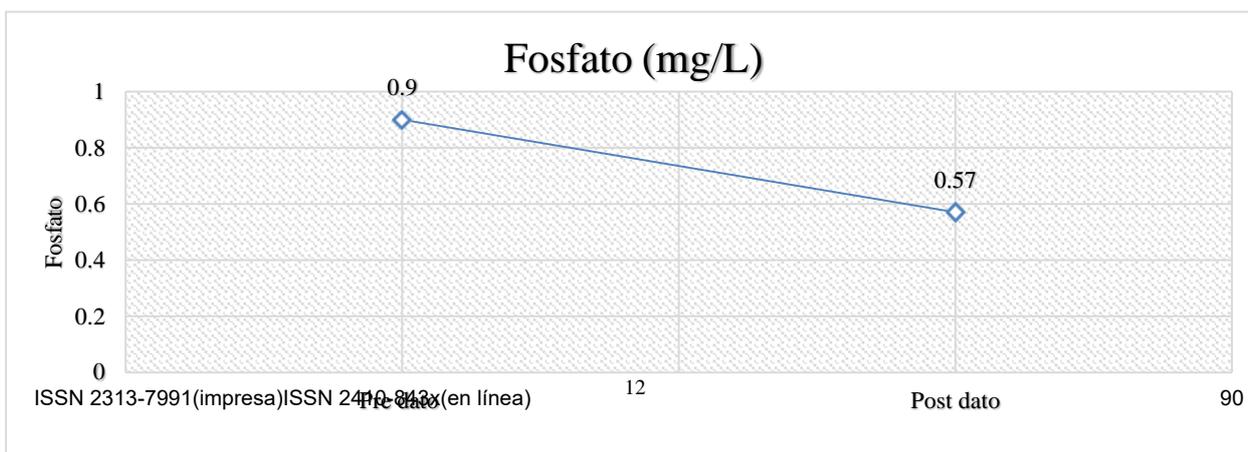
Fosfato

El fosfato forma parte de un conjunto de sales que sirven como nutrientes para el Jacinto de agua, además estas son removidas por parte de los microorganismos presentes en las raíces.

Esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, fierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes. Poseen un sistema de raíces, que pueden tener microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas. En general, estas plantas son capaces de retener en sus tejidos una gran variedad de metales pesados (como cadmio, mercurio, arsénico). (Hidalgo, Montano, & Estrada, 2005).

El mecanismo de cómo actúa se cree es a través de formaciones de complejos entre el metal pesado con los aminoácidos presentes dentro de la célula, previa absorción de estos metales a través de las raíces. Otro posible mecanismo sugiere que los microorganismos presentes en las raíces producen sólidos que floculan, y luego sedimentan por gravedad.

Con relación a la biodisponibilidad de nitrógeno y fósforo, el lirio acuático puede establecerse y sobrevivir en cuerpos de agua con niveles muy bajos de nitratos y de fosfatos (Olvera, 2009).



Gráfica 7. Resultados del fosfato

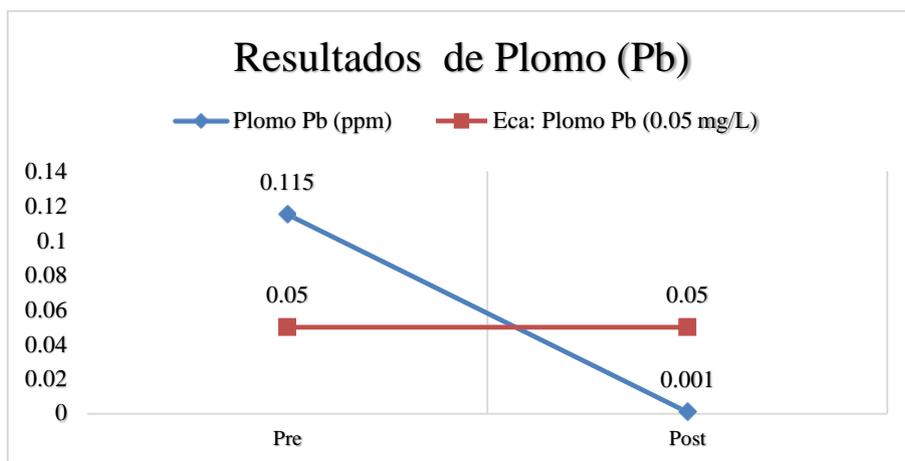
Plomo

La contaminación del agua por plomo no se origina directamente por el plomo sino por sus sales solubles en agua que son generadas por las fábricas de pinturas, de acumuladores, por alfarerías con esmaltado, en fototermografía, en pirotécnia, en la coloración a vidrios o por industrias químicas productoras de tetraetilo de plomo (se usa como antidetonante en gasolinas) y por algunas actividades mineras, etc. (Cousillas, 2013)

