

USO DE *Echinochloa polystachya* Hitch, *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

UDAY-PATIÑO M.; CUEVA, E. & RIVADENEIRA, F.
Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Sangolquí-Ecuador

RESUMEN

Con el objetivo de contribuir al tratamiento de las aguas residuales domésticas, se implementó un humedal artificial de flujo subsuperficial con especies vegetales (*Echinochloa polystachya* Hitch, *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks), mediante un diseño completamente al azar. Se evaluaron las variables DBO, DQO, aluminio, nitrógeno total, índice de coliformes totales, fósforo total y sólidos totales. El efecto de las especies sobre el nivel de disminución de la contaminación del agua no presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$); sin embargo se evidenció que en los tratamientos que se sembró *Brachiaria mutica* y *Echinochloa polystachya*, los niveles de contaminación disminuyeron en las variables DQO con una remoción de 82 %, la DBO también disminuyó en un 80 %; en el caso de fósforo disminuyó en 53 % y sólidos totales en 50 %, por tanto, *Brachiaria mutica* y *Echinochloa polystachya* se consideran especies potenciales para usarlas en humedales artificiales de flujo subsuperficial en la zona de estudio. Las variables nitrógeno total, aluminio e índice de coliformes totales no disminuyeron sus niveles iniciales de contaminación.

Palabras clave: humedal artificial, agua residual, especies vegetales

ABSTRACT

In order to simplify the treatment of domestic wastewater; a sub-superficial flow swamp was implemented with different plant species (*Echinochloa polystachya* Hitch, *Eriochloa polystachya* Kunth, and *Brachiaria mutica* Forks), using a complete randomized design. The variables evaluated were BOD, COD, aluminum, total nitrogen, total coliforms index, total phosphorus and total solids. The effect of species on the level of reduction of water pollution did not show statistical differences ($p < 0.05$), but it lowered levels of contamination in COD (82 %), BOD₅ (80 %), phosphorus (53 %) and total solids (50 %). Plant species did not help in decreasing the pollution of total nitrogen variables, aluminum, and total coliforms index. Although, *Brachiaria mutica* Forks, and *Echinochloa polystachya* Hitch, did not present significant effects, they could have potential to be used in subsurface flow wetlands, because they lowered BOD₅, COD, nitrogen, aluminum and total solids and their effects could appear in long term studies.

KEYWORDS: Wetland, residual water, plant species

Date of Submission: 02-01-2021

Date of Acceptance: 15-01-2021

I. INTRODUCCIÓN

Según Esponda (2001) el agua es uno de los recursos naturales que forma parte del desarrollo de cualquier país, sin embargo su disponibilidad es paulatinamente menor debido a su contaminación por diversos medios.

El crecimiento de la población a nivel mundial y los avances tecnológicos, han contribuido con grandes ventajas pero a su vez han dado lugar al problema de contaminación generada por las aguas residuales domésticas o industriales que son devueltas a las fuentes de agua de manera inadecuada y sin ningún tratamiento, lo que genera impactos negativos sobre la salud pública y el ambiente (UNESCO 2003).

La autoridad ambiental Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) mediante la Ley de Gestión Ambiental define a las aguas residuales como aguas de composición variada provenientes de la descarga de usos municipales, industriales, comerciales, de servicio agrícola, pecuario, doméstico, incluyendo fraccionamiento y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original (MAE 2007).

Las aguas residuales generadas poseen una alta carga de sustancias tóxicas, sedimentos y materiales orgánicos e inorgánicos demandantes de oxígeno que estimulan el crecimiento de plantas y microorganismos patógenos que contaminan las fuentes hídricas (UNESCO 2003).

El incremento en la generación de aguas residuales obliga a buscar y aplicar alternativas de tratamiento de aguas residuales domésticas, donde los humedales artificiales de flujo superficial resultan viables para tal efecto (Arias y Brix, 2003).

Los humedales artificiales se definen como sistemas que simulan una zona de transición entre el ambiente terrestre y el acuático, pero que son específicamente construidos para el tratamiento de aguas residuales bajo condiciones controladas de ubicación, dimensionamiento y capacidad de tratamiento (Romero-Aguilar *et al.*, 2009).

Lahora (2002) manifiesta que en los humedales naturales crecen vegetales, animales y microorganismos especialmente adaptados a estas condiciones ambientales, estos seres vivos y los procesos físicos y químicos, son capaces de depurar el agua, eliminan grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo y, en algunos casos, productos químicos tóxicos; por esta razón se ha llamado a los humedales “los riñones del mundo”. Son una tecnología efectiva y segura para el tratamiento y recirculación del agua si se mantienen y operan adecuadamente (Romero-Aguilar *et al.*, 2009).

Según Castañeda y Flores (2013) las especies de plantas remueven selectivamente algunos contaminantes presentes en las aguas residuales de origen doméstico, Romero-Aguilar *et al.*, (2009) sostienen que las especies de plantas que se utilicen son importantes, cada una difiere en su capacidad de depuración del agua residual, remoción de nutrimentos específicos, elementos traza y metales pesados; se conoce del uso de carrizo (*Phragmites australis*) y (tule), (*Typha dominguensis*) previamente aclimatadas a las condiciones ambientales del sitio de prueba.; los humedales artificiales tienen una eficiencia de remoción alta de los diferentes parámetros, inclusive es superior a otros sistemas de tratamiento de aguas residuales.

