

Propuesta de fitorremediación de coliformes totales y *Escherichia Coli* mediante la implementación de islas flotantes en aguas negras

Proposal of fitorremediation of total coliforms and *Escherichia Coli* through the implementation of floating islands in wastewater

Nancy Del Pezo Loaiza¹ & César Fuentes^{2*}

¹Consultora, egresada de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo (Campus Mapasingue), Guayaquil, Ecuador.

²Docente de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador.

Recibido 7 de marzo 2019; recibido en forma revisada 16 de mayo 2019, aceptado 1 de junio 2019
Disponible en línea 26 de junio 2019

Resumen

Las aguas residuales domésticas contienen altas concentraciones de contaminantes, entre ellos coliformes totales y *Escherichia coli* indicadora de materia fecal. Las aguas residuales sin tratamiento causan enfermedades gastrointestinales: amebiasis, cólera, salmonelosis y tifoidea. El objetivo del estudio fue diseñar un sistema fitodepurador mediante islas flotantes utilizando sustratos vegetales: *Lemna minor* y *Salvinia auriculata*. Al inicio del bioensayo se colocó por triplicado islas con las especies antes mencionadas, las especies combinadas y un control abiótico. El tiempo de retención fue de 8 días, realizando análisis microbiológicos al inicio del bioensayo, al quinto día y finalmente al octavo día. Se obtuvo un porcentaje de remoción de *E. coli*, de 99,99% para *Salvinia auriculata*, 99,95% para *Lemna minor* y de 99,98% para el tratamiento combinado. La efectividad de remoción de coliformes totales en los tratamientos fue *Salvinia auriculata* (99,89%), *Lemna minor* (99,74%) y en el tratamiento combinado (99,84%). Se recomienda implementar esta técnica en sistemas controlados para evitar eutrofización debido a la rápida reproducción de estas especies.

Palabras claves: coliformes totales, *Escherichia coli*, fitorremediación, islas flotantes, *Lemna minor*, *Salvinia auriculata*

Abstract

Domestic wastewater contains high concentrations of contaminants, including total coliforms and *Escherichia coli* indicator of fecal matter. Wastewater without treatment causes gastrointestinal diseases: amoebiasis, cholera, salmonellosis and typhoid. The objective of the study was to design a phytodepuration system using floating islands using plant substrates: *Lemna minor* and *Salvinia auriculata*. At the beginning of the bioassay, islands with the aforementioned species, the combined species and an abiotic control were placed in triplicate. The retention time was 8 days, performing microbiological analyzes at the beginning of the bioassay, on the fifth day and finally on the eighth day. A percentage of removal of *E. coli* was obtained, of 99.99% for *Salvinia auriculata*, 99.95% for *Lemna minor* and of 99.98% for the combined treatment. The effectiveness of removal of total coliforms in the treatments was *Salvinia auriculata* (99.89%), *Lemna minor* (99.74%) and in the combined treatment (99.84%). It is recommended to implement this technique in controlled systems to avoid eutrophication due to the rapid reproduction of these species.

Keywords: *Escherichia coli*, floating islands, *Lemna minor*, phytoremediation, *Salvinia auriculata*, Total coliforms

Introducción

La contaminación del agua es un mal que aqueja a la sociedad desde tiempos remotos, por el cual se han venido desarrollando técnicas para su recuperación que van desde las más complejas y costosas hasta

las más simples y económicas. Es por esto que, para asegurar la calidad del agua se miden algunos parámetros microbiológicos tales como las coliformes totales y *Escherichia coli*, que son indicadores más específicos de la presencia de heces, tanto en agua dulce como en agua de mar (Zhou, 2015).

* Correspondencia del autor:
E-mail: cesar.fuentes@ug.edu.ec



Una de las alternativas para recuperar el agua es la fitorremediación que se basa en la capacidad de algunas plantas para eliminar contaminantes que se encuentran en el aire, agua, suelo y sedimentos como son: microorganismos, metales pesados, compuestos orgánicos, entre otros. Por lo cual, una opción para disminuir ciertos contaminantes es implementando humedales o islas flotantes (Abdel-Shafy & El-Khateeb, 2013). Una de las ventajas del uso de islas flotantes es aislar las plantas para evitar que estas se reproduzcan de manera desordenada en el cuerpo de agua o cavidad donde se las coloque, de manera que por acción biológica disminuya la población de estos microorganismos patógenos presentes en aguas residuales (Zimmels, Kirzhner, & Malkovskaja, 2006) such as water hyacinth (*Eichhornia crassipes*).

Las especies *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* han sido utilizadas para fitodepuración no solo de coliformes totales y *Escherichia coli*, sino también nutrientes como nitrógeno y fósforo. Asimismo remueven metales pesados como cadmio, cromo, níquel, plomo, entre otros (Al-Khafaji, Al-Ani, & Ibrahim, 2018). Del mismo modo León et al. (2018) indicó que las especies *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* son plantas con potencial para la disminución de agentes patógenos como *E. coli* y coliformes totales, logrando una efectividad de remoción entre 99 a 100% en aguas negras.

