

EVALUACIÓN DE *Eichornia crassipes*, *Lemna minor* y *Azolla anabaena* PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE LAS AGUAS CONTAMINADAS DEL RÍO BOGOTÁ PARA SU POSTERIOR USO COMO AGUA DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS.

EVALUATION OF *Eichornia crassipes*, *Lemna minor* and *Azolla anabaena* FOR PHYTOREMEDIATION OF THE CONTAMINATED WATERS OF THE BOGOTÁ RIVER FOR ITS LATER USE AS IRRIGATION WATER IN THE PRODUCTION OF VEGETABLES

Fabian Rojas Sanchez¹ Manuel Francisco Polanco Puerta².

Resumen

Tres especies de macrófitas fueron evaluadas; *Eichornia crassipes*, *Lemna minor* y *Azolla anabaena* para identificar su potencial fitorremediador de aguas de uso agropecuario del distrito de riego La Ramada abastecido por el río Bogotá. El río Bogotá es un referente internacional de contaminación, debido a su alta carga de residuos domésticos e industriales. Se realizaron tratamientos de flujo discontinuo, simulando agua estancada, por medio de 12 contenedores plásticos. En cada contenedor se vertió 60L de agua del río Bogotá y se sembraron 50 plantas de cada especie vegetal. Al momento de la cosecha, se realizó análisis físico, químico y microbiológico del agua residual. Con los datos obtenidos se realizó análisis de varianza poblacional (ANOVA). *Lemna minor* presentó mayores porcentajes de efectividad en remoción de metales pesados como mercurio y DBO5, *Eichornia crassipes* mostró mayor eficiencia en remoción del parámetro DQO, y para el caso de *Azolla anabaena* se evidenció una nula remoción en los parámetros evaluados. Por consiguiente, se recomienda la utilización de *Lemna minor* en planes de recuperación de aguas contaminadas por factores físicos, químicos y biológicos. Lo anterior al presentar los mejores resultados frente a las variables evaluadas en el presente estudio.

Palabras clave: Biosistema, Fitorremediación, macrófitas, remoción, tratamiento de agua residual.

Abstract

Three species of macrophytes were evaluated; *Eichornia crassipes*, *Lemna minor* and *Azolla anabaena* to identify their potential for phytoremediation of water for agricultural and livestock uses in the La Ramada irrigation district supplied by the Bogotá river. The Bogotá river is an international pollution reference, due to its high load of domestic and industrial waste. Discontinuous flow treatments were carried out, simulating stagnant water, using 12 plastic containers. 60L of water from the Bogotá River was poured into each container and 50 plants of each specie were planted. At the time of harvest, a physical, chemical, and microbiological analysis of the residual water was carried out. An analysis of variance (ANOVA) was performed using the data obtained. *Lemna minor* presented higher percentages of effectiveness in removal of heavy metals and BOD5, *Eichornia crassipes*, showed greater efficiency in removal of the COD parameter, and in the case of *Azolla anabaena*, null removal was evidenced in the evaluated parameters. Therefore, the use of *Lemna minor* is recommended in recovery plans for water contaminated by physical, chemical and biological

¹ Estudiante de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (Universidad de Manizales). Enviar correspondencia a Fabian Rojas Sanchez, 3137777192, frknevas@gmail.com

² Docente Investigador Universidad de Manizales– Doctor en Desarrollo sostenible: economía, sociedad y medio ambiente (Universidad Católica Santa Teresa de Ávila). Master en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento (Universidad Nacional de Colombia). Especialista en fruticultura internacional (Universidad Politécnica de Valencia) e Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Colombia) Correo electrónico:mpolanco@umanizales.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4810-0081>,

factors. The above when presenting the best results against the variables evaluated in the present study.

Keywords: Biosystem, Phytoremediation, wastewater treatment, macrophytes, removal

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la contaminación ambiental se ha convertido en uno de los factores de mayor importancia a nivel mundial, ya que es un proceso cíclico en donde se ven afectados todos los componentes ambientales como el aire, suelo, agua, y seres vivos, en especial los dos últimos ya que causa efectos adversos en la salud humana por la alta persistencia de contaminantes (xenobióticos) (Domínguez, 2015). Una de las más claras consecuencias negativas sobre la salud humana, se relaciona con el deterioro ambiental, puntualmente con la contaminación del agua. De acuerdo al ENA (IDEAM, 2019), la oferta hídrica de Colombia asciende en promedio a 2.918 km³ anuales, su demanda está asociada con la mayor participación agrícola con el 43,1%, energía con el 24,3% y pecuario con el 8,2%, concentrando el 76% de la demanda hídrica nacional, dentro de cada cuenca hidrográfica.

En la sabana cundiboyacense se realizan actividades agropecuarias, industriales y residenciales que generan residuos potencialmente peligrosos como metales pesados (Cd, Pb, Hg, As y Cr) y coliformes fecales, que son vertidos a fuentes hídricas como el río Bogotá sin un tratamiento adecuado. Estas aguas recorren varios municipios en los que se realiza producción agrícola y pecuaria para abastecer la demanda alimenticia tanto municipal como de la capital (Giraldo y Lozano, 2006). Debido a esto, algunos autores (Fernández, 2000) han llamado la atención acerca de la importancia de que toda actividad humana que genere aguas residuales, esté obligatoriamente sometida a un tratamiento que garantice la continuidad del ciclo de consumo del recurso. Para el año 2000, Fernández denominó "sistemas blandos o extensivos" a aquellos sistemas empleados en aguas residuales que se encuentran en tratamiento, sin comprometer la eficacia de la depuración del agua residual.