En el Ecuador la gestión de aguas residuales, no tenía mucha relevancia y su tratamiento estaba dirigido para las aguas residuales producidas por el sector urbano. A partir del 2008 la nueva Constitución y la ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental prohíben descargar a las redes de alcantarillado, quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales (Constitución Política del Ecuador, 2008), no obstante, su aplicación aun es deficiente pues en muchas ciudades del país no se aplica ningún tratamiento a las aguas residuales que van directamente a los ríos ocasionando serios problemas ambientales que afectan a la calidad de vida de las poblaciones aledañas.

Fuertes (2008) indica que en Santo Domingo las aguas residuales se descargan directamente a los ríos sin cumplir las normas técnicas para descargas de aguas residuales, lo que afecta al ambiente y salud de las personas.

El tratamiento de aguas residuales puede ser un proceso productivo del cual se obtiene agua tratada, siendo una de sus finalidades la mejora del ambiente y la reducción de aguas contaminadas (De la Peña *et al.*, 2013), considerando el aspecto anterior, la investigación se orienta a contribuir al tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante la implementación de un humedal artificial con especies vegetales, se diseñó, construyó y evaluó un sistema de humedal subsuperficial, con el propósito de devolver el agua a una fuente natural con los niveles permisibles en la legislación ecuatoriana; para cumplir con el estudio, se utilizó un diseño completamente al azar, se trabajó con tres especies vegetales de la zona: pasto alemán *Brachiaria mutica*, pasto jameiro *Eriochloa polystachya* y gramalote *Echinochloa polystachya*, se midió las variables DBO, DQO, fósforo, sólidos totales, nitrógeno total, aluminio y coliformes.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la parroquia Luz de América, cantón Santo Domingo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, km 24 de la vía Santo Domingo-Quevedo, hacienda Zoila Luz. Geográficamente entre las coordenadas N: 9 954 973 m y E: 687 858 m, Zona 17 S (Uday, 2013). De acuerdo a la propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental de Sierra *et al.*, (1999) el área pertenece a la formación de bosque siempre verde de tierras bajas y bosque siempre verde premontano. Se investigó el efecto de tres especies herbáceas de la familia de las POACEAE, Subfamilia: PANICOIDEAE *Echinochloa polystachya* Hitch., *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks. Se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones, los tratamientos bajo estudio se presentan en el **cuadro I**.

Nº de Tratamiento	Código	Descripción
T1	E.p.	<i>Echinochloa polystachya</i>
T2	Er.p.	<i>Eriochloa polystachya</i>
T3	B.m.	<i>Brachiaria mutica</i>
T4	Mezcla	Mezcla de las tres especies

Cuadro I. Descripción de los tratamientos utilizados en el estudio uso de *Echinochloa polystachya* Hitch, *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks en el tratamiento de aguas residuales domésticas”

Se establecieron 16 unidades experimentales de 1 m de ancho * 4 m de largo y 0,6 m de profundidad. En el análisis estadístico de los datos se empleó el software estadístico INFOSTAT versión 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008). Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los datos presentaron un rango amplio de variación entre unidades experimentales, entonces se realizó transformación a raíz cuadrada de los datos (Raíz X) sugerida por (Silva, 2008).

Para determinar el caudal de descarga se utilizó el método volumétrico para lo cual se aforó por un periodo de tres semanas a las 6H00 y 18H00, además se realizó un muestreo de la temperatura del agua residual, tres veces a la semana (lunes-miércoles-viernes) y simultáneamente se registraron datos de temperatura del aire.

El día 15 de aforo se colectó una muestra de agua residual y se envió al Laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador para el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo, sólidos totales y coliformes (Delgadillo *et al.*, 2010).

En el diseño del humedal se consideró una superficie necesaria para la remoción DBO, el método de cálculo de parámetros para la implementación fue el sugerido por (Lara, 1999 y Sánchez, 2005). Calculado el largo y ancho del humedal se procedió a la implementación de las 16 unidades experimentales.

La implementación del humedal consistió en: reconocimiento del terreno, limpieza del área, construcción e impermeabilización del humedal, construcción de cajetines de entrada y salida del agua, aplicación de capas filtrantes (20 cm de grava, 25 cm de arena y 15 cm de suelo) y siembra de especies (20 cm x 10 cm) (figura 1).

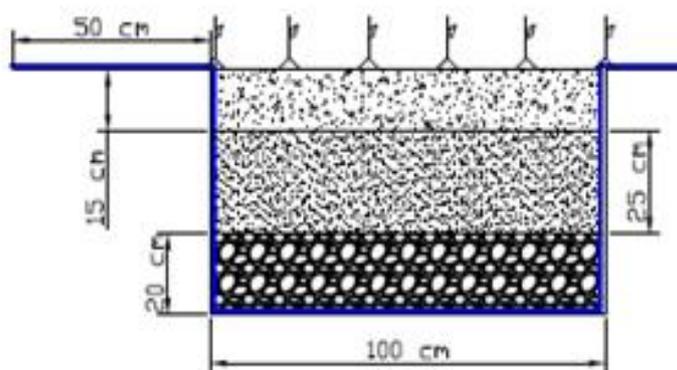


Figura 1. Corte transversal del humedal, muestra el espesor de las capas filtrantes

Para determinar los niveles de contaminación del agua residual, se tomaron muestras de agua residual cada dos meses y se enviaron al laboratorio para su respectivo análisis físico-químico. La primera evaluación se realizó a los 30 días después de entrar en funcionamiento el humedal, las posteriores evaluaciones cada dos meses.