Sin embargo, el trabajo de León et al. (2018) no contaron con un sistema controlado que evitara la dispersión de las plantas en el medio, por lo cual se ha demostrado que *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* son especies invasoras (Wolff, Assis, Pereira, Carvalho, & Castro, 2009). Es por ello que el objetivo de la presente investigación fue diseñar un sistema de islas flotantes con *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* para saneamiento de aguas contaminadas por coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas negras.

Materiales y métodos

Área de estudio y muestreo

La ciudad de Guayaquil en la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil, se encontró un canal que es receptor de los efluentes domésticos de la ciudadela Martha de Roldós y del sector Cerros de Mapasingue.

En el cual se realizó un muestreo basándose en la normativa INEN 1105 Aguas. En el muestreo para el análisis microbiológico se utilizó recipientes de 2.5 L de capacidad, se sumergieron los recipientes y se procuró dejar 1% de espacio de la capacidad del envase, por consiguiente los envases fueron secados y desinfectados con alcohol al 70% por fuera para evitar la contaminación cruzada, como resultado se recaudó un total de 60 litros de aguas negras que fueron homogenizados en un contenedor de mayor capacidad y finalmente fueron distribuidas en 12 recipientes destinados para el bioensayo.

Diseño Experimental

Diseño de la isla flotante

Se tomó en cuenta varios factores importantes para la elaboración de la isla flotante: el tipo de macrófitas, la cantidad en gramos de cobertura de la vegetación y los materiales para lograr la flotabilidad (Headley & Tanner, 2006).

El prototipo de isla flotante constó de un área de 40 cm² y se elaboró con palos de bambú, red de fibra sintética o nylon y a los costados de la isla poliestireno expandido, el desarrollo de la isla flotante dependió de la especie (Figura 1).

Recolección de plantas

Se realizaron dos salidas de campo hacia el cantón Vinces de la provincia de Los Ríos en el humedal abras de mantequilla, enlistado como parte de los sitios

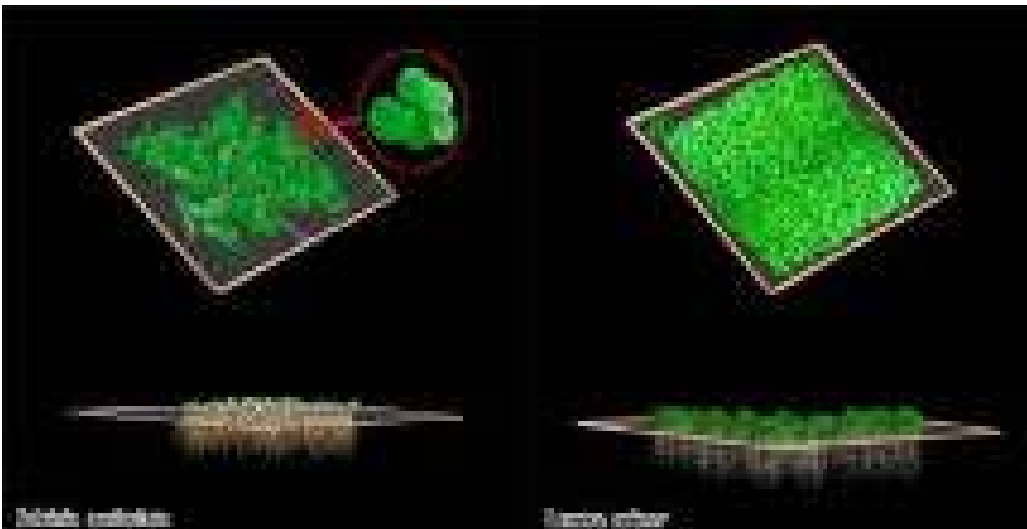


Figura 1. Prototipo de la isla flotante con la especie *Salvinia auriculata* y *Lemna minor*.

RAMSAR debido a su gran variedad de flora y fauna, en la que se colectó la especie *Salvinia auriculata* cuyas coordenadas (UTM WGS 84: 646747 - 9829644); mientras que la especie *Lemna minor* se obtuvo de una albarrada en Cascajal (UTM WGS 84: 587132 - 9800141), perteneciente al cantón Pedro Carbo de la provincia del Guayas.

Dichas especies se encontraron en gran cantidad en la época de lluvia por los meses de noviembre a marzo, y en época seca estas especies se reducen en gran porcentaje su población.

Reproducción de las plantas

Las especies *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* fueron recolectadas y posteriormente puestas en reproducción en contenedores de polietileno de alta densidad con una capacidad para 20 L. Para reducir la proliferación de microalgas, se impidió el contacto de la luz natural con el contenedor en forma directa, mediante una envoltura con bolsas de plástico negras, luego se colocó agua con fertilizante (MultiFlor®), compuesto por Nitrógeno, Fósforo, Potasio y microelementos, del cual se utilizó 20 ml según las instrucciones del fabricante.