Diversos enfoques enlistan la remediación de suelos y aguas, uno de ellos es la fitoextracción tipo fitorremediación, se ha desarrollado como una alternativa de tratamiento de recursos afectados con diferentes tipos de contaminantes (aguas residuales, biosólidos y metales pesados), es altamente efectiva, a bajo costo y respetuosa con el medio ambiente, se plantea como estrategia ecológicamente integral, debido a que no presenta efectos secundarios sobre la salud y textura del suelo (Khan et al., 2014). El empleo de métodos biológicos en la remediación de ambientes contaminados presenta ventajas comparativas respecto a las tecnologías cotidianas; por ejemplo, presenta menor residualidad, mayor eficacia a grandes volúmenes y pequeñas concentraciones, y es más económico (Garzón et al., 2017). Para el año 2000 solo el 4% de 2255 artículos científicos, estuvieron relacionados con sistemas de tratamiento de aguas residuales, pero solo el 33% de dichas investigaciones han optado por aplicaciones con plantas acuáticas o macrófitas (Martelo & Lara, 2012).

Bajo este contexto, el proyecto busca evaluar cuáles de las tres especies de macrófitas *Eichornia crassipes*, *Lemna minor* y *Azolla anabaena* muestra un mejor potencial como modelo fitorremediador, determinando a su vez el porcentaje de ganancia en la biomasa encontrada dentro del estudio y así valorar cuál especie se desempeña mejor para el tratamiento del agua proveniente del distrito de riego de La Ramada, abastecido por el río Bogotá, cuyas aguas tienen uso agropecuario en la vereda San José en Mosquera, Cundinamarca,

MATERIALES Y MÉTODOS

Montaje Unidades Experimentales

La Granja Agroecológica Experimental Mosquera se encuentra ubicada en la sabana occidente, en la vereda san José municipio de Mosquera del departamento de Cundinamarca, en promedio a 2.570 msnm, 30 metros más bajo el nivel que la ciudad de Bogotá, con un área de 32.470 m² y cuenta con una temperatura promedio anual de 12.6°C. Para el establecimiento de las unidades experimentales se dispuso de un área de 4 m² en donde se determinó un análisis del contenido metales pesados con el fin de evaluar los contenidos fisicoquímicos como: Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno (DBOs), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Arsénico (As) y Cromo (Cr), además de los análisis microbiológicos: Coliformes totales (CT) y Coliformes Fecales (CF) del agua residual proveniente del río bogotá.

Fase campo

Se utilizó tratamientos de flujo discontinuo o comúnmente llamado por tanda, los cuales consisten en simular pequeñas lagunas de aguas estancadas, por lo cual se dispuso de 12 tambores plásticos de 0.29 m de profundidad y de diámetro, allí se vertió 60L de agua del río bogotá por medio de una motobomba de 1 pulgada de salida y una potencia de 1hp, luego se procedió hacer la siembra de 50 plantas de cada especie por tambor. Las especies vegetales utilizadas fueron *Eichornia crassipes*, *Lemna minor* y *Azolla anabaena*, recolectadas del jardín botánico José Celestino Mutis ubicada en la ciudad de Bogotá, a una temperatura promedio de 14°C se realizó una toma de valores de peso fresco y peso seco

Tratamientos

Cada especie simuló ser un tratamiento dentro del sistema por tandas, donde T0 es Tambor sin plantas macrófitas, T1 Tambor con *Azolla anabaena*, T2 Tambor con *Lemna minor* Y T3 Tambor con *Eichornia crassipes*, dispuestos con tres repeticiones, para un total de doce (12) unidades experimentales; en cada sistema se cultivó 50 plantas de cada especie, allí se comparó el porcentaje de remoción de metales pesados por cada especie y la cantidad microbiológica en NMP/100mL

Toma de muestras

Una vez establecidas las unidades experimentales, la recolección de muestras simples se realizaron a los 20, 40 y 80 días, el procedimiento se realizó de acuerdo a la guía de recolección de muestras del laboratorio; se colocaron en envases plásticos para analizar los parámetros fisicoquímicos, mientras que para el análisis de los parámetros microbiológicos se utilizó botellas de vidrio, fueron transportadas al laboratorio por medio de neveras de conservación para ser analizadas en el menor tiempo posible al laboratorio de microbiología FUNDASES, Bogotá.

Base de datos y análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R Project for Statistical Computing version R 3.5.0 (R Core Team, 2018). Para el análisis de los datos de densidad poblacional general y por cada grupo microbiológico, se realizó por medio de una ANOVA (Análisis estadísticos de Varianza), comparando los tratamientos expuestos a una prueba de comparación múltiple LSD.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Dado los resultados de las variables fisicoquímicas, en la figura 1 se representan los niveles de la variable DQO (Demanda Química de Oxígeno) demostrando que estadísticamente hay diferencia significativa suficiente para rechazar la igualdad de la respuesta media de la DQO para cada uno de los tratamientos y control aplicados, demostrando que la variable DQO se comporta de manera diferencial para los tratamientos y el control, de modo que la especie *A. anabaena* presenta el mismo comportamiento que el control y las especies *L. minor* y *E. crassipes* se comportan de manera diferente frente al control.