Las variables evaluadas en el experimento fueron: demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos totales, nitrógeno total, aluminio, Índice de coliformes.

III. RESULTADOS

Caracterización de las aguas residuales

Las aguas residuales domésticas en el área de la investigación provienen de actividades cotidianas que implican el aseo personal y uso para preparación de alimentos. El volumen diario de ingreso del agua al humedal fue de 6,9 m³, en función de este resultado se realizaron los cálculos para el diseño del humedal (Uday, 2013). El promedio final de la temperatura del agua residual fue de 20,4 °C y la temperatura promedio del aire de 23,38 °C. El agua residual a la entrada del humedal (**cuadro II**) presentó valores superiores al límite permisible para devolver el agua a un cuerpo de agua dulce en las variables demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno e índice de coliformes totales mientras que aluminio, nitrógeno total, fósforo total y sólidos totales se ubican dentro de los límites permisibles establecidos por (MAE, 2007).

Variable	Unidades	Resultado	Límite permisible
DBO	mg/l	182	100
DQO	mg/l	608	250
Aluminio	mg/l	0,398	5
Nitrógeno total	mg/l	6,47	15
Coliformes totales	NMP/100ml	5,4x10 ⁵	1000
Fósforo total	mg/l	5,07	15
Sólidos totales	mg/l	638	1600

Cuadro II. Análisis físico químico del agua residual a la entrada del humedal de flujo subsuperficial, en el estudio uso de *Echinochloa polystachya* Hitch, *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Implementación del humedal artificial

El humedal se diseñó para que el agua a la salida, presente una DBO de 20 mg/l. Los parámetros de temperatura del agua y del aire están cerca de los límites que reportan Delgadillo *et al.*, (2010), lo que asegura el desarrollo de la actividad bacteriana en el humedal. El tiempo de retención hidráulica concuerda con el criterio de Delgadillo *et al.*, (2010) que cuando el agua residual es retenida en el humedal por un tiempo de uno a ocho días al interior, los sistemas son bastante resistentes a incrementos de contaminantes en el agua residual, siempre que duren poco tiempo. Según Llagas y Guadalupe (2006), la relación largo ancho para que un humedal funcione adecuadamente debe ser 4:1, esta coincide con la calculada en la investigación (**cuadro III**).

Parámetro	Valor del parámetro
Área superficial	70,73 m ²
Profundidad humedal	0,60 m
Pendiente	3 %
Temperatura del agua	20 °C
Temperatura del aire	23 °C
Tiempo de retención hidráulica	2,1 días
Humedales	16
Ancho humedal ind.	1 m
Largo humedal ind.	4,4 m

Cuadro III. Parámetros utilizados en la implementación del humedal artificial de flujo subsuperficial, en el estudio uso de *Echinochloa polystachya* Hitch, *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

El análisis de varianza de los niveles de contaminación del agua residual a la salida del humedal presentó los siguientes resultados (**cuadro IV**).

Fuentes de variación	GL	DBO	DQO	Aluminio	Nitrógeno total	Índice de coliformes	Fósforo total	Solidos totales
Especies	3	0,34 ns	0,15 ns	0,03 ns	0,26 ns	27,62 **	0,01 ns	0,03 *
Error experimental	12	0,57	0,32	0,08	0,2	1,09	0,04	0,01
Error de muestreo	32	0,09	0,05	8,50E-04	0,02	2,15	2,40E-03	0,01
Total	47							
Coefficiente de variación:		22,25	11,56	10,32	14,32	29,51	9,45	3,11
p-valor		0,6265	0,7145	0,7802	0,3343	<0,0001	0,8297	0,0446

Cuadro IV. Niveles de contaminación de las aguas residuales domésticas a la salida del humedal, en el estudio uso de *Echinochloa polystachya* Hitch, *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Demanda bioquímica de oxígeno, DBO

La demanda bioquímica de oxígeno no presenta diferencia entre tratamientos con p-valor= 0,6265. El análisis entre evaluaciones presenta a las especies *Brachiaria mutica* y *Echinochloa polystachya* con los niveles más bajos de DBO, *Eriochloa polystachya* en la evaluación uno presenta el nivel más alto de DBO pero su efecto en la disminución es de aproximadamente un 50 % de 67 a 34 mg/l (**figura 2-a**). De acuerdo con Bedoya Pérez, *et al.* (2014) la eficiencia de los humedales con respecto a la DBO oscila entre el 20 y el 93 % con un promedio de 70,9 %, esto permite aseverar que el humedal implementado contribuyó con una remoción que cae dentro del rango esperado, pero, debajo del promedio.