Bioensayo

Las especies se sometieron a un tratamiento de preparación en el cual se lavó con agua del grifo, seguido de agua destilada. Las especies utilizadas fueron *Lemna minor*, *Salvinia auriculata* y la combinación de las especies antes mencionadas.

Luego se procedió a pesar la biomasa por triplicado para cada uno de las especies, con *Lemna minor* se pesaron 30 gr de biomasa, para *Salvinia auriculata* se pesaron 58 gr de biomasa y en el tratamiento combinado se pesó 15 gr para *Lemna minor* y 15 gr para *Salvinia auriculata* dando un total de 30 gr para la isla flotante con las especies combinadas. Para el final del bioensayo se realizó el pesaje de la biomasa en una balanza analítica (Sartorius BL3100).

El principio que se utilizó para medir las cantidades que se emplearon en el bioensayo fue que alcanzara a cubrir la mayor superficie de la isla. También se implementó un control negativo por triplicado de aguas negras sin tratamiento. Luego se procedió a montar las islas en recipientes con un volumen inicial de 5000 ml de aguas negras, el mismo que al finalizar el bioensayo se calculó el volumen final.

El tiempo de retención de las aguas negras con los tratamientos fueron por un lapso de 8 días en los que midieron varios parámetros fisicoquímicos como: pH (usando un peachimetro digital Gery pH107), TSD (EC - 135) y temperatura (termómetro de mercurio) las mismas que tuvieron relación con la efectividad de las islas al primero, quinto y octavo día. Luego se tomó una muestra de agua donde se realizó los análisis microbiológicos, dando como resultado nuestra concentración inicial de *Escherichia coli* y coliformes totales mediante la técnica del agar Chromocult,

el cual se comparó con las concentraciones finales evidenciando la efectividad de la propuesta.

Fase de Laboratorio

Se realizó la recepción de la muestra al laboratorio del Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IIRN) y se procedió a homogenizarla para posteriormente tomar 1 ml para realizar las diluciones correspondientes. Simultáneamente se preparó el medio de cultivo Agar Chromocult.

En los análisis se utilizó el método de vertido en placa. El cual se tomó 1 ml proveniente de las diluciones sucesivas de 1/10-1, 1/10-2, 1/10-3, 1/10-4, 1/10-5 en un medio enriquecido (agua de peptona), se obtuvo 1 ml de cada dilución y se sembró en cajas Petri, luego se añadió 15 ml de Agar Chromocult, se homogenizó la muestra. Luego se dejó solidificar alrededor de unos minutos para luego incubar las placas a una temperatura de 35 -37°C por 24 horas. Y al término de las 24 horas se procedió al conteo de las colonias.

Resultados

Los niveles de *E. coli* en el agua negra del canal del campus de la Universidad de Guayaquil fue de $1,673 \times 10^7 \pm 2,510 \times 10^6$ UFC/100 mL, y de coliformes totales $3,773 \times 10^7 \pm 2,557 \times 10^6$ valores que superan al límite máximo permisible para descargas a cuerpos de agua dulce que corresponde a 2000 UFC/100mL establecidos en el TULSMA.

Diseño de isla flotante

Cobertura de la vegetación

La biomasa obtenida se midió en gramos de plantas vivas, pese a esto no se consideró como una cantidad de referencia, puesto que se empleó la cantidad necesaria para cubrir la superficie de la isla flotante. Por otro lado la tasa de crecimiento de la biomasa de las especies *L. minor*, *S. auriculata* y las especies combinadas, en el cual se evidenció que en el tiempo de exposición de los sustratos con las aguas negras que fue de 8 días, no hubo un crecimiento de la biomasa, por el contrario en una de las especies la biomasa se redujo a más de la mitad en comparación con el valor inicial.

Materiales para lograr la flotabilidad

- Palo de bambú
- Poliestireno expandido
- Cuerda
- Malla de nylon

En el montaje de las islas flotantes se utilizó 4 estructuras de madera en forma cilíndrica, uniendo los extremos con cuerda por medio de un amarre cuadrado, luego se colocó la malla de nylon donde se ubicaron las especies. Posteriormente se instaló barreras de poliestireno expandido permitiendo el control en la reproducción de las especies evitando que se proliferen reduciendo el riesgo de eutrofización;

también fue conveniente instalar dichas barreras ya que mejoraban la flotabilidad de la isla.

Bioensayo de remoción

La concentración de *E. coli* a través del tiempo mostró una reducción significativa en los tratamientos con las macrófitas (Figura 2). En el quinto día del experimento la concentración a *E. coli* se redujo de $1,67 \times 10^7$ en el control a $5,7 \times 10^4$ UFC/100 mL en *Lemna minor*, $1,10 \times 10^5$ UFC/100 mL en *Salvinia auriculata* y $3,46 \times 10^4$ UFC/100 mL en el tratamiento combinado.