A partir de entonces, se puede interpretar que el control y la especie *A. anabaena* son los sistemas que mayor nivel de miligramo por litro presentan para la variable DQO, con un 383 mg/L y 557 mg/L respectivamente. El nivel del tratamiento testigo se puede atribuir a la sedimentación y la actividad de microorganismos en suspensión, como heterótrofos aerobios y anaerobios (Kadlec et al, 2000), los cuales se encuentran adheridos a las paredes de la macrófita o al tanque, por otra parte, el elevado nivel de *A. anabaena* el cual representa un 45% de más sobre el control, se demuestra también en el estudio realizado por Huetio y Ortiz (2016) sobre el análisis de remoción de cargas contaminantes a través de un filtro biológico para tratar efluentes provenientes de procesos productivos agropecuarios de ganadería porcina donde la correlación entre la masa de Azolla con la remoción de DQO fue de 32 mg/L, dado que cuando la macrófita se acerca a su punto de saturación la eficiencia baja, lo que posiblemente haya ocurrido para el presente estudio.

La mayor remoción para el sistema de flujo discontinuo o por tanda se obtuvo con la especie *L. minor* dado que logró un porcentaje de eliminación de 31% en comparación al valor presente de DQO en el testigo control, reduciendo los niveles de 383 a 121 mg/L respectivamente, está eficiencia probablemente esté asociada a que la especie presenta una mayor tasa de oxidación química de la materia orgánica del agua residual (González, 2001). Resultado que concuerda con un estudio de Malaver tras haber realizado una evaluación de un humedal artificial empleando con *Lemna minor* para el tratamiento de aguas residuales en 2013, allí comprueba la efectividad de la aplicabilidad del tratamiento con esta especie debido a que el sistema con *L. minor* presentó una mayor remoción que el humedal testigo, se demostró una alta capacidad de retención de sólidos, remoción de fósforo total, nitrógeno orgánico total y presentó una remoción máxima para DQO de 97.11% en contenedores de 10 L

Por otra parte, la especie *Eichhornia crassipes* o jacinto de agua presentó un nivel de concentración de 206 mg/L removiendo un 53% en la cantidad de DQO, aunque se encuentra dentro del promedio de remoción en comparación a los otros tratamientos, se establece con un porcentaje inferior al estudio realizado por Chuquibala y Sánchez en 2017, dado que obtuvieron un 77% tras aplicar *Eichhornia crassipes* en humedales artificiales con agua residual, bajo las mismas condiciones del presente estudio.

De acuerdo con la figura 2 se representan los niveles de la variable DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno), donde se concluye que la variable se comporta de manera diferencial para los tratamientos y control, de manera tal que, para la captación de DBO5 la única especie que se comporta de manera diferencial al control es Azola, las otras especies no representan diferencias significativas.

Para el estudio Azola no tuvo una adecuada remoción de este parámetro dado que presentó un nivel de DBO5 de 361 mg/L, superando en un 238% al tratamiento control que presentó un nivel de 151 mg/L, reacción que pudo estar influenciada a que la especie no proporcionó la cantidad de materia orgánica biodegradable necesaria en este sistema (Castañeda y Flores, 2014). Caso contrario

ocurrió, según los valores del porcentaje de remoción en el estudio de Huetio y Ortiz (2016) dado que la especie *Azolla Anabaena* logró reducir la demanda bioquímica de oxígeno alcanzando valores máximos de 39.1 mg/L, lo que logra la reducción hasta un 33%; considerándose alta dado que el sistema se presentaba diluido, por lo cual se concluyó que la planta elimina algunos contaminantes en su proceso, mas sin embargo se encuentra por fuera de lo establecido en la normatividad ambiental vigente en el país.

Las especies *L. minor* (lenteja de agua) y *E. crassipes* (jacinto de agua) no presentan diferencias significativas respecto al testigo control, dado que removieron los niveles de DBO5 en 78 y 10 mg/L respectivamente, en el cual *Lemna* representa un 50% y *Eichhornia* el nivel más bajo del estudio con un 8% del total de remoción de DBO5. Resultados que no concuerdan con estudios de años anteriores teniendo el mismo sistema, por ejemplo, en el año 2010 Rodríguez et al, realizaron un estudio comparativo con humedales artificiales donde obtuvieron una remoción de 58% al utilizar lenteja de agua y entre el 70 y 80% al utilizar jacinto de agua, allí evidenciaron que las especies favorecen la estabilización de la materia orgánica dentro del sistema.

Según Amador & Lara desde 1998 estudiaron numerosas investigaciones experimentales, donde lograron demostrar que la especie *Eichhornia crassipes* puede eliminar un 97% las concentraciones de DBO5, obteniendo resultados más eficientes que la especie *Azolla*. Caso que concuerda con la investigación de El-Gendy et al. (2005), donde el jacinto de agua logró remover cerca de 97% de la demanda bioquímica de oxígeno y un 95% en la remoción de sólidos suspendidos totales (SST), demostrando que a mayor porcentaje de SST se obtendrá una mayor remoción de DBO5.