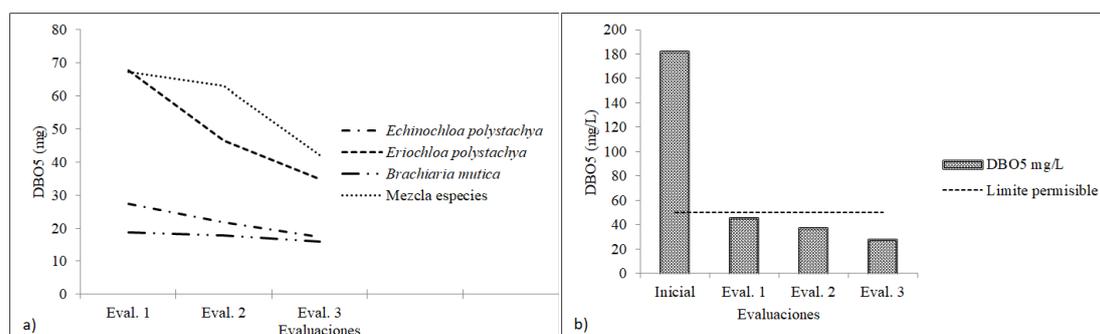


Figura 2.a) Comportamiento de *Echinochloa polystachya* Hitch., *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks de las especies durante tres evaluaciones de aguas residuales, con relación a la DBO. **b)** Comparación de la DBO inicial y evaluaciones con el límite permisible emitido por el Ministerio del Ambiente-Ecuador.

La demanda bioquímica de oxígeno obtenida al inicio de la investigación se logró disminuir a un valor más bajo al reportado por Lahora (2002), cuyo valor fue de 73 mg/l. Al respecto, el límite permisible para descarga de aguas a un cuerpo de agua dulce en el Ecuador es de 50 mg/l (Ministerio del Ambiente, 2007) y 100 mg/l (Espíndola, 2011). Según la FAO (2004) y TULAS (2003), las aguas reutilizadas para uso agrícola deben tener como límite en demanda bioquímica de oxígeno 15 mg/l. Los límites de la demanda bioquímica de oxígeno anteriores indican que el agua residual tratada en la investigación es apta para descargarla a un cuerpo de agua dulce; pero no es adecuada para su reutilización en actividades agrícolas (figura 2-b).

Demanda química de oxígeno, DQO

El análisis de varianza para la demanda química de oxígeno no presenta diferencia significativa, presenta un valor de $p=0,7145$. El efecto de las especies en función del tiempo para la variable DQO muestra que lograron descontaminar el agua residual, así, *Brachiaria mutica* y *Echinochloa polystachya* presentan niveles más bajos de DQO con respecto a *Eriochloa polystachya* y la mezcla de las tres especies (figura 3-a).

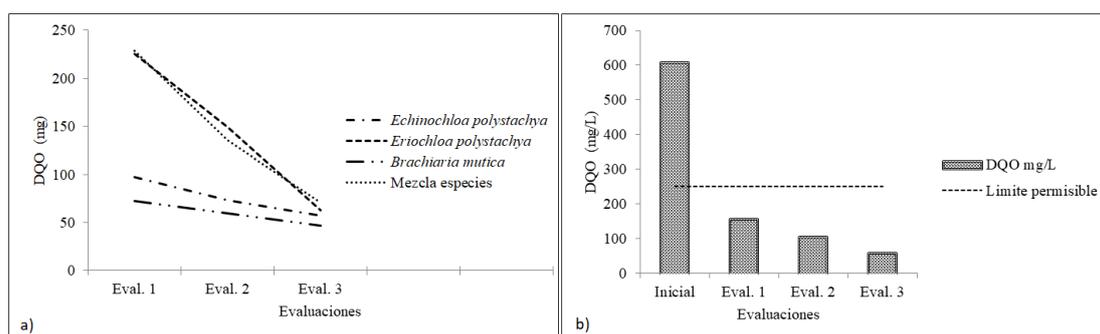


Figura 3.a) Comportamiento de *Echinochloa polystachya* Hitch., *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks en tres evaluaciones de aguas residuales, con relación a la Demanda Química de Oxígeno. **b)** Comparación de la DQO inicial y evaluaciones con el límite permisible emitido por el Ministerio del Ambiente.

La demanda química de oxígeno del agua tratada en la investigación disminuyó a la salida del humedal, situación que concuerda con el criterio de Celis *et al.*, (2005) en un estudio sobre las aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas donde lograron reducir entre 60 a 85 % del nivel de DQO. El Ministerio del Ambiente (2007) y Espíndola (2011) concuerdan que para descarga de aguas residuales a un cuerpo de agua dulce, el límite permisible es de 250 mg/l, este límite es superior al encontrado (107 mg/l), lo que significa que el agua residual tratada en la investigación es indicada para descargarla a un cuerpo de agua dulce (figura 3-b).

Fósforo total

El análisis de varianza para fósforo total no presentó diferencia estadística $p=0,8297$. Se observó que de la primera a la tercera evaluación, los niveles de fósforo en el agua residual disminuyeron con la mezcla de las tres especies. También se nota que *Eriochloa polystachya* se mantiene con los niveles de contaminación con una leve proyección a incrementar pues va de 2,05 en la primera evaluación a 2,09 en la tercera evaluación (figura 4-a).