A los 8 días de exposición se evidenció una reducción significativa de la concentración de *E. coli* en los tratamientos en comparación del control ($F=61,05$ y $p=0,000$) (Figura 3). Hubo una reducción de $1,1 \times 10^5$ UFC/100 mL en el control a $3,10 \times 10^2$ UFC/100 mL en *S. auriculata*, 9×10^3 UFC/100 mL en *L. minor* y 3×10^3 UFC/100 mL en el tratamiento combinado. No obstante, los tratamientos con *S. auriculata* y la combinación de las especies presentaron una reducción significativa con respecto al control. Por el contrario, no se observaron diferencias significativas según el test de Tukey entre los tratamientos, siendo los dos más efectivos del ensayo.

En las concentraciones de coliformes totales se observó mayor efectividad de los tratamientos con *S. auriculata* mostrando diferencias significativas ($F=10,50$ y $p=0,004$), pero a diferencia de *E. coli* no se logró alcanzar los límites máximos permisibles.

Tomando en cuenta la concentración inicial de coliformes totales $3,78 \times 10^7$ UFC/100 mL, hubo una reducción en los tratamientos a $2,46 \times 10^5$ UFC/100 mL en *L. minor*, $8,83 \times 10^5$ UFC/100 mL en *S. auriculata* y $1,65 \times 10^5$ UFC/100 mL (Figura 4) en el tratamiento combinado del quinto día de experimentación.

Al término del bioensayo la concentración del control fue de $1,60 \times 10^6$ UFC/100 mL disminuyendo

significativamente a $9,76 \times 10^4$ UFC/100 mL en *L. minor*, $4,33 \times 10^4$ UFC/100 mL en *S. auriculata* y en el combinado la concentración final fue de $6,03 \times 10^4$ UFC/100 mL (Figura 5).

Parámetros fisicoquímicos a través de los días

El pH en el agua negra se incrementó a través del tiempo en todos los tratamientos de 6,8 en el día inicial a 7,40 en el control, 7,1 en *L. minor* y *S. auriculata* y 7,2 en el tratamiento combinado ($H=8,65$; $p=0,034$) mostrando diferencia significativa entre ellas. Al inicio del experimento la temperatura fue de 26°C , luego se mantuvo constante durante el experimento en todos los tratamientos con una media de 27°C en la duración del bioensayo. En cambio con respecto al TSD no presento diferencias significativas entre los tratamientos a los 8 días del bioensayo ($H=2,50$; $p=0,476$). El TSD aumento en el tiempo de forma significativa de $690 \pm 0,0$ ppm, a $702,50 \pm 15,45$ ppm a los 5 días y $770 \pm 14,43$ ppm a los 8 días. Al quinto día se evidenció diferencias significativas de

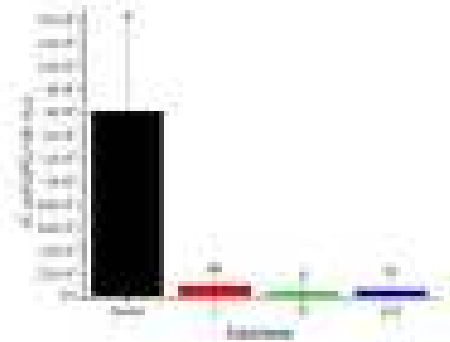


Figura 3. Comparación de la concentración de *E. coli* entre los tratamientos al final del experimento. Los resultados se muestran como medias \pm desviación estándar ($n=3$). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas ($p>0,05$).

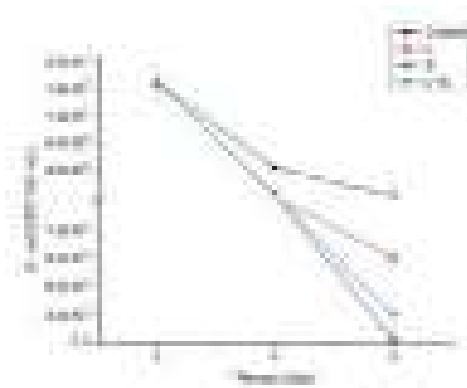


Figura 2. Concentración de *E. coli* en los diferentes tratamientos durante los 8 días del bioensayo. Control: agua negra sin plantas, L: *Lemna minor*, S: *Salvinia auriculata*, L+S: tratamiento combinado de *L. minor* + *S. auriculata*.

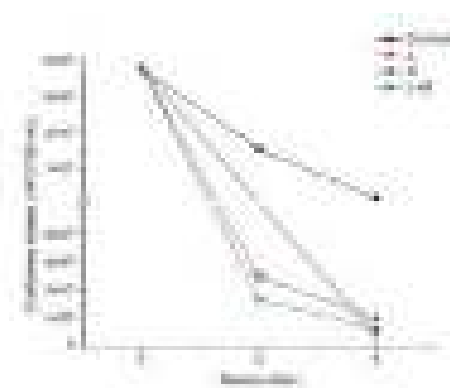


Figura 4. Concentración de Coliformes totales en los diferentes tratamientos durante los 8 días del bioensayo. Control: agua negra sin plantas, L: *Lemna minor*, S: *Salvinia auriculata*, L+S: tratamiento combinado de *L. minor* + *S. auriculata*.