En un estudio de Arias et al (2015) se logró obtener un tratamiento de agua residual con plantas de lenteja de agua (*Lemna minor*), en el cual los resultados mostraron que el promedio de porcentajes de eliminación de DBO5 se obtuvieron con un tiempo de retención hidráulica de 8 días, donde los valores de DBO5 disminuyeron de un 82.7% teniendo en cuenta que precisa de someterse previamente a un tratamiento primario como la sedimentación, de modo que se garantiza una mayor eficiencia en la eliminación de los altos niveles del parámetro.

En la figura 3 se observan los niveles de la variable Mercurio (Hg) en el cual se concluye la presencia media del metal, allí se demuestra que se comporta de manera diferencial los tratamientos y el control, pero que los tratamientos entre sí no presentan diferencia estadística, de manera tal que el control es la unidad experimental con mayor contenido de Hg, respecto a las unidades de *Azolla*, *Lemna* y *Eichornia*.

El 100% en los niveles del metal pesado de Hg se obtuvo en el tratamiento control, con 0,0036 mg/L, demostrando la gran sedimentación que presentó esa unidad experimental. Caso que se puede explicar por investigaciones de Stupar et al (2014) dado que determinan que en los sistemas de agua tratante el mercurio queda retenido en los sedimentos y con ello detiene su movilización y transporte, los cuales se obtienen a partir de procesos biogeoquímicos; de modo que contienen un 90% de mercurio particulado, debido a su baja formación de especies solubles de modo que el mercurio queda condensado en los sedimentos.

La macrófita *L. minor* presentó el porcentaje más alto y la macrófita *E. crassipes* presentó el porcentaje más bajo en cuanto a la remoción de mercurio dentro de las unidades experimentales dado que se obtuvo un 28% y un 23% respectivamente, porcentajes que concuerdan con Jaramillo y Flores (2012), dado que tras realizar la aplicación de estas dos especies se obtuvo una remoción del 29% conjunta, en donde la lenteja de agua presentó la mayor resistencia a las concentraciones de mercurio. En medio a estos porcentajes se encuentra la especie *Azolla* la cual presentó un 25,45 % en la remoción de Hg. Se ha reportado que la familia *Azolla* alcanza a remover entre 75 y 94% los

niveles de mercurio, de modo que incorpora fácilmente este metal en el tejido de la planta (López et al, 2019).

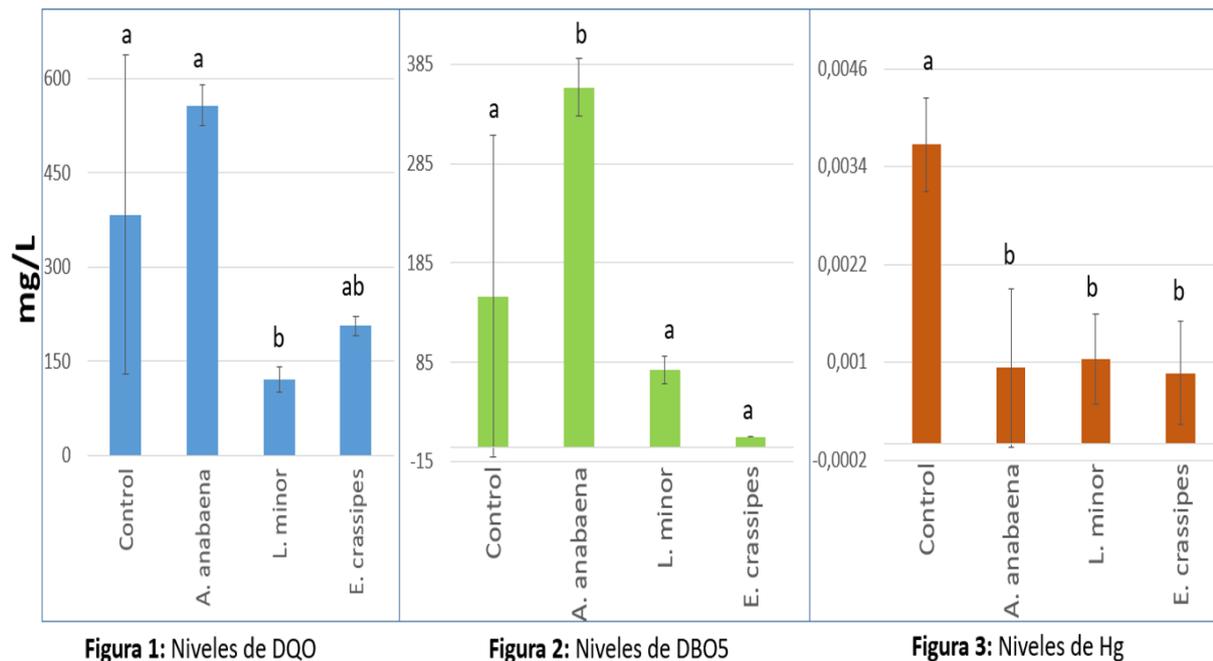


Figura 1: Niveles en la variable fisicoquímica DQO (demanda química de oxígeno), **Figura 2:** Niveles en la variable fisicoquímica DBO5 (demanda biológica de oxígeno), **Figura 3:** Niveles en la variable fisicoquímica Hg (mercurio), para cada tratamiento (Las especies). Las barras de error representan el intervalo de confianza del 95 % (n=3). Las medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