De acuerdo a lo observado puede determinarse que tanto *E. crassipes* como *L. peploides* son plantas acuáticas que se adaptan muy bien a condiciones artificiales de crecimiento y pueden utilizarse de forma práctica y fácil en el caso de una posible afirmación en el supuesto de que funcionan como fitorremediadoras y de esta manera darles un potencial uso como biofiltros para tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados como el plomo y el cadmio (Perez & Rodrigue, 2011).

Se ha encontrado también que además de ser eficiente removiendo nutrientes, es capaz de absorber ciertos contaminantes presentes en el agua. En un estudio de Fitorremediación de metales pesados por el Jacinto de agua en humedales artificiales, realizado en Taiwán, se determinó la capacidad de absorción de las raíces del Jacinto de agua para ciertos metales pesados. Se encontró una absorción de plomo por las raíces del mismo de 5.4 kg/ha siendo ésta la planta más eficiente en la absorción del plomo (Victoria, 2012).

En 4 especímenes de tilapia del Nilo se detectó la presencia de Hg, Pb y Cu, en los tejidos evaluados. La mayor concentración se registró en hígado y branquias (5 µg/g), y la menor en el tejido muscular (0,01 µg/g) para el mercurio, en cuanto al plomo y cobre las concentraciones más altas fueron 0,51 µg/g en branquias y 3,2 µg/g en hígado respectivamente (Vergara Estupiñán, 2015).



Grafica 8. Resultados del plomo

Crecimiento del Jacinto de Agua según el medio

En el sistema flotante el crecimiento del Jacinto de agua ubicada en la laguna de la mansión incrementó el crecimiento de las hojas de color verde oscuros, la reproducción fue de forma horizontal a la superficie de agua consumiendo más área. Los bulbos presentaron características esponjosas, largas casi formando tallos y su crece fue de forma perpendicularmente a la superficie del agua. Este crecimiento fue apreciando cada 3-5 días, llegando a los 15 días se duplicó la especie y así mismo terminó llenando todo el sistema y aumentando en tamaño.

En la laguna de la mansión se encuentran siete sistemas flotantes, 5 del mismo tamaño y dos sistemas más grandes. Este crecimiento (ver *anexo figura N°09*) se aceleró debido a los nutrientes que se encuentran en la laguna de la mansión y la oxigenación del agua.

En comparación al crecimiento de esta especie en el invernadero, estas presentaron características como hojas de color amarilla, crecimiento lento (se duplico después de 3 - 4 semanas aproximadamente) esto fue causado porque no había oxigenación del agua.

Según (Gutiérrez, 1994), El crecimiento de buchón de agua es a la capacidad reproductiva de la

planta, su adaptabilidad, los requerimientos nutricionales y la resistencia a ambientes adversos la convierten en una especie imposible de erradicar y de control sumamente difícil. Se han probado una gran cantidad de métodos para dominar el crecimiento de esta maleza. Los herbicidas son usados con cierta frecuencia ya que proporcionan una herramienta de acción inmediata.

4. Conclusiones

En conclusión, el trabajo de investigación obtuvo una eficiencia de 31% en la remoción de parámetros físico Químico (conductividad (Us/cm), Oxígeno disuelto (mg/L), sólidos totales (mg/L), turbiedad (UNT), pH, temperatura (°C), DBO5 (mg/L), DQO (mg/L), fosfato (mg/L) y plomo total. En cuanto al crecimiento de la macrofitas flotante Jacinto de agua, fue más rápido en comparación con las especies del invernadero, ya que dentro del sistema flotante el crecimiento se duplicó en 15 días y en el vivero demoró 3-4 semanas, además se hizo los monitoreo durante dos meses.

5. Recomendaciones

- ❖ Instalar más sistemas flotantes para poder alcanzar la eficiencia adecuada con los parámetros fisicoquímico.
- ❖ Hacer el monitoreo en función de ingreso y tiempo de retención del agua los parámetros fisicoquímicos.
- ❖ Implementar un Sistema primario para retener los residuos flotantes, aceites y grasas.