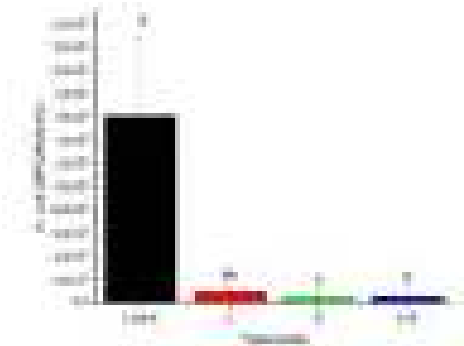


Figura 5. Comparación de la concentración de Coliformes totales entre los tratamientos al final del experimento. Los resultados se muestran como medias \pm desviación estándar (n=3). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$).

Tabla 1. Datos de los Parámetros Físicoquímicos en el inicio y final del bioensayo. L: Lemna minor; S: Salvinia auriculata; L+S: L. minor + S. auriculata

	DIA 0			DIA 8		
	pH	Sólidos Disueltos totales	Temperatura (C°)	pH	Sólidos Disueltos totales	Temperatura (C°)
L	6,8	690	26	7,3	773,3	27
S	6,8	690	26	7,2	776,7	27
L+S	6,8	690	26	7,2	776,7	27

723,33 \pm 5,77 ppm, entre el control con *L. minor* y *S. auriculata* 693,33 \pm 5,77 ppm y 690,00 \pm 10,00 ppm respectivamente ($F=9,00$ y $p=0,06$), (Tabla 1).

Efectividad

En el tratamiento con *Salvinia auriculata* durante los 8 días del bioensayo resultó más efectivo, ya que se evidenció una remoción del 99,99% para *E. coli* cumpliendo con los límites permisibles para descarga en un cuerpo de agua dulce. Por otro lado, *S. auriculata* obtuvo un porcentaje de remoción del 99,89% para coliformes totales. A diferencia con la remoción de *E. coli* ésta no cumple con los límites máximos permisibles, pero sigue siendo el que mayor porcentaje de efectividad alcanzó entre los otros tratamientos.

Adicional a esto los porcentajes de remoción de *E. coli* y coliformes totales para los tratamientos con *Lemna minor* fueron de 99,95% y 99,74% respectivamente. Por otra parte los porcentajes de disminución de microorganismos patógenos para el tratamiento combinado con *L. minor* y *S. auriculata* para *E. coli* fue de 99,98% y para coliformes totales fue de 99,84%. (Figura 6).

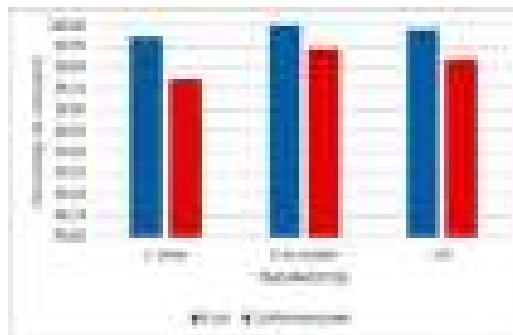


Figura 6. Porcentajes de remoción de *E. coli* y coliformes totales en los tratamientos de Lemna minor, Salvinia auriculata y la combinación de las especies.

Discusión

Los niveles de *E. coli* y coliformes totales en las aguas negras del efluente de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil sobrepasan los límites máximos permisibles (LMP) de la legislación nacional. En el anexo 1 del Libro VI - TULSMA (AM097A, 2015) estipula que las concentraciones de coliformes fecales son de máximo 2000 NMP/100 mL para descargas tanto a cuerpos de agua dulce como agua marina. Por lo cual las concentraciones obtenidas exceden hasta 8000 veces el límite establecido. Por otro lado, en los criterios de calidad del agua para riego y uso pecuario se establece un máximo de 1000 NMP/100 mL, donde las concentraciones estudiadas sobrepasaron 16000 veces los límites de la norma, lo que indica que las aguas negras no son aptas para riego ni uso pecuario.

En anexo 1 del Libro VI - TULSMA del Ecuador (AM097A, 2015) no menciona algún límite máximo permisible para coliformes totales en descargas. Sin embargo, si menciona los criterios de calidad de agua para uso recreacional ya sea este de contacto primario o secundario donde establece los límites de 2000 y 4000 NMP/100 mL, respectivamente. De manera que las concentraciones exceden por encima de la norma hasta 18000 veces para contacto primario y 9000 veces para contacto secundario.

Al igual que el presente trabajo León et al. (2018) realizó sus análisis en las descargas del canal de la Facultad de Ciencias Naturales el cual obtuvo un resultado de 12x101 UFC/100 mL para *Escherichia coli* y 42x102 UFC/100 mL para Coliformes totales. En el cual se evidencia valores inferiores a los obtenidos en el presente trabajo, esta diferencia podría deberse León et al. (2018) que realizaron el muestreo en época de lluvia, generando un efecto de dilución.