PARÁMETROS BIOLÓGICOS

Dadas las variables biológicas en la figura 4 se presentan los niveles de coliformes totales (CT) De las unidades experimentales, allí se demostró que no existen argumentos estadísticos suficientes para rechazar la hipótesis nula de igualdad de respuesta media, con lo cual se concluye que no se obtuvo diferencia significativa con respecto al tratamiento control.

De ahí que, la especie con mayor número de microorganismos por cada 100 ml de CT lo obtiene el jacinto de agua, con 1866 u, sobrepasando en un 377% al tratamiento control que presentó 494 NMP/100 mL, seguido de la lenteja de agua que presentó 1190 u, sobrepasando en 240% al control. Caso contrario ocurrió en el estudio de Chuquibala y Sánchez en 2017, dado que *E. crassipes* fue la especie que mayor eficiencia presentó en la remoción de coliformes totales con un 80%, mientras que *L. minor* presentó alrededor de un 50%.

Otro estudio similar realizó Coronel para el año 2016, en el cual usó las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* como tratamiento de aguas residuales domésticas en la universidad nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, allí obtuvo una eficiente remoción de CT de 99.98% y 95.83% respectivamente. La eficiencia en la remoción de bacterias patógenas se debe según Delgadillo et al. (2010) a que ocurra una depredación por parte de los microorganismos fijados en las raíces de las macrófitas, en caso de ausencia se presenta saturación con los patógenos como posiblemente sea el caso del presente estudio.

Por último, la especie *Azolla* presentó 689 NMP/100mL en remoción de coliformes totales sobrepasando un 139% al tratamiento control, lo cual indica que no se presentó remoción alguna aun presentándose con la menor población a comparación de las especies y el control. Realizando el símil con el estudio de León y Lucero en 2009 la especie *Azolla* sp se presenta con unidades de remoción, pero dentro del sistema se encuentra como la especie con menor porcentaje de remoción de coliformes totales obteniendo un 72%.

Los niveles de coliformes fecales (CF) dentro de las unidades experimentales se expresan en la figura 5, allí se evidencia que existe suficiente diferencia estadística para rechazar la igualdad de respuesta media del tamaño poblacional de las coliformes fecales para cada uno de los tratamientos y control aplicados, con lo que se concluye que el tamaño poblacional de las CF se comporta de manera diferencial para los tratamientos *A. anabaena* y *E. crassipes* con respecto al control, pero de manera similar al control se representa el tratamiento con *L. minor*.

De modo que la especie con mayor número de microorganismos por cada 100 ml de CF del estudio lo obtiene la especie *Eichornia*, dado que se presenta con 1000 u; por lo cual sobrepasa en 277% al tratamiento control, cuya unidad poblacional era de 360 NMP/100 mL. Por el contrario, Mendoza et al (2018) reporta en un estudio evaluativo de las plantas acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales municipales que el buchón de agua es la macrófita más eficiente al momento de remover coliformes fecales obteniendo la máxima eficiencia del 99 %.

Seguido a este, la especie con más baja remoción de coliformes fecales la presentó *A. anabaena* obteniendo un 6% respecto al tratamiento control presentando un tamaño poblacional de 20,33 NMP/100 mL. Contrarrestando este resultado se encuentra León (2017) en su tesis acerca del inventario de plantas recomendadas para la fitorremediación de coliformes fecales en aguas negras, dado que encontró un porcentaje de eliminación de *E. coli* de 99% con la especie *Azolla* sp.

La macrófita *L. minor* presentó la mayor remoción del parámetro de CF, presentando un 44% en las unidades experimentales respecto a la unidad de control, manifestado por 161 NMP/100 mL. Sin embargo, este resultado se presenta en promedio por debajo con respecto a diferentes estudios realizados de esta especie, por ejemplo, Poveda (2014) realizó una evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industriales y de usos agrícolas, donde *Lemna* logró una remoción de CF de 72%. También Coronel para el año 2016 obtuvo una mayor eficiencia de coliformes fecales obteniendo un 96% en la remoción del mismo bajo las mismas condiciones del presente estudio.