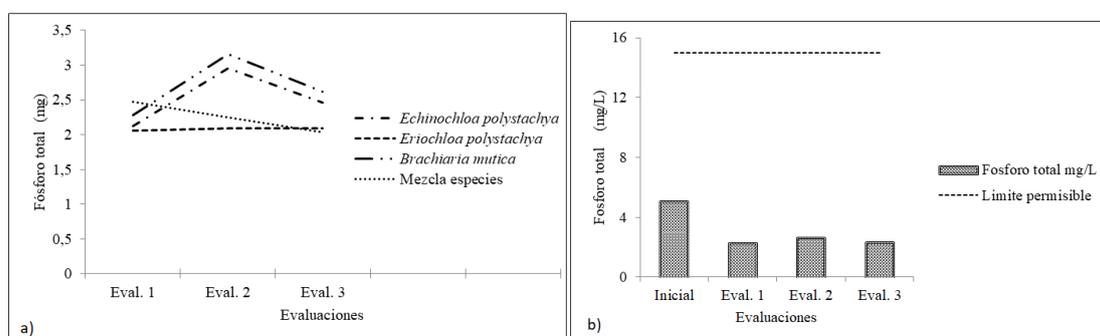


Figura 4.a) Comportamiento de *Echinochloa polystachya* Hitch., *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks en tres evaluaciones de aguas residuales, con relación a fósforo total. **b)** Comparación de fósforo total inicial con tres evaluaciones de aguas residuales domésticas.

El contenido de fósforo total fue menor a la salida con respecto a la entrada del agua al humedal, este resultado concuerda con el valor reportado por Celis *et al.*, (2005) quienes lograron tasas de remoción para fósforo de 2 mg/l en aguas residuales domésticas. En la norma emitida por el Ministerio del Ambiente (2007) el límite permitido para descarga de aguas residuales a un cuerpo de agua dulce es de 15 mg/l, mientras que para Espíndola (2011) el nivel es de 10 mg/l, según los criterios anteriores, el agua residual tratada en la investigación está dentro de los límites permisibles para descargar a un cuerpo de agua dulce. Por otro lado, según la FAO (2004), las aguas reutilizadas para uso agrícola deben tener como límite en fósforo total 15 mg/l, por lo tanto, el agua residual tratada en la investigación es apta para agricultura (**figura 4-b**).

Sólidos totales

En la variable sólidos totales existe diferencia significativa con un valor de $p=0,0446$, lo que indica que el efecto de las especies fue diferente en el control de sólidos totales de las aguas residuales domésticas.

La prueba de Tukey muestra tres rangos, en el primer rango se ubica la especie *Eriochloa polystachya* con el promedio más alto, en el segundo rango se encuentra la mezcla de especies y *Brachiaria mutica* y el tercer rango conformado por *Echinochloa polystachya* con el menor promedio de contenido de sólidos totales. El análisis de Tukey muestra que *Echinochloa polystachya* es la especie que mejor actuó en la disminución de sólidos totales, puesto que durante los tres evaluaciones mantuvo valores constantes de sólidos totales 274 - 275 y 281 mg/l en la evaluación uno, dos y tres respectivamente (**figura 5, Figura 6-a**).

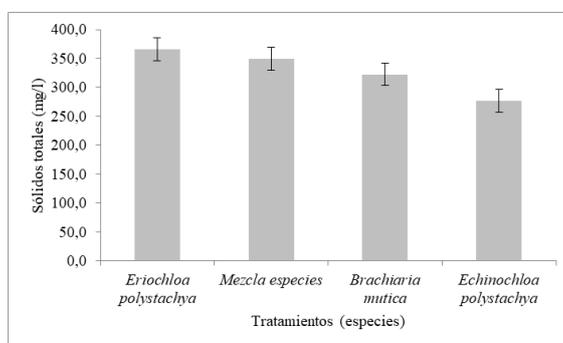


Figura 5. Prueba de rangos múltiples de Tukey para la variable sólidos totales en el estudio del uso de especies vegetales para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

El nivel de sólidos totales a la salida del humedal disminuyó con respecto al nivel encontrado a la entrada, al respecto, el Ministerio del Ambiente (2007) y Espíndola (2011) concuerdan en que el límite permitido de sólidos totales para aguas residuales a un cuerpo de agua dulce es de 1600 mg/l; por lo tanto, el agua residual tratada en la investigación está dentro de los límites permisibles y es apta para su descarga a un cuerpo de agua dulce. Además esta agua se la puede utilizar con fines agropecuarios, puesto que la FAO (2004) y TULAS (2003) determinan como límite permisible de sólidos totales 3 000 mg/l (**figura 6-b**).

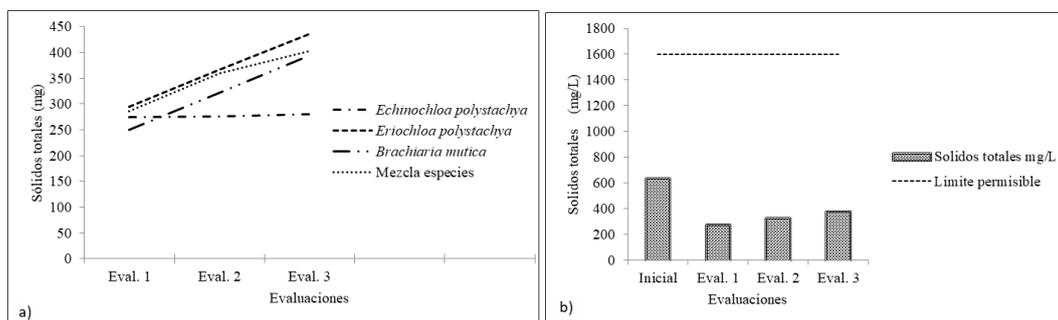


Figura 6.a) Comportamiento de *Echinochloa polystachya* Hitch., *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks en tres evaluaciones de aguas residuales, con relación a fósforo total. **b)** Comparación de fósforo total inicial con tres evaluaciones de aguas residuales domésticas.

Nitrógeno total

El análisis de varianza para la variable nitrógeno total resultó no significativo con un valor de $p=0,3343$. El comportamiento de las especies con relación a las evaluaciones, se observa que la mezcla de especies presenta el promedio más bajo (8,095 mg/l), pero la tendencia es a incrementarse según el tiempo, no

así, *Brachiaria mutica* aunque en la evaluación uno presenta 10 mg/l de contenido de nitrógeno total, en la tercera evaluación disminuye a 5 mg/l. *Echinochloa polystachya* presenta el promedio más alto 13,736 mg/l en contenido de nitrógeno total (figura 7-a).

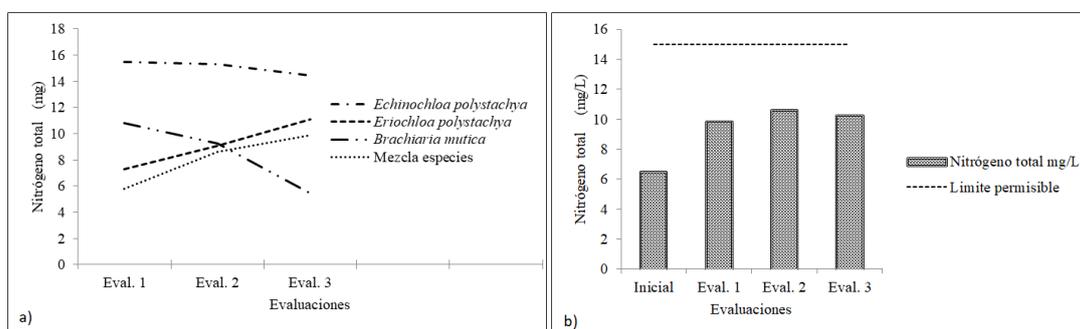


Figura 7.a) Comportamiento de *Echinochloa polystachya* Hitch., *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks en tres evaluaciones de aguas residuales, con relación a nitrógeno total. **b)** Comparación de nitrógeno total inicial con tres evaluaciones de aguas residuales domésticas.

Al comparar el contenido de nitrógeno inicial con las evaluaciones siguientes, se observa un incremento, sin embargo el TULAS (2003); Ministerio del Ambiente (2007) y Espíndola (2011) coinciden que el límite permitido para descargas de agua residual a un cuerpo de agua dulce es de 15 mg/l, motivo por el cual, el agua residual tratada en la investigación está dentro de los límites permisibles para descarga a un cuerpo de agua dulce. Además, el límite de nitrógeno total encontrado es menor al límite permisible para utilizar el agua en riego 10 mg/l (FAO, 2004), por lo tanto el agua residual tratada en la investigación es apta para utilizarla en fines agropecuarios. Las especies utilizadas no influyeron en la retención de nitrógeno, cosa que no concuerda con Celis *et al.*, (2005) que sostiene que la vegetación tiene una fuerte incidencia en la retención de nitrógeno en humedales, sea por absorción directa en los tejidos de las plantas o por desnitrificación provocada por microorganismos, el resultado obtenido en la investigación no refleja el verdadero efecto de las especies, pues, la evaluación fue durante los primeros seis meses, luego de la implementación del humedal y según Alarcón *at al.*, (1997) se requiere de al menos un año para que la vegetación y microorganismos del suelo alcancen su desarrollo óptimo. Se debe aclarar que el humedal se diseñó para DBO y no para nitrógeno (figura 7-b).

Aluminio

Estadísticamente no existe diferencia significativa entre los tratamientos en estudio, puesto que el valor de $p=0,7802$. El efecto de las especies en función del tiempo para la variable aluminio indica que *Echinochloa polystachya* presenta valores bajos en contenido de aluminio, y se nota que desde la primera hasta la tercera evaluación logra descontaminar el agua residual; la mezcla de especies y *Eriochloa polystachya* no lograron descontaminar, al contrario se nota un incremento en los niveles de aluminio. *Brachiaria mutica*, se mantiene con los niveles de contaminación inicial, con una breve tendencia al alza (figura 8-a).

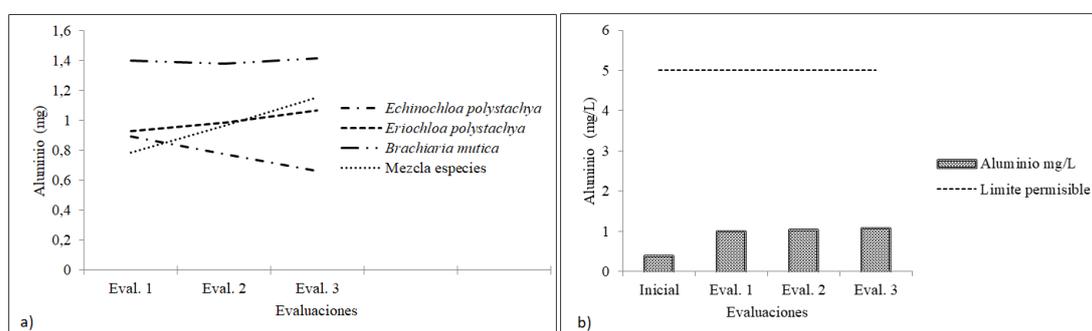


Figura 8.a) Comportamiento de *Echinochloa polystachya* Hitch., *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks en tres evaluaciones de aguas residuales, con relación a aluminio. **b)** Comparación de aluminio inicial con tres evaluaciones de aguas residuales domésticas.

El contenido de aluminio a la salida del agua del humedal se incrementó, probablemente, este fenómeno ocurrió porque a la entrada del humedal se realizó un solo análisis físico-químico de las aguas residuales o también puede ser que la conductividad hidráulica del agua resultó ser muy baja y ello no ayudó a la descontaminación. Aun así, los niveles de aluminio a la salida de los humedales en los tres evaluaciones son

bajos y consecuentemente el agua residual tratada en la investigación según el criterio de TULAS (2003), Ministerio del Ambiente (2007) y Espíndola (2011) puede ser devuelta a un cuerpo de agua dulce, pues ellos determinan como límite permisible para este parámetro 5 mg/l (**figura 8-b**).

Índice de coliformes totales

El análisis de varianza para la variable índice de coliformes totales presentó diferencia altamente significativa con una probabilidad de 0,0001, ello determina que las especies utilizadas para el tratamiento de aguas residuales son diferentes.

Para descarga de aguas a un cuerpo de agua dulce el Ministerio del Ambiente (2007) establece un límite permisible en contenido de coliformes totales de 1 000 NMP/100 ml, Espíndola (2011) establece 50 000 NMP/100 ml y TULAS (2003) determina 3000 NMP/100 ml; los límites expuestos determinan que el agua residual tratada en la investigación sobrepasa a los mismos y no presenta características deseables para su respectiva descarga a un cuerpo de agua dulce. En el TULAS (2003) y FAO (2004), las aguas reutilizadas para uso agrícola deben tener como límite en índice de coliformes totales de 7 000 NMP/100 ml; por lo tanto el agua residual tratada en la investigación no es apta para utilizarla con fines agropecuarios. Lara y Vera (2005) reportan que estos sistemas alcanzan el 90 % de eficiencia para este parámetro, pero el sistema tiene que estabilizarse para alcanzar valores altos de remoción, al respecto Alarcón *et al.*, (1997) y Bedoya Pérez, *et al.*, (2014) coinciden en que es necesario al menos un año para que la vegetación y los microorganismos del sustrato alcancen un desarrollo óptimo, a veces es necesario un tiempo mayor; también se aclara que el humedal fue diseñado para DBO y no para coliformes.

Los resultados del estudio evidencian que las especies *Echinochloa polystachya*, *Eriochloa polystachya* y *Brachiaria mutica* disminuyeron los niveles de DBO, DQO, fósforo total y sólidos totales, pero no logró la remoción de nitrógeno total, aluminio e índice de coliformes totales, sin embargo, demostró que su efectividad puede incrementarse, por lo tanto, es necesario continuar con el monitoreo después del año de implementado el humedal hasta que la vegetación y los microorganismos del sustrato alcancen su desarrollo óptimo Bedoya Pérez, *et al.*, (2014). La especie *Brachiaria mutica* es potencial para utilizarla en humedales artificiales de flujo subsuperficial, presenta los promedios más bajos en contenido de DBO, DQO y nitrógeno total y *Echinochloa polystachya* demostró ser eficaz para la remoción de aluminio y sólidos totales.