Por otro lado, en diseño de la isla flotante que se utilizó materiales óptimos para lograr la flotabilidad con la particularidad de implementar una barrera de poliestireno expandido, evitando que las macrófitas

salgan del área de la isla e incrementa la posibilidad de que el cuerpo de agua se eutrofice. En otro estudio similar Headley & Tanner (2006) utilizaron tubos sellados de PVC o PP, láminas de poliestireno, bambú o almohadas inflables de vinilo para proporcionar flotación. Por otro lado, la eficacia de las islas flotantes se puede mejorar agregando una gran variedad de suplementos o combinando diversas tecnologías, así lo asegura.

Zhao et al. (2012) Zhejiang Province. This study indicated that average removal rates for total nitrogen (TN, donde realizó una estructura de 4 bambúes cubierta con una red de plástico y portadores de biofilm adsorbentes (bola hueca de múltiples caras) que se colocaron debajo de las redes de plástico. De igual manera el experimento logro buena flotabilidad y las especies no se salieron de las islas, demostrando que el diseño fue eficiente además de ser económico.

Por lo que se refiere al tratamiento realizado con la especie *Lemna minor* tuvo una eficiencia de remoción de *E. coli* de 99,95% y para coliformes totales de 99,74%, al igual que lo confirma León et al. (2018) que utilizó esta especie como control positivo en la remoción de *E. coli* alcanzando un 99% de efectividad.

De igual manera, Papadopoulos & Tsihrintzis (2011) implementaron un sistema con *L. minor* a gran escala, sin aireación, solo alimentando el tanque con agua residual diariamente y descargando el agua tratada, por el lapso de un año. En los análisis anuales estos autores obtuvieron una remoción del 99,65% para *E. coli*, asemejándose en los resultados obtenidos con los del presente estudio.

Otras aplicaciones descritas para *Lemna sp.* En el tratamiento de aguas, es la reducción de NH₄⁺, NO₃ y metales pesados. Según Cedergreen & Madsen (2002), *Lemna sp.* es capaz de absorber NH₄⁺ y NO₃ a través de raíces y hojas; así mismo, se usó a *L. minor* como parte del tratamiento de aguas residuales de una empresa textil en la cual Yaseen & Scholz (2018), aseguran que obtuvieron una reducción considerable de NH₄⁺ y NO₃ presentes en las tintas. Por otro lado, con respecto a los metales pesados, Ramírez (2017) demostró que *Lemna minor* disminuyó considerablemente las concentraciones de plomo en agua. De igual manera, Verma & Suthar (2015) obtuvieron una reducción de la concentración de Cd y Pb en agua de 84,8% y 93,8% respectivamente, en 7 días de retención.

Por lo anteriormente descrito, *Lemna minor* es efectiva para fitorremediación de ambientes contaminados con coliformes totales, *E. coli* y también metales pesados, nitrógeno, entre otros contaminantes.

También se recomienda utilizar un tiempo de retención entre 7 y 8 días, ya que fue el tiempo óptimo en el presente trabajo para la remoción de las bacterias. Este mismo tiempo lo demostraron

León et al. (2018), Varela (2017), Vasconez (2017), Verma y Suthar (2015).

Cabe señalar que en esta investigación, el tratamiento con *Salvinia auriculata* obtuvo un porcentaje de remoción de 99,99% para *E. coli* y 99,89% para coliformes totales, de igual modo León et al. (2018) obtuvo un porcentaje de remoción de 99,99% tanto para *Escherichia coli* como coliformes totales.

Sin embargo, en el estudio de Pinto, Henares, Cruz y Amaral (2009) utilizaron las especies *Eichhornia crassipes* y *Salvinia molesta* para reducir *E. coli* en efluentes de una camaronera, que al contrario con este estudio, obtuvieron mayor eficiencia con *E. crassipes* con un porcentaje de remoción del 88,23% y con *S. molesta* obtuvieron una eficiencia del 76,47%. En otros casos, Nithya, Jayanthi, & Raghunathan (2015) analizó el extracto de hojas de *S. molesta* en viz, etanol, acetona, cloroformo y éter de petróleo, y confirmaron la presencia de componentes bioactivos que inhiben el crecimiento de *E. coli* y *B. subtilis*.

Por otro lado, en el tratamiento combinado con las especies *S. auriculata* y *L. minor*, obtuvo un porcentaje de remoción de 99,98% para *E. coli* y 99,84% para coliformes totales. Del mismo modo, León et al. (2018) realizaron una combinación con la especie de menor eficiencia *Eichhornia crassipes* con *Salvinia auriculata* que alcanzó mayor efectividad de remoción para coliformes fecales y totales, en la cual se obtuvo una efectividad del 100% para *E. coli* y redujo 5 unidades logarítmicas en la concentración de coliformes totales en relación con el control.

También, Pinto et al. (2009) realizó la combinación con *E. crassipes* y *S. molesta* para eliminación de *E. coli* en efluentes de camaroneras en la cual alcanzaron un porcentaje de efectividad del 78,82%. De manera que se comprobó que *E. crassipes* no es la mejor especie en relación con *S. auriculata* y *L. minor* para reducir coliformes fecales.