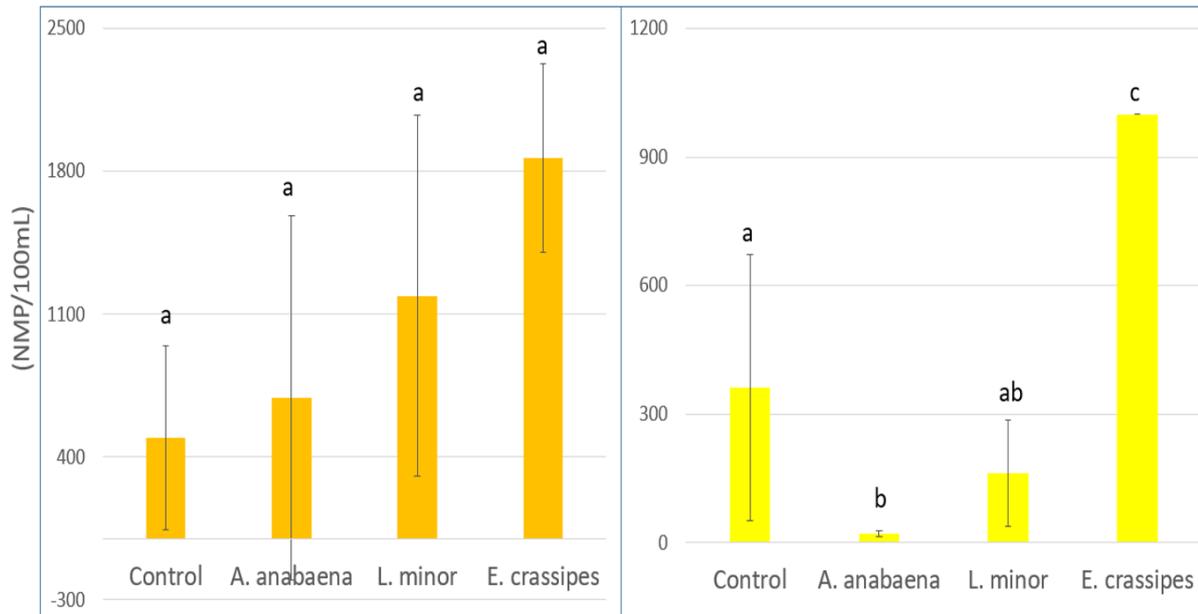


Figura 4: Niveles en la variable biológica de coliformes totales, **Figura 5:** Niveles en la variable biológica de coliformes fecales para cada tratamiento (Las especies). Las barras de error representan el intervalo de confianza del 95 % (n=3). Las medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

BIOMASA

PESO SECO

De acuerdo a la gráfica 6 se evidencian los promedios del peso seco y materia seca en gramos. Para lo cual se demuestra que con un 95% de confianza no existen argumentos estadísticos suficientes para rechazar la hipótesis nula de igualdad de respuesta media en la variable peso seco, demostrando que no se obtuvo diferencia estadística entre las variables (las especies). La morfología de las especies jugó un papel importante en los valores de biomasa; dado que la especie con mayor peso seco lo presentó Eichornia con 18,02 gramos, debido a su gran tamaño entre 20 y 30 centímetros, mediante el cual logra generar mayor absorción de metales pesados en el agua (Porras, 2017), a diferencia de las plantas angiospermas Azolla y Lemna que obtuvieron 14 gramos de peso seco, debido a su tamaño reducido de 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho (Arroyave, 2004).

MATERIA SECA

Por otra parte en la gráfica se puede evidenciar que las barras de color azul claro corresponden a la materia seca de cada macrofita, con el cual se demuestran valores muy cerca de la zona de aceptación valores inferiores a 2g y adicionalmente tras realizar las pruebas de comparación múltiple no se permite ver diferencias significativas entre la materia seca promedio obtenida para los tres tratamientos vegetales, evidenciando que las especies mostraron un proceso de adaptación y tolerancia para la concentración añadida al medio.

De acuerdo con Lopez (2012) en un estudio de la especie *E. crassipes* como generador de abono orgánico, determina que la planta se encuentra constituida por agua significativamente, dado que allí porcentaje del contenido de humedad obtuvo un resultado de 90,4%, quedando sólo un 9,6% en

materia seca. Por otra parte, Arenas et al (2011) en una evaluación de *lemna minor* como biorremediador, presenta la materia seca en 5.3%, aunque dentro del estudio no presentó diferencia significativa. Y finalmente, la especie Azolla de acuerdo con la recopilación de información de Méndez et al (2017) sobre el género de Azolla como alimento de valor nutricional para la acuicultura, demuestran que la composición química de la macrófita en condiciones óptimas la materia seca oscila alrededor de 6.5%.

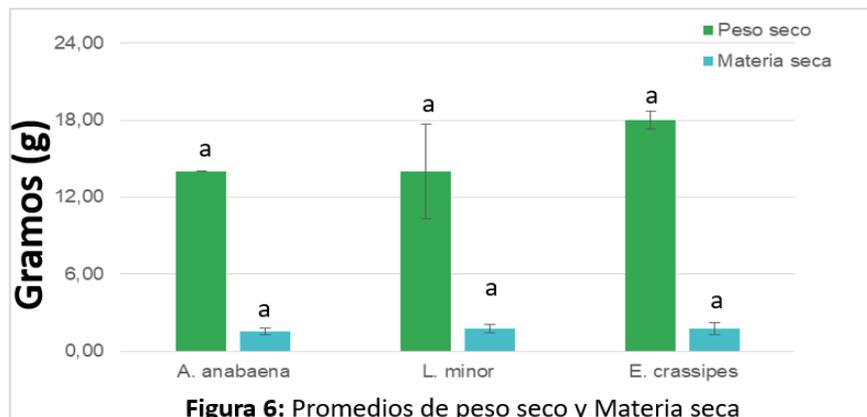


Figura 6: Promedios de peso seco y Materia seca

PORCENTAJE DE GANANCIA

De acuerdo con la figura 7, se muestran los porcentajes de ganancia en la biomasa de cada especie. Con un 95% de confianza, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la igualdad de la respuesta media del porcentaje de ganancia de materia procesada para cada planta, a lo largo de los tres tiempos evaluados. Sin embargo, el valor está muy cercano a la zona de aceptación y rechazo ($\alpha=0,05$) y adicionalmente las pruebas de comparación múltiple no permiten ver diferencias significativas entre el porcentaje de ganancia de masa promedio obtenido para los tres tratamientos vegetales, ni para los tres bloques de tres tiempos evaluados.

