

# Fitorremediación de agua residual urbana de la ciudad de Maracaibo empleando *Eichhornia crassipes*

*Phytoremediation of urban wastewater from the city of Maracaibo using Eichhornia crassipes*

**María Virginia Hernández**

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela  
Correo electrónico: [mvirginiahm1@gmail.com](mailto:mvirginiahm1@gmail.com)

**Isabel Villasmil**

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela  
Correo electrónico: [villasmilisa@hotmail.com](mailto:villasmilisa@hotmail.com)

**Laugeny Díaz Borrego**

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela  
Universidad del Zulia. Facultad Experimental de Ciencias. Departamento de Biología. Laboratorio de Microorganismos  
Fotosintéticos. Maracaibo, Venezuela

 <https://orcid.org/0000-0002-8263-081X> | Correo electrónico: [laugeny.diaz.8396@uru.edu](mailto:laugeny.diaz.8396@uru.edu)

Recibido: 17/01/2022

Aceptado: 11/04/2022

## Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar la remoción de materia orgánica y nutrientes de un agua residual urbana mediante fitorremediación con *Eichhornia crassipes*. Se realizó una investigación tipo descriptiva con un diseño experimental. El experimento consistió en aclimatar las plantas para obtener suficiente biomasa en presencia de agua potable y fertilizante. Posteriormente, se conformaron dos grupos: el "Control" contenía agua residual sin tratar y el "Tratamiento" contenía agua residual y las plantas, para evaluar los cambios en las propiedades fisicoquímicas del agua y la remoción de contaminantes y de bacterias indicadoras de contaminación. Para el agua residual se obtuvo en promedio: pH de  $7,70 \pm 0,06$ , para el Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK) de  $44,8 \pm 0$  mg. L<sup>-1</sup>, para el Fósforo Total (PT) de  $6,60 \pm 1,92$  mg. L<sup>-1</sup>, para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de  $130,54 \pm 57,82$  mg. L<sup>-1</sup>, para coliformes totales  $>16000$  NMP/100 mL y coliformes fecales  $9200$  a  $>16000$  NMP/100 mL. Se analizó el agua los días 0 y 30, para estimar los porcentajes de remoción obtenidos para cada parámetro, y los resultados se compararon con los valores límites establecidos en la norma 883 de la Gaceta No. 5.201, 1995. Se justificó aplicar un tratamiento de fitorremediación para remover los contaminantes de estas aguas, debido a que el NTK excedía el valor permitido en la norma. Los mayores valores de remoción obtenidos fueron de 88,75% para NTK, 40,33% para PT, no hubo remoción de DQO, para coliformes fecales y totales se obtuvo 97,83% y 97,18% respectivamente. Se debe tomar en cuenta, que los valores de PT y DQO se encontraron por debajo de los límites de la norma, por lo que se puede destacar que la fitorremediación con *E. crassipes* es recomendable como tratamiento terciario para el agua residual por su capacidad de remover nitrógeno.

**Palabras clave:** Fitorremediación, *Eichhornia crassipes*, aguas residuales, remoción

## Abstract

The objective of this work was to determine the removal of organic matter and nutrients from urban wastewater through phytoremediation with *Eichhornia crassipes*. A descriptive research was carried out with an experimental design. The experiment consisted of acclimatizing the plants to obtain sufficient biomass in the presence of drinking water and fertilizer. Subsequently, two groups were formed: the "Control" contained untreated wastewater and the "Treatment" contained wastewater and the plants, to evaluate the changes in the physicochemical properties of the water and the removal of contaminants and

bacteria indicating contamination. For the residual water, an average of pH of  $7.70 \pm 0.06$  was obtained, for Total Kjeldhal Nitrogen (NTK) of  $44.8 \pm 0$  mg. L<sup>-1</sup>, for Total Phosphorus (TP) of  $6.60 \pm 1.92$  mg. L<sup>-1</sup>, for the Chemical Oxygen Demand (COD) of  $130.54 \pm 57.82$  mg. L<sup>-1</sup>, for total coliforms >16000 NMP/100 mL and fecal coliforms 9200 to >16000 NMP/100 mL. The water was analyzed on days 0 and 30 to estimate the removal percentages obtained for each parameter, and the results were compared with the limit values established in standard 883 of Gazette No. 5,201, 1995. It was justified to apply a treatment of phytoremediation to remove contaminants from these waters, because the NTK exceeded the value allowed in the standard. The highest removal values obtained were 88.75% for NTK, 40.33% for PT, there was no removal of COD, for fecal and total coliforms, 97.83% and 97.18% were obtained respectively. It must be taken into account that the TP and COD values were below the limits of the standard, so it can be highlighted that phytoremediation with *E. crassipes* is recommended as a tertiary treatment for wastewater due to its capacity to remove nitrogen.

**Keywords:** Phytoremediation, *Eicchornia crassipes*, wastewater, removal

## Introducción

Para la ONU el agua es un recurso natural limitado y un bien público fundamental para la vida y la salud, siendo el derecho humano al agua indispensable para vivir dignamente. Sin embargo, en Venezuela según un informe presentado por el Programa Mundial de Alimentos de la Organización de Naciones Unidas en el 2020 [1], se dio a conocer que el 25% de los hogares venezolanos no tienen acceso estable a agua potable. El documento señaló que las familias venezolanas se ven obligadas a usar estrategias alternativas como la compra de agua embotellada o el uso de camiones cisterna, para acceder al agua potable.

De acuerdo con Tonatiuh [2], las aguas residuales son aquellas cuya calidad ha sido afectada negativamente por la actividad humana, y provienen de viviendas, poblaciones y áreas industriales por lo cual arrastran numerosos contaminantes. Así mismo, García y Pérez [3], mencionan que desde el momento en que aparecieron las primeras poblaciones estables, la eliminación de los residuos ha constituido un problema primordial para las sociedades humanas. Durante las últimas décadas, el mundo ha venido observando con inquietud, analizando y tratando de resolver una serie de problemas relacionados con la disposición de los residuos líquidos procedentes del uso doméstico, agrícola e industrial.

Entonces, además de ser considerada un privilegio, y que puede contener toda clase de residuos y contaminantes que derivan de la actividad para la que fue utilizada en un principio, dando origen a las aguas residuales, estas últimas muchas veces son vertidas de forma incorrecta, lo que ocasiona daño a los ecosistemas acuáticos y subterráneos, y deriva en escasez de agua limpia debido a que no cuenta con la calidad adecuada. De igual manera, García y Pérez [3], establecen que los problemas causados no son sólo de índole física o estética, sino que trascienden al campo de la sanidad, ya que las comunidades humanas necesitan recurrir a diversos recursos de agua superficiales para su abastecimiento de agua de bebida, y si éstos están contaminados con los productos de desecho humanos o industriales, pueden dar lugar a problemas epidemiológicos graves.

En Venezuela, el decreto 883 para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos, de la Gaceta No. 5.021 del 18 de diciembre 1995 [4], establece la clasificación correspondiente a cada cuerpo de agua, y las normas específicas sobre vertidos en dichos cuerpos de agua. Sin embargo, en Maracaibo, de acuerdo a Corona [5], son descargados grandes volúmenes de materia orgánica altamente contaminante, provenientes de las aguas residuales domésticas, al Lago de Maracaibo.

Debido a esto se evaluó a la “fitorremediación” como una alternativa viable desde la perspectiva ecológica y económica para el tratamiento de aguas residuales. La fitorremediación es un tratamiento fácil de implementar y de mantener, emplea plantas acuáticas que son fáciles de ubicar en la región zuliana para aplicar el tratamiento no se necesitan añadir productos químicos que puedan impactar en las aguas que se desean tratar y que puedan generar contaminantes secundarios, de igual manera, no es necesario incurrir en grandes inversiones, pues puede ser implementado en el sitio de la problemática, y además no requiere de grandes consumos energéticos, pues requiere de energía solar. Así mismo, es una alternativa de tratamiento que puede aplicarse a diversos contaminantes, bien sea orgánicos e inorgánicos, metales pesados, entre otros; y resulta ser atractiva a la vista debido a que mejora el paisaje, por el uso de plantas.



- Determinación del pH

Para la determinación del pH se siguió el procedimiento SM 4500-H+B (Método electrométrico) descrito en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 1989) [6].

- Determinación del Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)

Se siguió el procedimiento SM 4500-NorgC (Semi-Micro Kjeldahl) descrito en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater [6].

- Determinación del Fósforo Total (PT)

Se realizó el método Colorimétrico con Ácido Vanadomolibdofosfórico, descrito en la Norma COVENIN 3051-93 (Aguas Naturales, Industriales y Residuales. Determinación de Fósforo, 1993) [7].

- Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se optó por emplear el método SM 5220-DQO D (Método colorimétrico de reflujo cerrado), descrito en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater [6].

### **Fase III. Detección de la remoción de las bacterias indicadoras de contaminación en el agua residual tratada con *Eicchornia crassipes***

Para el desarrollo de esta fase, se recogieron muestras de 60 ml y se llevaron a cabo los análisis microbiológicos de coliformes totales y fecales siguiendo el procedimiento descrito en la norma COVENIN 3047-93 (Agua Potable. Método de determinación del número más probable de bacterias coliformes, 1993) [8].

Los porcentajes de remoción para las bacterias indicadoras de contaminación fueron calculados a través de la ecuación 1.

$$Remoción(\%) = \frac{Concentración\ Inicial - Concentración\ Final}{Concentración\ Inicial} \cdot 100 \quad (1)$$

### **Fase IV. Estimación de la remoción de materia orgánica y nutrientes del agua residual tratada con *Eicchornia crassipes***

Para el desarrollo de esta fase, se tomaron en cuenta los resultados de los análisis llevados a cabo en la Fase II de la investigación, y los porcentajes de remoción fueron calculados a través de la ecuación 1, para cada parámetro estudiado.

### **Fase V. Comparación de los parámetros estudiados del efluente tratado con el Decreto 883, Gaceta No.5.021, 1995**

En el desarrollo de esta fase se realizó un análisis estadístico, se comprobaron los supuestos de normalidad de los datos obtenidos en los análisis realizados, así mismo, se realizó una prueba *t-student* para establecer las diferencias significativas entre el control y el tratamiento del agua residual con la planta *Eicchornia crassipes*. Los resultados que se obtuvieron en el tratamiento, fueron comparados con los valores de descarga para cuerpos de agua establecidos en el Decreto 883, Gaceta No.5.021, 1995 [4].

## **Resultados y Discusión**

### **Promoción del crecimiento de las plantas acuáticas *Eicchornia crassipes* durante la aclimatación en presencia de agua potable y fertilizante foliar**

Los resultados obtenidos durante esta fase se observaron a través de las Tablas 1, 2 y 3.

**Tabla 1. Datos de temperatura del agua y ambiental durante la fase de aclimatación**

Día	Temperatura ambiental (°C)	Temperatura del agua (°C)
Promedio de las Temperaturas	29,07±1,62 °C	24,83±1,60 °C

Durante esta fase, la temperatura ambiental obtuvo un promedio de 29,07±1,62 °C, y la temperatura del agua fue de 24,83±1,60 °C. De acuerdo con Jaramillo y Flores (2012), para que el desarrollo de la planta *E. crassipes* sea favorable necesita de las siguientes condiciones: iluminación intensa o semi-sombra, para un crecimiento óptimo la temperatura debe estar entre 25 °C y 30 °C, y se deben proteger de las temperaturas heladas. A pesar, de haber registrado temperaturas bajas entre 22 °C y 24 °C, las plantas tuvieron un desarrollo favorable, ya que la mayor parte del día se encontraban bajo de luz solar directa y esto permitía que la temperatura del agua aumentara a las temperaturas que resultan favorables para su desarrollo.

De igual manera, en la Tabla 2 se reflejó los datos obtenidos de masa fresca inicial y final de las plantas, para ello, se empleó una balanza electrónica, en la que, para determinar la masa fresca inicial, luego de lavadas y cortadas las raíces de las plantas, se colocaron en la balanza y se leyó la masa que registraba cada una. Para determinar la masa final de las plantas, transcurridos los 30 días de la fase de aclimatación, las plantas se secaron y se colocaron de nuevo en la balanza para medir su masa y registrarla.

**Tabla 2. Masa fresca inicial y final de las plantas**

No. de planta	Masa fresca inicial (g)	Masa fresca final (g)
Promedio de las masas	120,4±41,06	145,4±48,71

En la Tabla anterior, se apreció que la planta en condiciones de aclimatación aumentó su masa en 25g, aunque, Jaramillo y Flores [9] establecen que las plantas *E. crassipes* son capaces de duplicar su tamaño en diez días. Sin embargo, se debe indicar que a lo largo de los 30 días se debieron limpiar las plantas cada vez que se marchitaba alguna hoja o se descomponía algún tallo, lo que puede explicar la baja masa obtenida.

En la Tabla 3, se registró los valores obtenidos al medir las raíces de las plantas acuáticas *E. crassipes* y al hacer el conteo de hojas y flores cada tres días durante la fase de aclimatación con agua potable y fertilizante foliar. Para obtener los valores de longitud de las raíces se empleó una regla, y el conteo de hojas y flores se hizo por medio de observación directa.

**Tabla 3. Medición de raíces y recuento de número de hojas y flores de las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes***

Plantas	Longitud de raíces (cm)		Número de hojas		Número de flores	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
Promedio	±1	28,2±3,29	5±0,82	8,4±1,17	0	0,7±0,67

Según la Tabla 3, el día 30 de la fase de aclimatación de las plantas, las raíces tuvieron en promedio de 28,2 ± 3,29 cm, el número de hojas promedió 8,4±1,17 y el número de flores promedio fue de 0,7±0,67. Se ha reportado que las plantas *E. crassipes* poseen un potente sistema de raíces, en el que más del 50% de la biomasa de la planta pueden ser raíces, con apariencia de plumas de color violeta o azul oscuro, son fibrosas y cuentan con una longitud entre 10 y 30 cm [10]. Asimismo, el autor reporta en la planta bajo condiciones similares, la producción de 5 a 8 hojas, resultado coincidente con el promedio de hojas observadas en el presente trabajo.

Con respecto a la floración, Penfound y Earle [11], reportan que la baja frecuencia de floración de las plantas de mayor tamaño, en comparación con aquellas de menor tamaño, se debe a la poca intensidad de luz que incide sobre el rizoma de las plantas grandes, que no es lo suficientemente óptima para equilibrar hormonalmente a la planta y estimular el florecimiento. Este comportamiento puede explicar el bajo número de flores obtenidos en la planta, la cual se caracteriza por tener una gran masa que puede afectar la captación de luz.

Por tanto, las plantas tuvieron un desarrollo óptimo en presencia del agua potable y fertilizante foliar, y alcanzaron una masa y condiciones adecuadas para emplearse en las siguientes fases de la investigación.

En la Figura 2, se presentaron ejemplares de la planta acuática *E. crassipes* luego del período de aclimatación:



**Figura 2. Floración de los ejemplares de *E. crassipes* durante fase de aclimatación con agua potable y fertilizante foliar**

#### **Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de las muestras del agua residual urbana de la ciudad de Maracaibo**

Los resultados de las características fisicoquímicas que se le realizaron a las muestras de agua residual se plasman en la Tabla 4.

**Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de las muestras de agua residual al día 0 del tratamiento**

Muestra	No. de muestra	T agua (°C)	pH	NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	PT (mg.L <sup>-1</sup> )	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )
Control	1	27	7,71	44,8	5,24	171,42
Tratamiento	2	28	7,66	44,8	7,96	89,65
Valor de Referencia <sup>1</sup>		N/A	06-sep	40	10	350
Promedio		27,5±0,71	7,7±0,06	44,8±0	6,6±1,92	130,54±57,82

<sup>1</sup>Decreto No. 883, Gaceta No. 5.021, 1995

Se observó en la Tabla 4 que al inicio del ensayo presentaron valores de pH de neutro a básico y temperaturas Medias, favorables para el tratamiento de fitorremediación. Al respecto, Vera [12] reporta en un agua residual de la zona noroeste de la ciudad de Maracaibo, valores de DQO de 324,69±48,86 mg. L<sup>-1</sup> y de NTK (51,10 mg. L<sup>-1</sup>), más elevados que el agua residual de este trabajo, sin embargo, para PT (6,83 mg. L<sup>-1</sup>) y pH (7,44), los valores promedios obtenidos en este trabajo fueron mayores a los obtenidos por el autor. En las aguas residuales analizadas se consiguió que el pH se encontraba dentro de los límites establecidos en el Decreto 883, al igual que la DQO y el PT, de tal forma que el tratamiento se enfocó en la disminución del NTK dentro del límite permisible por la norma, debido a que este la parámetro la excedía.

#### **Detección de la remoción de bacterias indicadoras de contaminación en el agua residual tratada con *Eicchornia crassipes***

Los resultados de los análisis de coliformes totales y fecales al día 0 del tratamiento se presentaron en las Tablas 5 y al día 30 en la Tabla 6.

**Tabla 5. Coliformes fecales y totales de las muestras de agua residual al día 0 del tratamiento con *Eichhornia crassipes***

Muestra	No. de muestra	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Coliformes totales (NMP/100 mL)
Control	1	>16000	>16000
Tratamiento	2	9200	>16000
Valor de Referencia <sup>1</sup>	No mayor a 1000 por cada 100 mL en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 mL		

<sup>1</sup>Decreto No. 883, Gaceta No. 5.021, 1995

Se observó en la Tabla 5 que las muestras analizadas al inicio del experimento contienen un alto índice de coliformes fecales, lo cuales exceden la norma. En la primera muestra proveniente del grupo Control, se encontró >16000 NMP/100 mL, mientras que, la segunda muestra proveniente del grupo Tratamiento, resultó en 9200 NMP/100 mL de coliformes totales. Poveda [13] reporta valores de 11000 NMP/100 mL en los análisis realizados previo al tratamiento, similares a los obtenidos en el agua residual urbana. Por tanto, el tratamiento realizado debe remover este parámetro.

**Tabla 6. Coliformes fecales y totales de las muestras de agua residual al día 30 del tratamiento con *Eichhornia crassipes***

Muestra	No. de muestra	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Coliformes totales (NMP/100 mL)
Control	1	780	2300
Tratamiento	2	200	450
Valor de Referencia <sup>1</sup>	No mayor a 1000 por cada 100 mL en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 mL		

<sup>1</sup>Decreto No. 883, Gaceta No. 5.021, 1995

Como se apreció en la Tabla 6, la disminución de los coliformes totales y fecales en el agua residual tratada y no tratada a los 30 días de ensayo, fue significativa. Es probable que la disminución de los coliformes en la muestra 1 proveniente del grupo Control se deba a que las bacterias presentes en el agua estuvieron más expuestas a la luz solar, ayudando a su eliminación del sistema, además de su adhesión a las paredes del envase. Con respecto al tratamiento también se logró la disminución de bacterias coliformes por acción de las plantas. Los resultados del presente trabajo fueron superiores a los reportados por Poveda [13] cuyos valores fueron de 2000 NMP/100 mL para coliformes fecales al final del tratamiento de fitorremediación.

En la Tabla 7 se observaron los valores obtenidos de los porcentajes de remoción para los coliformes fecales y totales de las muestras de agua residual estudiada.

**Tabla 7. Remoción de coliformes fecales y totales de las muestras de agua residual del tratamiento con *Eichhornia crassipes***

Muestra	No. de muestra	Coliformes fecales (%)	Coliformes totales (%)
Control	1	95,13	85,63
Tratamiento	2	97,83	97,18
Valor de Referencia <sup>1</sup>	No mayor a 1000 por cada 100 mL en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 mL		

<sup>1</sup>Decreto No. 883, Gaceta No. 5.021, 1995

En la Tabla 7 se observaron resultados favorables de remoción de coliformes tanto en el Control como en el Tratamiento. Los valores de remoción de coliformes totales y fecales en el tratamiento con la planta acuática, fueron similares a los reportados por Mendoza *et al.*, [14] de 99,9% en aguas residuales de la ciudad de Riohacha, Colombia, y superiores a los valores reportados por Ayala *et al.*, [15] de 90,7% en un agua residual doméstica, y por Niño *et al.*, [16] de 71,19% en agua residual sin tratamiento previo, empleando en los casos citados la planta *Eicchornia crassipes*. Como se mencionó, esta planta posee un sistema de raíces que permite la adhesión de los microorganismos, favoreciendo su remoción del sistema [14, 15].

### Remoción de materia orgánica y nutrientes del agua residual tratada con *Eicchornia crassipes*

En la Tabla 8, se presentaron los valores de los análisis fisicoquímicos al día 30 del tratamiento, las muestras denominadas 1 y 2 se refieren a las provenientes del grupo Control y las muestras denominadas 3 y 4 provienen del grupo Tratamiento.

**Tabla 8. Propiedades fisicoquímicas de las muestras de agua residual al día 30 del tratamiento**

Muestra	No. de muestra	T agua (°C)	pH	NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	PT (mg.L <sup>-1</sup> )	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )
Control	1	29	6,3	8,12	8,5	129,59
	2	28	6,35	7,28	5,14	112,57
<b>Promedio</b>		<b>28,50±0,71</b>	<b>6,33±0,04</b>	<b>7,7±0,591</b>	<b>6,82±2,38</b>	<b>121,08±12,03</b>
Tratamiento	3	28	5,01	5,74	6,21	128,37
	4	26	4,88	5,04	4,75	91,9
<b>Promedio</b>		<b>27±1,41</b>	<b>4,95±0,09</b>	<b>5,39±0,49</b>	<b>5,48±1,03</b>	<b>110,14±25,79</b>
Valor de Referencia <sup>1</sup>		N/A	06-sep	40	10	350

<sup>1</sup>Decreto No. 883, Gaceta No. 5.021, 1995

En la Tabla 8 se reflejó que el pH del Control se mantuvo dentro del rango permitido por la norma venezolana, pero el pH promedio del grupo Tratamiento disminuyó con un valor de 4,95±0,09, resultando en un pH ácido; por lo que es posible que las bacterias hayan producido ácidos orgánicos que causen la caída del pH, lo cual puede afectar el tratamiento. La temperatura se mantuvo entre 27 y 28 °C, adecuada para el desarrollo de las plantas y para el crecimiento bacteriano [17].

El resto de los parámetros evaluados estuvieron por debajo de lo contemplado en el Decreto 883, aunque la DQO de la muestra 3 del grupo Tratamiento, experimentó un aumento que puede deberse a que algunas plantas presentaron tallos y hojas descompuestas que ocasionan un incremento de materia orgánica en el agua residual; no obstante, el valor de DQO estuvo por debajo del límite permisible por la norma. Del mismo modo, a pesar de que los valores de PT en el tratamiento fueron bajos desde el principio del experimento, se apreció una disminución en su valor final del mismo. Asimismo, se logró disminuir la concentración de NTK que se encontraba por encima de la norma hasta valores de 5,39±0,49 mgL<sup>-1</sup>. Se ha señalado que las raíces de la planta y la translocación de los nutrientes dentro de ella, mejoran la calidad del agua con respecto a la muestra inicial [16].

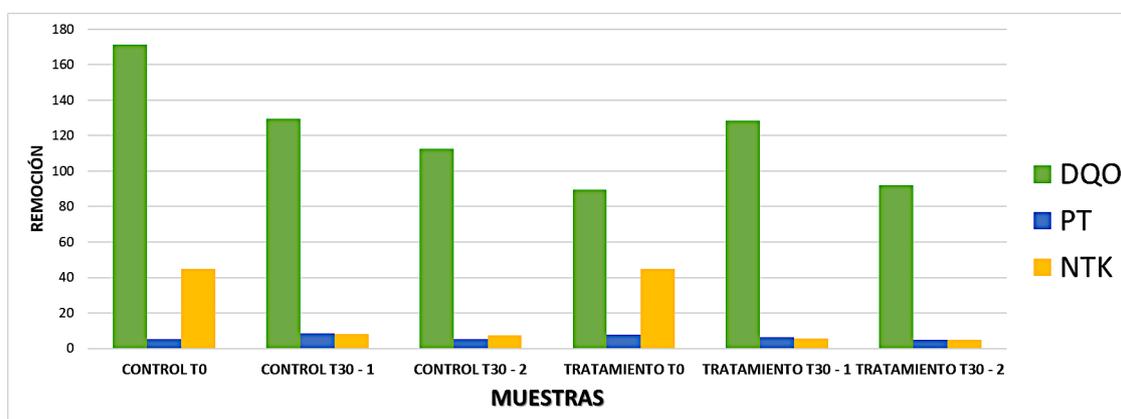
A continuación, en la Tabla 9 se reportó los porcentajes de remoción calculados para los parámetros NTK, PT y DQO.

**Tabla 9. Remoción de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua residual tratada con *Eichhornia crassipes***

Muestra	No. de muestra	NTK (%)	PT (%)	DQO (%)
Control	1	81,88	NR	24,4
	2	83,75	1,91	34,33
Tratamiento	3	87,19	21,98	NR
	4	88,75	40,33	NR

NR: No hubo remoción

De acuerdo, con la Tabla 9, y, la Figura 3, el grupo Tratamiento el NTK experimentó una remoción del 88,77% y el PT del 40,33% por acción de la planta *Eichhornia crassipes*. Para la DQO la remoción fue despreciable en el Tratamiento, pero en el Control esta fue del 24,40 al 34,33%.



**Figura 3. Porcentajes de remoción obtenidos para los parámetros fisicoquímicos DQO, PT y NTK en las muestras Control y Tratamiento**

El análisis estadístico reveló que no se encontraron diferencias significativas entre el Control y el Tratamiento en cuanto a la remoción de los parámetros fisicoquímicos evaluados a los 30 días del experimento ( $p < 0,05$ ). A pesar de ello, al observar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos se evidenció la disminución de la concentración de los mismos en las muestras, por lo que se hace necesario aumentar el número de datos tomando muestras en diferentes puntos del tratamiento en función del tiempo, lo cual permitirá tener una mayor posibilidad de encontrar diferencias en estos.

Comparativamente con otros estudios, Vera [12] empleando *Thypha domingensis* y *Canna generalis* para el tratamiento de agua residual, obtuvo disminución del pH por debajo del Decreto 883, tal como ocurrió en el presente trabajo. Asimismo, el autor obtuvo valores de remoción de DQO y PT tras el tratamiento con las plantas menores a los obtenidos en este trabajo *E. crassipes*. Los valores obtenidos en esta investigación, también fueron superiores a los reportados por Niño *et al.*, [16] con remociones del 10% de DQO en un agua residual sin tratamiento previo, pero fueron menores a las remociones registradas por Mendoza *et al.*, [14] de 99,99 % de nitrógeno, 93,1% de fósforo y 93,9% de materia orgánica, y a lo obtenido por Ayala *et al.*, [15] de 90,77% de remoción de DQO en aguas residuales tratadas con Jacinto de agua.

Rodríguez-Monroy y Duran de Bazúa [18], estudiaron la eliminación de Nitrógeno Total, Nitrógeno Total Kjeldahl y Nitrógeno amoniacal, mediante humedales artificiales con *Phragmites australis* y *Typha latifolia*, mencionando que en los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales los compuestos nitrogenados terminan, generalmente, como nitratos, por lo que se requiere de tratamientos terciarios para eliminarlo. Se puede decir que las diversas especies de plantas acuáticas, como *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, y *Eichornia crassipes* empleada en el presente trabajo de investigación, son eficientes en la depuración de nitrógeno en aguas residuales, por lo que la implementación de la fitorremediación como tratamiento terciario de aguas residuales, obtendría resultados favorables para el pulimento de aguas que ya han pasado por las fases de pre-tratamiento, tratamiento primario y secundario.

### Conclusiones

La planta acuática *Eichornia crassipens*, durante la fase de aclimatación logró adaptarse satisfactoriamente al agua potable con fertilizante y a las condiciones ambientales de temperatura e intensidad de luz, que permitieron obtener suficiente biomasa (aumento de raíces, hojas y flores) para iniciar los experimentos.

El tratamiento del agua residual urbana con *E. crassipes* logró remover eficientemente bacterias coliformes del medio en un 97%, así como también los nutrientes. El NTK se removió en un 88,75% y el PT en 40,33%, exhibiendo valores por debajo de lo establecido en la norma venezolana. La remoción de materia orgánica (DQO) no fue eficiente; sin embargo, los valores estuvieron dentro de lo aceptado por la norma venezolana. El pH disminuyó tras el tratamiento hasta un pH ácido, por lo que es necesario ajustarlo con solución alcalina para que alcance el valor establecido en la normativa entre 6-9.

Debido a la eficiencia de la planta acuática de remover nitrógeno y fósforo del agua residual urbana, este tratamiento se recomienda para pulimento, en el tratamiento terciario de aguas residuales de la ciudad de Maracaibo, estado Zulia.

### Referencias bibliográficas

- [1] Aula Abierta & CEPAZ. (2021). **Situación del servicio público de acceso al agua potable en Venezuela. Violaciones a los derechos al agua y a la salud.** Recuperado de: <http://aulaabiirtavenezuela.org/wp-content/uploads/2021/03/INFORME-PRELIMINAR-ACCESO-AL-AGUA.pdf>
- [2] Tonatiuh, Z. (2019). **Tratamiento de Aguas Residuales.** Recuperado de: [https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU\\_19-028.pdf](https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_19-028.pdf)
- [3] García, M & Pérez, J. (1985). Aguas residuales. Composición. Recuperado de: [https://www.academia.edu/34231924/AGUAS\\_RESIDUALES\\_COMPOSICI%C3%93N](https://www.academia.edu/34231924/AGUAS_RESIDUALES_COMPOSICI%C3%93N)
- [4] Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 5021, **Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos**, 1995, Caracas, Venezuela. Decreto No. 883, 11-10-1995.
- [5] Corona, J. (2011). **Estado de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela.** Multiciencias, 11, (4) 345-352. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/904/90421972003.pdf>
- [6] APHA, AWWA, WEF (1989). **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater** (23d Ed.). Washington, DC, Estados Unidos.
- [7] COVENIN, Norma 3051-93 **Aguas Naturales, Industriales y Residuales. Determinación de Fósforo**, 1993, Caracas, Venezuela.
- [8] COVENIN, Norma 3047-93 **Agua Potable. Método de determinación del número más probable de bacterias coliformes**, 1993, Caracas, Venezuela.

[9] Jaramillo, M. y Flores, D. (2012). **Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemma minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales de la actividad minera**. Recuperado de: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>

[10] Verdejo, E., Palmerín, J.A., Aibar, J., Cirujeda, A., Taberner, A. y Zaragoza, C. (2006). **Plantas Invasoras. El lirio de Agua *Eichornia crassipes* (Martius) Solms & Laubanch. Ca.** Recuperado de: <https://docplayer.es/32537072-Plantas-invasoras-el-lirio-de-agua-eichornia-crassipes-martius-solms-laubanch-ca.html>

[11] Penfound, WT y Earle, T.T (1948), 10-1948. **The Biology of the Water Hyacinth**. Ecological Monographs, Vol. 18, Num. 4, 25.

[12] Vera, A. (2018). **Fitorremediación de aguas residuales de la zona noroeste de la ciudad de Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela**. (Trabajo presentado para ascender a la categoría de Profesor Asociado, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

[13] Poveda, R. (2014). **Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola, previamente caracterizadas en el cantón Ambato, Provincia de Tungurahua**. (Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Bioquímico), Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

[14] Mendoza Guerra, Y. II; Castro E. F; Marín L. J., Behling E. (2016). **Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia)**. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia [online]. 39 (2): 071-079. Recuperado de: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702016000200004&lng=es&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200004&lng=es&nrm=iso). ISSN 0254-0770.

[15] Ayala Tocto, R. Y., Calderón Ordoñez, E., Rascón, J., & Collazos Silva, R. (2018). **Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale***. Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable, 2(3): 48–53. <https://doi.org/10.25127/aps.20183.403>

[16] Niño A. I., Aponte, B. M., Rodríguez, C. L; Perico-Granados, N. (2018). **Fitorremediación en aguas residuales sin tratamiento previo**. Caso: Tierra Negra Boyacá. Revista de Tecnología. 17(1): 37-48.

[17] Armas, J. E. (2022). **Cinética de remoción de bacterias en lagunas de estabilización**. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 23(1): 10+. Gale OneFile: Informe Académico, Recuperado de: [link.gale.com/apps/doc/A146892985/IFME?u=anon~d56299d4&sid=googleScholar&xid=19a1df88](http://link.gale.com/apps/doc/A146892985/IFME?u=anon~d56299d4&sid=googleScholar&xid=19a1df88).

[18] Rodríguez-Monroy, J. y Durán de Bazúa, C. (2006). **Remoción de nitrógeno en un sistema de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco**. Tecnología, Ciencia y Educación, 21: 1- 9.

### Nota especial

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado: Remoción de materia orgánica y nutrientes de un agua residual mediante fitorremediación con *Eichhornia crassipes*, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.