Por otro lado, Diniz, de Ceballos, L. Barbosa, & Konig (2005), aseguran que el efecto filtrador que tienen las macrófitas, se debe a la exposición de sus raíces con el medio por lo que las raíces se recubren de material orgánico y mucilaginoso reduciendo así las concentraciones de coliformes fecales, nutrientes y metales pesados.

Con respecto al pH de los bioensayos, se determinó un incremento en el agua de los tratamientos con *L. minor* y *S. auriculata*. Según Papadopoulos, Tsihrintzis y Zdragas (2011) *L. minor* produce una condición alcalina en el agua, la misma que es conveniente para la disminuir los agentes patógenos bacterianos. También, en el caso de los metales pesados, Al-Khafaji et al. (2018) asegura que la efectividad de remoción de metales se correlaciona positivamente al aumento del pH del agua.

Además, Celis-Hidalgo, Junod-Montano, & Sandoval-Estrada (2005) determinaron que las macrófitas son aptas para tratar efluentes ácidos de actividades mineras, duplicando el valor del pH. Por lo que afirmaron que el aumento del pH tiene relación con el desarrollo de las plantas, permitiéndoles absorber más contaminantes.

Al igual que en el presente trabajo León et al. (2018), Ramírez (2017), Varela (2017), Vasconez (2017) evidenciaron un aumento en el pH de sus estudios, por lo cual hubo una reducción significativa en las cargas contaminantes.

En cuanto a las mediciones de TSD se evidenció un aumento en el control al transcurso de los días, al igual que el incremento en su población bacteriana, esto se debe a que según Lechevallier, Norton, & Lee (1991) las partículas pueden proporcionar protección a los microorganismos, promoviendo el recrecimiento de los agentes patógenos. Por otro lado, el aumento en la concentración de TSD en los tratamientos se debe a la generación de materia orgánica por parte de las plantas.

También hay que tomar en cuenta que en el control hubo una disminución de la población bacteriana y esto se debe a que según Geldreich (1990) ocurre muerte natural de las bacterias al entrar al sistemas de aguas residuales, en un 30% de *Escherichia coli* y otras diversidades de coliformes incrementan su población.

Conclusiones

Podemos evidenciar que los niveles de *Escherichia coli* en aguas negras de la Facultad de Ciencias Naturales fueron de $1,673 \times 10^7$ UFC/100 mL y las concentraciones de coliformes totales fueron de $3,773 \times 10^7$ UFC/100 mL sobrepasando el límite máximo permisible para descargas.

Los materiales óptimos para el ensamble de las islas flotantes fueron estructuras de bambú, malla de nylon y también se implementó barreras de poliestireno expandido, siendo una de las tecnologías más efectivas y económicamente accesibles.

En los análisis microbiológicos se obtuvo para *Escherichia coli* la concentración inicial de $1,673 \times 10^7$ UFC/100 mL en la cual luego del bioensayo su concentración final se redujo a $1,1 \times 10^5$ UFC/100 mL en el control debido a la muerte natural de las bacterias, en los tratamientos se obtuvo las siguientes concentraciones finales $3,10 \times 10^2$ UFC/100 mL en *Salvinia auriculata*, 9×10^3 UFC/100 mL en *Lemna minor* y 3×10^3 UFC/100 mL en el tratamiento combinado.

Para las concentraciones de coliformes totales se inició con $3,78 \times 10^7$ UFC/100 mL, al término del bioensayo se obtuvieron las siguientes concentraciones: en el control fue de $1,60 \times 10^6$ UFC/100 mL esto se debe a la

muerte natural de las bacterias. También se disminuyeron las concentraciones de coliformes totales a $4,33 \times 10^4$ UFC/100 mL en *Salvinia auriculata*, $9,76 \times 10^4$ UFC/100 mL en *Lemna minor* y en el combinado fue de $6,03 \times 10^4$ UFC/100 mL.

El porcentaje de efectividad de los tratamientos con las dos especies y el tratamiento combinado estuvieron en el rango de 99 a 99,99% de efectividad. Por lo cual se acepta la hipótesis de trabajo, al comprobar que el uso de islas flotantes con las especies *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* son efectivas para disminuir la presencia *Escherichia coli* y coliformes totales, siendo el tratamiento con *Salvinia auriculata* el de mayor eficacia obteniendo porcentajes de remoción de 99,99% para *E. coli* y 99,89% para coliformes totales.

Recomendaciones

Replicar el proceso de fitorremediación de aguas residuales mediante islas flotantes, en comunidades rurales.

Colocar las macrófitas *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* en sistemas controlados para evitar los daños que genera su acelerada reproducción en plantaciones o cuerpos de agua.

Se recomienda realizar nuevos ensayos con las macrófitas que impliquen un sistema de flujo continuo de agua.

Realizar nuevos ensayos integrados donde se analice la capacidad de remoción de metales pesados y coliformes totales al mismo tiempo en aguas residuales.

Implementar la técnica de islas flotantes en la etapa de clarificación de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Referencias

- Abdel-Shafy, H. I., & El-Khateeb, M. A. (2013). Integration of septic tank and constructed wetland for the treatment of wastewater in Egypt. *Desalination and Water Treatment*, 51(16-18), 3539-3546. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.749585>
- Al-Khafaji, M. S., Al-Ani, F. H., & Ibrahim, A. F. (2018). Removal of Some Heavy Metals from Industrial Wastewater by Lemna Minor. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 22(4), 1077-1082. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1112-x>
- AM097A. (2015). Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria, 1-184. Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/>
- Cedergreen, N., & Madsen, T. V. (2002). Nitrogen uptake by the floating macrophyte Lemna minor. *New Phytologist*, 155(2), 285-292. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00463.x>
- Celis-Hidalgo, J., Junod-Montano, J., & Sandoval-Estrada, M. (2005). Recientes Aplicaciones De La Depuración De Aguas Residuales Con Plantas Acuáticas. *Theoria*, 14(1), 17-25. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/299/29900103.pdf>

- Diniz, C., de Ceballos, B., L. Barbosa, J., & Konig, A. (2005). Uso de macrófitas acuáticas como solução ecológica para melhoria da qualidade de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 226-230. <https://doi.org/10.1017/S0922156510000348>
- Geldreich, E. E. (1990). *Microbiological Quality of Source Waters for Water Supply. Drinking Water Microbiology*. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4464-6_1
- Headley, T., & Tanner, C. (2006). Application of floating wetlands for enhanced stormwater treatment: A review. *Auckland Regional Council*, (November), 96 p. Retrieved from <http://www.oracwa.org/files/news/592/NIWA-Research---Floating-Wetland-Review-Final.pdf>
- Lechevallier, M. W., Norton, W. D., & Lee, R. G. (1991). Giardia and Cryptosporidium spp. in filtered drinking water supplies. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(9), 2617-2621.
- León, Pernía, Sigüencia, Franco, Noboa, & Cornejo. (2018). Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas servidas (Evaluation of the potential of aquatic plants to remove total coliforms and *Escherichia coli* from wastewater). *Enfoque UTE*, 9-N.4, 131-144. Retrieved from <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>
- Nithya, T. G., Jayanthi, J., & Raghunathan, M. G. (2015). Phytochemical, antibacterial and GC MS analysis of a floating fern *salvinia molesta* D.S. Mitchell (1972). *International Journal of PharmTech Research*, 8(9), 85-90.
- Papadopoulos, F. H., & Tsihrintzis, V. A. (2011). Assessment of a full-scale duckweed pond system for septage treatment. *Environmental Technology*, 32(7), 795-804. <https://doi.org/10.1080/09593330.2010.514009>
- Papadopoulos, F. H., Tsihrintzis, V. A., & Zdragas, A. G. (2011). Removal of faecal bacteria from septage by treating it in a full-scale duckweed-covered pond system. *Journal of Environmental Management*, 92(12), 3130-3135. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.08.008>
- Pinto, F., Henares, M., Cruz, C., & Amaral, L. (2009). Remoção de *Escherichia coli* de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. *ARS Veterinaria*, (16), 147-150.
- Ramírez, L. (2017). *Propuesta de desarrollo de un biofiltro para remoción de plomo en el agua de consumo de los pobladores del recinto Yurima - Daule*. Universidad de Guayaquil. Retrieved from [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/21020/1/Tesis Lissette Ramirez Moreira.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/21020/1/Tesis%20Lissette%20Ramirez%20Moreira.pdf)
- Varela Barreno, J. (2017). *Propuesta de fitorremediación de coliformes totales del estero fecaol Puente Lucia provincia del Guayas*. Universidad de Guayaquil.
- Vasconez Garcia, L. A. (2017). *Propuesta de fitorremediación de coliformes totales en aguas en un tramo del estero caluma en el cantón Caluma (provincia de Bolívar)*. Universidad de Guayaquil.
- Verma, R., & Suthar, S. (2015). Lead and cadmium removal from water using duckweed - *Lemna gibba* L.: Impa ct of pH and initial metal load. *Alexandria Engineering Journal*, 54(4), 1297-1304. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.09.014>
- Wolff, G., Assis, L. R., Pereira, G. C., Carvalho, J. G., & Castro, E. M. (2009). Efeitos da toxicidade do zinco em folhas de *Salvinia auriculata* cultivadas em solução nutritiva. *Planta Daninha*, 27(1), 133-137. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000100017>
- Yaseen, D. A., & Scholz, M. (2018). Treatment of synthetic textile wastewater containing dye mixtures with microcosms. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 1980-1997. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0633-7>
- Zhao, F., Xi, S., Yang, X., Yang, W., Li, J., Gu, B., & He, Z. (2012). Purifying eutrophic river waters with integrated floating island systems. *Ecological Engineering*, 40, 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.012>
- Zhou, J. (2015). *Faecal indicator bacteria monitoring in blue-green algae contaminated water*. Queen 's University.
- Zimmels, Y., Kirzchner, F., & Malkovskaja, A. (2006). Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. *Journal of Environmental Management*, 81(4), 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.11.014>