Dentro del estudio la especie con menor porcentaje de ganancia lo obtuvo *Azolla anabaena* con 14%, lo que pudo estar determinado por los bajos parámetros a los que estuvo sometida la macrófita, así como lo han demostrado diferentes estudios sobre la tasa relativa de crecimiento; en donde se establece que Azolla puede crecer en aguas residuales desde que exista suficiente fósforo (Costa et al., 2009). Para lograr su máxima producción de biomasa Huetio y Ortiz (2016) explican que el comportamiento de *A. anabaena* aumenta su crecimiento siempre y cuando encuentre la carga de nutrientes orgánicos necesarios en su locación y también se encuentre un número reducido de material vegetal 5g en unidades experimentales, ya que así obtendrá mayor producción de biomasa, debido a que no se genera competencia intraespecífica al haber mayor disponibilidad de nutrientes.

La macrófita *Lemna minor* obtuvo un 15% de ganancia dentro del estudio, porcentaje superior al estudio realizado por Arenas et al (2011) en donde se evaluó la lenteja de agua como biorremediador de aguas contaminadas con mercurio, allí la especie registró un 7% de ganancia de biomasa al finalizar el estudio, más sin embargo no se vio estadísticamente afectación significativa dentro del ensayo. A comparación del trabajo realizado por Virgüez en 2004, en donde se logró una ganancia de biomasa mayor al 20% de Lema.

Finalmente, La especie *Eichornia crassipes* presentó el mayor porcentaje dentro del estudio con 16% de ganancia de peso, este porcentaje se encuentra superior frente a un estudio preliminar de

biomasa seca de *Eichornia crassipes* como adsorbente de metales pesados, tras un estudio por gravimetría se pudo determinar que la especie logró un porcentaje de ganancia de 5,9% al finalizar el estudio (Atehortua y Gartner, 2013).

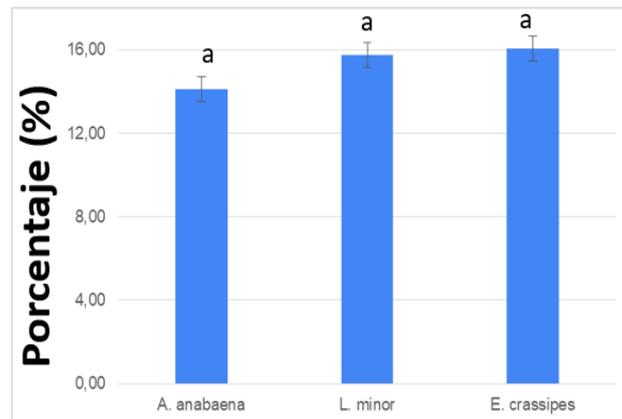


Figura 7: Porcentaje ganancia de peso

3. CONCLUSIONES

El agua fitorremediada evidencia concentraciones de metales pesados cercanos al límite que establece el decreto 1594 de 1984 según Ministerio de Ambiente, por tal motivo es viable el uso de este recurso para sistemas de riego en producciones agrícolas.

Debido a los resultados del estudio se puede concluir que la especie *Lemna minor* debe considerarse como tratamiento fitorremediador de metales pesados para el distrito de riego la Ramada, dado que removió los niveles de mercurio (Hg) y la demanda biológica de oxígeno (DBO5) hasta en un 28% y 50% respectivamente.

El porcentaje de biomasa estuvo determinado por la especie *Eichornia crassipes*, dado que la especie presentó el mayor peso seco registrando 18,02 gramos y por ende presentó el mayor porcentaje de ganancia de peso en un 16% dentro del estudio.

4. RECOMENDACIONES

Debido a los resultados del estudio, se recomienda evaluar la efectividad de las plantas *Lemna minor* y *Eichornia crassipes* en un proceso combinado en sistemas de tratamiento de aguas residuales para riego provenientes del distrito de riego de la Ramada.

5. REFERENCIAS

Amador, A y Lara, R. (1998) La lenteja de agua como sistema blando de depuración de aguas residuales de bajo coste. Tecnología del agua. Vol 174

Arenas, A., Melu, L y Torres, G., (2011) Evaluación de la planta *Lemna minor* como biorremediadora de aguas contaminadas con mercurio. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Decanato de Agronomía, Dpto. De Química y Suelos, Cabudare, Estado Lara - Venezuela

Arias, A., Ramírez, A., Fernández, V., Y Sánchez, N., (2015) Lenteja de agua (*Lemna minor*) para el tratamiento de aguas residuales que provienen del lavado de fibra de fique. Revista ingeniería ambiental y sanitaria. Vol 18, No. 2, P. 25 - 34

Arroyave, M., (2004) La lenteja de agua *Lemna Minor*: una planta acuática promisoría. Revista EIA, ISSN 1794-1237 Núm 1 p. 33-38.