Referencias

- Bolivar, C. (2011). *Manual de procedimeinto en toma de muestras*. Obtenido de Manual de procedimeinto en toma de muestras: <http://tecnologosencontrolambientalsenacicuc.blogspot.pe/p/manual-de-procedimiento-de-toma-de.html>
- Bres, P.; Crespo, D.; Rizzo P.; La Rossa, R. (2012). Capacidad de las macrofitas Lemna minor y Eichhornia crassipes para eliminar el níquel. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(2), 153–157. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86423631010>
- Cousillas, D. Q. (2013). Contaminación del agua. *HYTSA*.
- Delgadillo-lópez, A. E., & González-ramírez, C. A. (2011). Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14 (2011): 597- 612. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597–612.
- Gonzáles Romero, Y. (2015). *Fitorremediación de aguas residuales de la extracción de aceites de palma africana*. Lima: Universidad de las Americas.
- Gutiérrez, E. A. (1994). *Progresos en el manejo del jacinto de agua (Eichhornia crassipes)*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/007/y5031s/y5031s0c.htm>
- Hidalgo, C., Montano, J., & Estrada, S. (2005). *Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas*. Chillán. http://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria22/feria353_01_lirio_acuatico_eichhornia_crassipes_problema_resue.pdf
- Lemus, A. A. (2014). *Investigación de la caracterización del Jacinto de agua Eichornia Crassipes del humedal cerro grande, para determinar su aprovechamiento como materia prima en la elaboración de productos, industriales, agroindustriales o artesanales*. El salvador.
- Martelo, J. (2012). Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales. *Dialnet*.
- Meerhoff, & Mazzeo. (2004). Importancia de las plantas flotantes libres de gran porte en la conservación y rehabilitación de lagos someros de Sudamérica. . *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 13-22.
- Much Santos. (2008). *Evaluación de la distribución de metales pesados en las plantas acuáticas Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y Tul (Thypa spp) utilizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales la cerra, villa canales por medio de fluorescencia de rayos X*.

- Olvera. (2009). *Lirio acuático (eichhornia crassipes)*. Obtenido de Ospino Zambrano, W., Hernández Cardona, M., Ochoa Ceballos, L., Camilo Cadavid, J., & Perez, J., & Rodrigue, R. (2011). Determinación del tiempo máximo de absorción del plomo (pb) y cadmio (cd) por macrófitas acuáticas en condiciones de laboratorio. Universidad Autonoma Queretano, 6.
- Ramil Rego, P., Rubinos Román, M., Gómez Orellana, L., Rodríguez, P., & Hinojo Sánchez, B. (2015). *Eichhornia crassipes (Mart) Solms en el Parque Nacional Marítimo-Terrestre das Illas Atlánticas de Galicia como resultado de un transporte por mar a larga distancia. Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural (IBADER)*, 18.
- Rial, A. (2013). Plantas acuáticas: aspectos sobre su distribución geográfica, condición de maleza y usos. *Biota Colombiana*, 5-6.
- Robles, P. P. (2009). *Jacinto de agua*. Mayaguez.
- Rodriguez Fernández-Alba, A., Letón García, P., Rosal García, R., Dorado Valiño, M., Villar Fernández, S., & Sanz García, J. M. (2006). Tratamientos Avanzados De Aguas Residuales Industriales. *Citme*, 6,8. 13, 30, 34. <http://doi.org/M-30985-2006>
- Rodríguez-Miranda, J. P., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domesticas utilizando lentejas y buchon de agua en humedales artificiales. *Scielo*, 64.
- Romero, T., Santiso, P., & González, O. (2014). Caracterización de las aguas residuales de la empresa procesadora de alimentos PRODAL, Cuba Characterization of waste water of PRODAL food industry , Cuba, XXXV(3), 88–100.
- Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, E., & Ortiz-Hernández, M. L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 25(3), 157–167.
- Ulloa, J. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichornia Crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad marina*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Vergara Estupiñán, P. E. (2015). Presencia de mercurio, plomo y cobre en tejidos de *Oreochromis niloticus*: sector de la cuenca alta del Rio Chicamocha, vereda Volcán, Paipa, Colombia*. *Scielo*.
- Victoria, C. A. (2012). Cuantificación de nutrientes (Calcio, Cobre, Cromo, Fósforo, Hierro, Magnesio, Manganeso, Nitrogeno, Potasio, Sulfato, Zinc) y determinación de contaminantes (Arsenico, Mercurio, Plomo, Cadmio) en el Jacinto de agua (*Echhornia Crassipes*) del lago A. *Universidad San Carlos Guatemala* , 11.
- Zarela, M., & Garcia, T. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.