REFERENCIAS

- [1]. Arias I, C., & Brix, H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 13(1), 17-24. doi:<https://doi.org/10.18359/rcin.1321>. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1321/1051>
- [2]. Alarcón, A.; Kolb, P. y Marull, J. 1997. Recuperación medioambiental del tramo final del río Besós. *Bio*, 10:7-11.
- [3]. Bedoya Pérez, J., & Ardila Arias, A., & Reyes Calle, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la institución universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30 (3), 275-283. <http://www.redalyc.org/html/370/37031522004/>
- [4]. Castañeda Villanueva, A. A. y Flores López, H. E. (2013, Septiembre). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México, en Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad. Año 3, núm. 5, septiembre 2013-febrero 2014. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5695425>.
- [5]. Celis, J.: Junod, J.; Sandoval M. 2005. Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Teoría*. Vol. 14,1. <http://www.ubiobio.cl/theoria/v/v14/a2.pdf>
- [6]. Constitución Política de la República del Ecuador. 2008. Decreto Presidencial N° 374, Quito, EC, LTDA. © ISBN, 218 p.
- [7]. De la Peña M.E., Ducci J. y Zamora Plascencia V. (2013). Tratamiento de aguas residuales en México. Banco Interamericano de Desarrollo, México D.F., México, 41 pp. <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5931/Tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20en%20M%C3%A9xico.pdf?sequence=4>
- [8]. Delgadillo, O.; Camacho A.; Pérez, L. y Andrade, M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Serie Técnica. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Universidad mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. Pp. 54. <http://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/02/depuracion-de-aguas-residuales-por-medio-de-humedales-artificiales.pdf>
- [9]. Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. https://www.researchgate.net/publication/283491340_Infostat_manual_del_usuario
- [10]. Espíndola, E. 2011. Evaluación de Efluentes Industriales Descargados por la industria embotelladora de bebidas gaseosas The Tesalia Springs Company, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. p 167, 168, 169. <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/829/1/BQ9%20Ref.%203364.pdf>
- [11]. Esponda A. 2001. Arranque de un sistema experimental de flujo vertical a escala piloto de tipo humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [12]. FAO. 2004. Normas de calidad de Aguas Clase III para riego y uso agrícola. Caracas, VE, p 28, 29, 30.
- [13]. Fuertes, H. 2008. Estudio del Impacto Ambiental. Proyecto Relleno Sanitario. Gobierno Municipal de Santo Domingo. Disponible en: www.ambiente.gob.ec/.../SANTO%20OMINGO/1_%20FICHA%20TÉCNICArelleno.pdf
- [14]. Lahora, A. 2002. Depuración de Aguas Residuales Mediante Humedales Artificiales: La Edar de Los Gallardos (Almería). Gestión de Aguas del Levante Almeriense S.A. GALASA consultado el 19 de marzo de 2018. Disponible en: http://www.almediam.org/PDF/humedales_17.pdf
- [15]. Lara, J. 1999. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Universidad politécnica de Cataluña. 1999. 122p. Consultado en la página web: <http://www.aprchile.cl/pdfs/Humedales.pdf>. 15/06/2010.
- [16]. Lara, J.; Vera I. 2005. Implantación y evolución de un humedal artificial de flujo subsuperficial en Cogua, Cundinamarca, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Col. Ingeniería y universidad. vol. 9, núm. 1, enero-junio 2005. Pp. 47-

- 63 https://www.researchgate.net/profile/Jaime_Lara-Borrero/publication/230888087_IMPLANTACION_Y_EVOLUCION_DE_UN_HUMEDAL_ARTIFICIAL_DE_FLUJO_SUBSU_PERFICIAL_EN_COGUA_CUNDINAMARCA_COLOMBIA/links/0fcfd505c9cc8c275a000000/IMPLANTACION-Y-EVOLUCION-DE-UN-HUMEDAL-ARTIFICIAL-DE-FLUJO-SUBSUPERFICIAL-EN-COGUA-CUNDINAMARCA-COLOMBIA.pdf
- [17]. Llagas, W.; Guadalupe, E. 2006. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. vol.9, no.17, p.85-96. <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/699/552>
- [18]. MAE Ministerio del Ambiente del Ecuador). 2007. Normas de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes. Gestión Ambiental, Quito, EC.35 p.
- [19]. Romero-Aguilar, Mariana, Colín-Cruz, Arturo, Sánchez-Salinas, Enrique, & Ortiz-Hernández, Ma. Laura. (2009). Wastewater treatment by an artificial wetlands pilot system: evaluation of the organic charge removal. Revista internacional de contaminación ambiental, 25(3), 157-167. Recuperado en 15 de marzo de 2018, de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300004&lng=es&tlng=en.
- [20]. Sánchez, N. 2005. Depuración de las aguas Residuales por Tecnologías Ecológicas y Bajo Costo. Madrid, España. p. 307 – 330.
- [21]. Sierra, R. (Ed.). 1999. Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito, Ecuador.
- [22]. Silva, E. 2008. Bioestadística y diseño experimental. Universidad Tecnológica Equinoccial. Centro de Postgrados. 122p.
- [23]. TULAS (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria) del Ministerio del Ambiente. 2003. Decreto Ejecutivo 3399 en Registro Oficial 725, diciembre 16, 2002; y Decreto Ejecutivo 3516 R.O. Edición Especial N° 2.
- [24]. Uday, M.V. 2013. Tratamiento de aguas residuales mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con especies vegetales. Tesis de Maestría en Administración Ambiental del Área de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja - Ecuador, 93 p.
- [25]. UNESCO (2003). Water for people, water for life. Executive Summary of the UN World Water Development Report. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. París, Francia. 36 pp. <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556e.pdf>

UDAY, V.; CUEVA, E. & RIVADENEIRA, F. "USO DE *Echinochloa polystachya* Hitch, *Eriochloa polystachya* Kunth y *Brachiaria mutica* Forks EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS." *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, Vol. 10(01), 2021, PP 60-68. Journal DOI- 10.35629/6734