Castañeda, A y Flores, H (2014). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México, Revista de Tecnología y Sociedad. Año 3, núm. 5, septiembre 2013-febrero 2014. ISSN: 2007-3607

Atehortua, E y Gartner, C (2013) Estudios preliminares de la biomasa seca de *Eichhornia crassipes* como absorbente de plomo y cadmio en aguas contaminadas. Revista Colombiana de Materiales N.4.pp. 81 – 92

Chuquibala, M y Sánchez, H., (2017). Determinación de la eficiencia de remoción de contaminantes del efluente doméstico mediante la aplicación de *Eichhornia crassipes* Y *Lemna minor* en el anexo el molino, distrito de chachapoyas, provincia de chachapoyas, departamento del Amazonas. Tesis de pregrado en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería civil y ambiental. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas - Perú.

Coronel, E. (2016). Eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional 66 Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas-Chachapoyas, 2015. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas: Chachapoyas.

Costa, M., Santos, M., Carrapico, F., Pereira, A. (2009). Azolla–Anabaena's behaviour in urban wastewater and artificial media – Influence of combined nitrogen. Water Research. Vol. 43. Pp 3743 – 3750

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba-Bolivia: Nelson Antequera Durán

El-Gendy, A, Biswas, N., & Bewtra, J., (2005). A floating aquatic system employing water hyacinth for municipal landfill leachate treatment: effect of leachate characteristics on the plant growth. Journal of Environmental Engineering and Science, 4(4), 227-240

González, J. (2001). Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación, grupo de Agroenergética del Departamento de Producción Vegetal. Universidad Politécnica de Madrid.

Huetio, K y Ortiz, (2016). Análisis de remoción de cargas contaminantes a través de un filtro biológico para tratar efluentes provenientes de procesos productivos agropecuarios de ganadería porcina. Universidad de Manizales. Popayán - Colombia

Jaramillo, J., Flores, E. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca: Cuenca.

Kadlec, R., Knight, R., Vymazal J., Brix H., Cooper P. y Haberl R. (2000). Constructed wetlands for pollution control. Scientific and technical report No:8. International Water Association, Londres.

León M, Lucero A., (2009) Estudio de *Eichornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides*, en el tratamiento biológico de aguas domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Cantón Cotacachi. Tesis pregrado en Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Facultad de Ingeniería en ciencias agropecuarias y ambientales. Universidad técnica del norte. Ibarra, Ecuador.

León, R (2017) Inventario de plantas recomendadas para fitorremediación de coliformes fecales en aguas negras. Tesis pregrado en Ingeniería Ambiental. Facultad de ciencias naturales. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Lopez, D (2012). Aprovechamiento del Lechuguín (*Eichhornia Crassipes*) para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores. (Tesis de Pregrado en ingeniería ambiental. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca: Cuenca - Ecuador.

López E., García M., y López E., (2019). Uso de Azolla Caroliniana como Organismo Fitorremediador para Reducir Cromo Hexavalente (Cr +6). Guanajuato- México. Revista de Investigación Aplicada en Ingeniería UPB/UTap, Vol IV (núm 2). ISSN 2448-5896, e-ISSN: 2594-2980

Malaver, A (2013). Evaluación de un Humedal artificial de flujo superficial empleando lenteja de agua (Lemna minor) para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria de curtiembres. Tesis de pregrado en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Libre. Bogota Dc, Colombia.

Mendez, Y, Perez Y, Reyes J y Puentes V., (2017) Azolla sp. Un alimento de alto valor nutricional. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. Vol XX (1): 32-40.

Mendoza Y, Pérez J y Galindo A., (2018) Evaluación del aporte de las plantas acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales municipales. Revista Información Tecnológica – Vol. 29 N° 2

Merino, A y Vascones, P (2014). Evaluación de la eficiencia de biorremediación en la recuperación de efluentes porcinos in vitro con helecho *Azolla filiculoides* mediante análisis DQO y DBO5 caso: Centro Experimental Uyumbicho- Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UCE.

Poveda, R. (2014). Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industriales y de uso agrícola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua. Ambato, Ecuador. Universidad Técnica de Ambato, p. 115-118

Rodríguez, J., Gómez, E., Garavito, L., Y López, F., (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 1(1),59-68. [fecha de Consulta 25 de Junio de 2020]. ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3535/353531968005>

Stupar Y., García., M., Schäfer., J, Schmidt., S, Piovano., E, Blanc., G, Huneau., F Y Le Customer., P., (2014) Identificación de fases portadoras y flujos de mercurio en el registro sedimentario de la Laguna del Plata, región central de Argentina. Revista mexicana de ciencias geológicas. Vol 31, núm. 1, p. 104-115

Virgüez V., (2004); Determinación de la eficiencia de la lenteja de agua (*Lemna minor*) en la descontaminación de las aguas del río turbio. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela.