

Uso potencial de la especie vegetal *Eichhornia crassipes* del humedal artificial de la planta piloto Arturo Pazos

Potential use of the plant species Eichhornia Crassipes in the constructed wetland of the Arturo Pazos pilot plant

Yilda Aranza López Pérez¹ 

¹Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: yildalopez.p@gmail.com

Recibido: 27/09/2022 **Revisión:** 17/05/2023 **Aceptado:** 27/06/2023

Resumen

La *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) ha mostrado ser una especie vegetal prometedora en el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, su uso potencial en la región centroamericana sigue sin explorarse. Para abordar esta brecha de conocimiento, se construyó un sistema de humedales utilizando *Eichhornia crassipes* en la planta piloto Arturo Pazos de la ERIS/USAC. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial de generación de biogás en función del porcentaje de sólidos volátiles y examinar el comportamiento de varios parámetros de calidad de las aguas residuales. Se realizaron análisis fisicoquímicos del afluente y efluente del humedal artificial para evaluar las concentraciones de nutrientes, materia orgánica e inorgánica y sólidos. Además, se determinó el peso seco y el contenido de cenizas de muestras de *Eichhornia crassipes*. Los hallazgos indican que la *Eichhornia crassipes* cultivada en el humedal artificial tienen la capacidad de generar biogás. Sin embargo, se encontró que el porcentaje de sólidos volátiles era bajo. Por lo tanto, la viabilidad de utilizar *Eichhornia crassipes* para la producción de biogás debe evaluarse más a fondo en un entorno de co-digestión. Además, el estudio demostró el potencial significativo de la *Eichhornia crassipes* en la eliminación de DBO, DQO, turbidez y SST de las aguas residuales. En particular, se lograron reducciones superiores al 90% para estos parámetros. Estos hallazgos demuestran la notable eficacia de la *Eichhornia crassipes* para el tratamiento del agua residual con un enfoque ambientalmente sostenible.

Palabras claves: biomasa, aguas residuales, jacinto de agua, sólidos volátiles, biogás, nutrientes, humedales artificiales.

Abstract

Eichhornia crassipes (common water hyacinth) has shown promise in wastewater treatment in limited experimental settings. However, its potential use in the Central American region remains unexplored. To address this knowledge gap, a wetland system was constructed using *Eichhornia crassipes* at the Arturo Pazos pilot plant by the ERIS/USAC. This study aimed to evaluate the biogas generation potential based on the percentage of volatile solids and examine the behavior of various wastewater quality parameters. Physicochemical analyses were conducted on the influent and effluent of the constructed wetland to assess the concentrations of nutrients, organic and inorganic matter, and solids. Additionally, the dry weight and ash content of *Eichhornia crassipes* samples were determined. The findings indicate that the *Eichhornia crassipes* cultivated in the wetland have the ability to generate biogas. However, the observed percentage of volatile solids was found to be low. Therefore, the feasibility of utilizing *Eichhornia crassipes* for biogas production should be further evaluated in a co-digestion setting. Moreover, the study demonstrated the significant potential of *Eichhornia crassipes* in the removal of BOD, COD, turbidity, and TSS from wastewater. Notably, reductions exceeding 90% were achieved for these parameters. These findings underscore the remarkable efficacy of *Eichhornia crassipes* as an environmentally sustainable approach for wastewater treatment.

Key words: biomass, wastewater, water hyacinth, volatile solids, biogas, nutrients, constructed wetland.



Introducción

La mayoría de las veces las aguas residuales se descargan hacia algún río o quebrada sin previo tratamiento, luego esta agua tiene usos diversos que incluyen uso público, urbano, agrícola, industrial, pecuario, entre otras.

Los humedales construidos replican los procesos de absorción y degradación de los humedales naturales, también llamados los riñones de la naturaleza. Los sistemas de humedales artificiales de flujo superficial son aquellos donde el agua circula a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmósfera.

En este tipo de sistemas se generan residuos de las especies vegetales utilizadas, cuya disposición de no realizarse correctamente genera distintos problemas ambientales y de salud tales como: contaminación del aire y agua, malos olores, atracción de vectores, entre otros.

La aplicación de estos sistemas para el tratamiento de aguas residuales ha ido aumentando de manera que se pueden emplear diferentes tipos de especies vegetales, de las cuales se producen desechos que pueden ser aprovechados de diferentes maneras.

Los desechos provenientes de la *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) que han madurado y han sido retirados del humedal construido para el tratamiento de aguas residuales en la planta piloto Arturo Pazos de la colonia Aurora II zona 13 de la Ciudad de Guatemala, pueden aprovecharse por medio de procesos anaeróbicos para producir biogás.

Para lograr determinar el rendimiento o eficiencia de producción de biogás de una especie vegetal, se puede determinar el porcentaje de sólidos volátiles que posee la especie vegetal por medio de análisis de laboratorio.

Antecedentes

Varios estudios y trabajos de investigación se han realizado en cuanto a la eficiencia de los humedales construidos y el aprovechamiento de los desechos de las especies vegetales, así como de la capacidad en porcentaje de producción de biogás relacionado al porcentaje de sólidos volátiles contenidos en la especie vegetal.

A través del tiempo se ha demostrado que los sistemas de humedales artificiales son una tecnología efectiva y segura para el tratamiento del agua residual, estos son eficaces en la eliminación de contaminantes como sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, hidrocarburos y metales, según lo indicado por Miranda Ríos (2000) y Romero Aguilar et al. (2009).

Los sistemas de humedales artificiales de flujo horizontal son recomendables para el tratamiento de agua residual según Delgado et al. (2010). Los sistemas de humedales artificiales de flujo horizontal que emplean jacintos de agua brindan una gran ventaja debido al excelente rendimiento con poco desarrollo de olores y mosquitos, asimismo, estos jacintos de agua se pueden compostar de forma sencilla (Metcalf & Eddy, Inc. 1995).

La tecnología de biogás es una tecnología versátil que se puede generar con diversos recursos que contienen biomasa, pudiendo ser su aplicación en mono digestión o co-digestión y a diferentes escalas, desde viviendas unifamiliares y granjas hasta a escala industrial (Turcios et al., 2011).

Según Orhorhoro et al. (2017), las concentraciones de sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV) de los sustratos proporcionan información útil sobre el rendimiento del biogás, así como la eficiencia del proceso, por esta razón en el presente estudio se utilizaron dichos parámetros para determinar el rendimiento y eficiencia del biogás que se podría generar con la *Eichhornia crassipes*.

Kumar et al. (2018) en su estudio sobre la cinética de producción de biogás por co-digestión de la *Eichhornia crassipes* encontró a través de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) “la presencia de compuestos orgánicos responsables de la producción de biogás”, con lo cual se establece el uso que puede otorgarse a la *Eichhornia crassipes* para producción de biogás.

Recientemente Amalina et al. (2022) indicó que el potencial de hidrógeno (pH) del agua donde se desarrolla la *Eichhornia crassipes* juega un papel crucial en la adsorción de contaminantes, dado que el pH altera la estructura química del adsorbato y del adsorbente.

En Guatemala se han evaluado una gran cantidad de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales (Dobias & Leshem, 2008), sin embargo, se desconoce el potencial de la *Eichhornia crassipes* desarrollada en la planta piloto Arturo Pazos de la ERIS para generar biogás y como mejorador de la calidad del agua residual que ingresa al humedal artificial que la contiene.

Materiales y método

El enfoque metodológico de este trabajo de investigación fue de tipo cuantitativo para lo cual se midieron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el agua residual, y se realizó análisis de la especie vegetal para poder determinar el potencial de producción de biogás de la *Eichhornia crassipes*.

El alcance del estudio fue de tipo descriptivo, dado que lo que pretende es describir las características de la *Eichhornia crassipes* que se genera en el humedal artificial de la planta piloto de aguas residuales de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Universidad de San Carlos de Guatemala (ERIS/USAC).

En el estudio se utilizaron muestras de la *Eichhornia crassipes* del humedal, midiendo de estas muestras los parámetros siguientes:

- Humedad
- Cenizas
- Peso Seco
- Peso Total

Durante el desarrollo del estudio también se realizó un muestreo aleatorio del agua residual del humedal artificial, determinando de cada muestra los parámetros siguientes:

- Fósforo total:
Hach 10127; (1,0-100 mg/L).
- DBO5:
Hach 10099 respirométrico; (0-700mg/L).
- DQO:
Hach 8000; (20-1500 mg/L).
- Turbiedad:
Hach 2100AN; (NTU)
- Sólidos suspendidos totales:
Método gravimétrico SMWW 2540 d.

Para recolectar y transportar las muestras de aguas residuales, se utilizaron los procedimientos establecidos por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017), método 1060 collection and preservation of samples.

Muestreo

El humedal seleccionado para este estudio se localiza en la colonia Aurora II, Zona 13, Guatemala (ver figura 1) a 1,457 metros sobre el nivel del mar, dispone de un espacio total de 92.6 metros cuadrados. El caudal de agua residual proviene de las viviendas de dicha colonia. Este humedal atiende un aproximado de 110 habitantes de la colonia Aurora II, tiene un caudal actual de 0.20 litros por segundo regulado por una llave de paso.

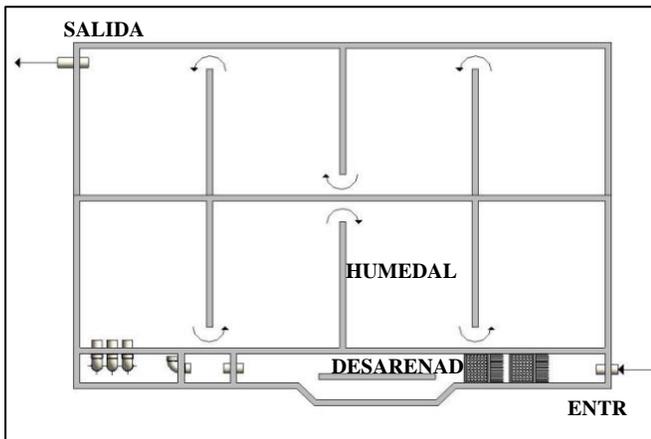
La tecnología utilizada en dicho humedal posee un pretratamiento y el humedal construido es de flujo superficial construido en concreto armado. El humedal contiene *Eichhornia crassipes* en una superficie de 4.60 x 2.60 metros como se detalla en el esquema de la figura 2.

Para lograr los objetivos del estudio se analizó la especie vegetal *Eichhornia crassipes* y el agua residual del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Planta Piloto Arturo Pazos, considerando que esta especie vegetal se utiliza como tratamiento de agua residual, por lo que se medirá la eficiencia que esta puede tener con este tipo de uso.

Figura 1: Imagen de Google Earth que muestra la ubicación de humedal objeto del estudio.



Figura 2: Esquema de humedal objeto del estudio.

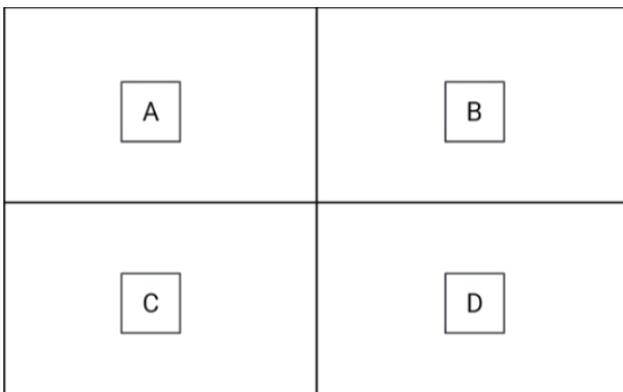


Especie vegetal

Para el análisis de la especie vegetal se extrajeron muestras representativas de la *Eichhornia crassipes* del humedal artificial de la planta piloto Arturo Pazos para lo cual se utilizó la técnica de cuarteo, dividiendo en cuatro cuadrantes el área superficial del humedal como se observa en la figura 3.

A cada uno de estos cuadrantes se les denominó cuadrante A, B, C y D. De cada cuadrante se extrajo equitativamente dos libras de material fresco el cual se pesó para luego transportar estas muestras debidamente conservadas al laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala para su análisis.

Figura 3: Distribución de cuadrantes en el humedal para la extracción de muestras de *Eichhornia crassipes*



Los parámetros específicos que se analizaron para determinar los sólidos volátiles de las muestras de *Eichhornia crassipes* fueron los siguientes:

- a. Humedad
- b. Cenizas
- c. Peso Seco

Con los resultados del análisis de laboratorio de la *Eichhornia crassipes* se utilizó la ecuación 1 para determinar el porcentaje de sólidos volátiles.

$$\%SV = \frac{W_3 - W_4}{W_1 - W_2} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

- %SV = Porcentaje de sólidos volátiles.
- W₁ = Peso del crisol seco + residuo seco, g.
- W₂ = Peso del crisol seco, g.
- W₃ = Peso del crisol + peso del residuo después de la incineración, g.
- W₄ = Peso del crisol de incineración, g.

El porcentaje de sólidos volátiles se utilizó para determinar el potencial de la *Eichhornia crassipes* para la producción de biogás.

Aguas residuales

Con el objetivo de establecer la eficiencia que puede generar la *Eichhornia crassipes* en la remoción de las concentraciones de nitrógeno total, fósforo total, DBO5, DQO, turbiedad y sólidos suspendidos totales se realizó un muestreo de agua residual al ingreso y salida del humedal.

Adicionalmente se realizó la medición del potencial de hidrógeno para determinar el comportamiento de este parámetro entre el ingreso y salida de la unidad.

Para determinar el número de réplicas de muestras de agua residual del efluente y afluente del humedal construido de la planta Piloto Arturo Pazos, se seleccionó el método estadístico Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2002), según los parámetros a evaluar, utilizando ecuación 2.

$$N \geq \left(\frac{t*s}{U}\right)^2 \quad (2)$$

Donde:

N = Número sugerido de muestras.

t = Nivel de confianza, prueba t de student para un nivel de confianza dado.

S = Desviación estándar global.

U = Nivel de incerteza, nivel aceptable de incertidumbre.

La desviación estándar S , utilizada fue de 0.020, el nivel de confianza de 0.03 y una relación s/U de 0.67. Con estos parámetros se obtiene un número de réplicas entre 6 y 7 para tener una certeza adecuada del parámetro de calidad de agua a reportar.

El número mínimo de réplicas utilizadas en el estudio fue de 7.

Las muestras de agua se tomaron del efluente y el afluente del humedal, utilizando muestras compuestas. Para integrar cada muestra compuesta se tomó una muestra simple cada cuatro horas, haciendo un total de cuatro muestras simples para integrar una muestra compuesta. Este criterio fue tomado considerando el reglamento para descargas de agua residual de Guatemala (Acuerdo Gubernativo 236-2006).

Cada una de las muestras compuestas fueron captadas durante el mes de abril y mayo del año 2021, seleccionando los días de muestreo de forma aleatoria durante estos dos meses, resultando cuatro muestras para el mes de abril y tres muestras para el mes de mayo.

Cada una de las muestras compuestas se transportaron debidamente conservadas al laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en donde se analizaron los siguientes parámetros con las respectivas metodologías de laboratorio.

- a. Fósforo total:
Hach 10127; (1,0-100 mg/L).
- b. DBO5:
Hach 10099 respirométrico; (0-700mg/L).
- c. DQO:
Hach 8000; (20-1500 mg/L).

- d. Turbiedad:
Hach 2100AN; (NTU)
- e. Sólidos suspendidos totales:
Método gravimétrico SMWW 2540 d.

Adicionalmente al análisis realizado en laboratorio, en cada muestreo se determinó en el sitio los siguientes parámetros utilizando un equipo multiparamétrico (HANNA HI 9813-6):

- a. Ph
- b. Temperatura

Resultados

Características de la especie vegetal

En la tabla 1 se muestran los resultados del análisis realizado a la muestra de *Eichhornia crassipes* en seco, siendo el peso inicial de la muestra (P.I), el peso final de la muestra (P.F) y el porcentaje de variación la diferencia entre el P.F y el P.I de la muestra de *Eichhornia crassipes*.

Tabla 1: Resultados del análisis realizado a la materia seca total.

Tara (g)	P. I. Muestra (g)	P. F. Muestra y tara (g)	%	Materia Seca	Humedad
0.8324	3.0618	3.6825	93.0858		
0.8336	3.0630	3.6842	93.0656	8.34%	91.66%

En la tabla 2 se muestran los resultados del análisis realizado a las cenizas, donde P.I es el peso inicial de la muestra sin tara, P.F el peso final de la muestra con tara y el porcentaje representa la variación entre el P.F y el P.I. de la muestra de la *Eichhornia crassipes*.

Tabla 2: Resultados del análisis realizado a las cenizas de la *Eichhornia crassipes*.

Tara (g)	P.I. Muestra (g)	P.F. Muestra y tara (g)	%	Resultados con base seca %
22.5090	3.2876	22.9134	12.30	
22.5111	3.2900	22.9160	12.31	13.22

El porcentaje de sólidos volátiles obtenido de este análisis fue de 91,1% (2,88 kg).

Características del agua residual evaluada

En la tabla 3 se muestra el resultado obtenido del análisis de pH del muestreo realizado.

Tabla 3: Resultados obtenidos del análisis de pH del agua residual en la entrada y salida del humedal artificial.

No. De Muestra	Punto de muestreo	Fecha de toma	pH
Muestra 1	Entrada	13/04/2021	7.90
	Salida		7.65
Muestra 2	Entrada	20/04/2021	8.00
	Salida		7.90
Muestra 3	Entrada	22/04/2021	7.97
	Salida		7.87
Muestra 4	Entrada	27/04/2021	8.25
	Salida		7.93
Muestra 5	Entrada	4/05/2021	8.00
	Salida		7.90
Muestra 6	Entrada	12/05/2021	7.87
	Salida		7.87
Muestra 7	Entrada	12/05/2021	7.77
	Salida		7.77

En la tabla 4 se presenta el resultado obtenido del análisis de temperatura del muestreo realizado a la entrada y salida de la unidad.

Tabla 4. Resultados obtenidos de la temperatura del agua residual a la entrada y salida del humedal artificial.

No. De Muestra	Punto de muestreo	Fecha de toma	T (°C)
Muestra 1	Entrada	13/04/2021	24.55
	Salida		22.37
Muestra 2	Entrada	20/04/2021	25.35
	Salida		23.65
Muestra 3	Entrada	22/04/2021	21.70
	Salida		24.40
Muestra 4	Entrada	27/04/2021	25.13
	Salida		22.98
Muestra 5	Entrada	4/05/2021	22.30
	Salida		21.20
Muestra 6	Entrada	12/05/2021	22.67
	Salida		22.40
Muestra 7	Entrada	12/05/2021	23.23
	Salida		22.97

En la tabla 5 se detalla el resultado del análisis realizado a las muestras de agua residual de entrada y salida para la concentración de nitrógeno total.

Tabla 5: Resultados obtenidos del análisis de nitrógeno total del agua residual en la entrada y salida del humedal artificial.

No. De Muestra	Punto de muestreo	Fecha de toma	Nitrógeno Total(mg/l)
Muestra 1	Entrada	13/04/2021	27.00
	Salida		26.00
Muestra 2	Entrada	20/04/2021	26.00
	Salida		24.00
Muestra 3	Entrada	22/04/2021	15.00
	Salida		7.00
Muestra 4	Entrada	27/04/2021	43.00
	Salida		42.00
Muestra 5	Entrada	4/05/2021	32.00
	Salida		29.00
Muestra 6	Entrada	12/05/2021	9.30
	Salida		5.60
Muestra 7	Entrada	12/05/2021	28.00
	Salida		26.00

La tabla 6 muestra los resultados obtenidos del análisis de concentración de fósforo total de la muestra de aguas residuales tomada en la entrada y salida de la unidad.

Tabla 6: Resultados obtenidos del análisis de fósforo total del agua residual obtenidos en la entrada y salida del humedal artificial.

No. De Muestra	Punto de muestreo	Fecha de toma	Fósforo Total (mg/l)
Muestra 1	Entrada	13/04/2021	9.20
	Salida		9.30
Muestra 2	Entrada	20/04/2021	13.00
	Salida		10.30
Muestra 3	Entrada	22/04/2021	17.00
	Salida		12.40
Muestra 4	Entrada	27/04/2021	12.60
	Salida		12.00
Muestra 5	Entrada	4/05/2021	15.00
	Salida		13.00
Muestra 6	Entrada	12/05/2021	11.50
	Salida		10.50
Muestra 7	Entrada	12/05/2021	8.60
	Salida		5.10

La tabla 7 muestra los resultados de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de la muestra de agua residual de entrada y salida del humedal artificial.

Tabla 7: Resultados de la concentración de DBO5 del agua residual en la entrada y salida del humedal artificial.

No. De Muestra	Punto de muestreo	Fecha de toma	DBO (mg/l)
Muestra 1	Entrada	13/04/2021	209.55
	Salida		27.00
Muestra 2	Entrada	20/04/2021	197.50
	Salida		7.85
Muestra 3	Entrada	22/04/2021	429.00
	Salida		20.43
Muestra 4	Entrada	27/04/2021	299.00
	Salida		20.60
Muestra 5	Entrada	4/05/2021	291.50
	Salida		57.00
Muestra 6	Entrada	12/05/2021	202.00
	Salida		18.80
Muestra 7	Entrada	12/05/2021	290.00
	Salida		6.85

Los resultados de la concentración de demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual de entrada y salida del humedal artificial se muestran en la tabla 8.

Tabla 8: Resultados de la concentración de DQO del agua residual en la entrada y salida del humedal artificial.

No. De Muestra	Punto de muestreo	Fecha de toma	DQO (mg/l)
Muestra 1	Entrada	13/04/2021	263.00
	Salida		91.00
Muestra 2	Entrada	20/04/2021	359.00
	Salida		37.00
Muestra 3	Entrada	22/04/2021	646.00
	Salida		58.00
Muestra 4	Entrada	27/04/2021	484.00
	Salida		68.00
Muestra 5	Entrada	4/05/2021	397.00
	Salida		64.00
Muestra 6	Entrada	12/05/2021	321.00
	Salida		67.00
Muestra 7	Entrada	12/05/2021	392.00
	Salida		35.00

En la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos para el análisis de la concentración de turbiedad del agua residual de entrada y salida del humedal artificial.

Tabla 9: Resultados obtenidos del análisis de turbiedad del agua residual en la entrada y salida del humedal artificial.

No. De Muestra	Punto de muestreo	Fecha de toma	Turbiedad (NTU)
Muestra 1	Entrada	13/04/2021	112.00
	Salida		6.81
Muestra 2	Entrada	20/04/2021	120.00
	Salida		5.57
Muestra 3	Entrada	22/04/2021	141.00
	Salida		6.50
Muestra 4	Entrada	27/04/2021	131.00
	Salida		6.90
Muestra 5	Entrada	4/05/2021	99.80
	Salida		5.70
Muestra 6	Entrada	12/05/2021	139.00
	Salida		7.44
Muestra 7	Entrada	12/05/2021	109.00
	Salida		6.38

En la tabla 10 se observa el resultado de la concentración de sólidos suspendidos totales de las muestras de agua residual de entrada y salida del humedal artificial.

Tabla 10: Resultados obtenidos del análisis de sólidos suspendidos totales del agua residual de entrada y salida del humedal artificial.

No. De Muestra	Punto de muestreo	Fecha de toma	SST (mg/l)
Muestra 1	Entrada	13/04/2021	440.00
	Salida		5.00
Muestra 2	Entrada	20/04/2021	256.00
	Salida		3.20
Muestra 3	Entrada	22/04/2021	304.00
	Salida		6.00
Muestra 4	Entrada	27/04/2021	136.00
	Salida		1.00
Muestra 5	Entrada	4/05/2021	144.00
	Salida		4.00
Muestra 6	Entrada	12/05/2021	164.00
	Salida		5.60
Muestra 7	Entrada	12/05/2021	104.00
	Salida		6.20

En la tabla 11 se presenta el resultado del análisis de normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilk, el cual fue realizado a los datos obtenidos del muestreo del agua residual de entrada y salida del humedal artificial. El resultado de esta prueba muestra una significancia superior a 0.05 por lo que todos los datos provienen de una muestra con distribución normal.

Tabla 11: Análisis de normalidad realizado a los datos obtenidos del muestreo del agua residual de entrada y salida del humedal artificial.

Parámetro Evaluado	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grado de libertad	Significancia
pH entrada	0.921	7	0.478
pH salida	0.819	7	0.063
Temperatura entrada	0.916	7	0.440
Temperatura salida	0.974	7	0.926
Nitrógeno Total entrada	0.958	7	0.799
Nitrógeno Total salida	0.901	7	0.337
Fósforo Total entrada	0.964	7	0.855
Fósforo Total salida	0.873	7	0.198
DBO5 entrada	0.849	7	0.120
DBO5 salida	0.823	7	0.068
DQO entrada	0.918	7	0.453
DQO salida	0.923	7	0.495
Turbiedad entrada	0.937	7	0.613
Turbiedad salida	0.952	7	0.750
SST entrada	0.885	7	0.247
SST salida	0.897	7	0.313

En la tabla 12 se presenta el resultado del análisis estadístico realizado para determinar la media de cada uno de los parámetros de calidad de agua evaluados en el agua residual de ingreso y salida del humedal artificial. Cada uno de los valores de media tiene su correspondiente error y desviación estándar.

En la tabla 13 se muestra el resultado del análisis estadístico prueba T para dos muestras relacionadas. En esta misma tabla se muestra el valor de T y la significancia obtenida para cada comparación de medias, habiéndose comparado las concentraciones de entrada con las correspondientes de salida del agua residual del humedal artificial.

Tabla 12: Estadísticos de los datos obtenidos del análisis de calidad de agua residual de entrada y salida del humedal artificial.

Parámetro analizado	Estadístico	
pH entrada	Media	7.966
	Desviación estándar	0.150
	Error estándar	0.057
pH salida	Media	7.841
	Desviación estándar	0.098
	Error estándar	0.037
Temperatura entrada	Media	23.561
	Desviación estándar	1.449
	Error estándar	0.548
Temperatura salida	Media	22.854
	Desviación estándar	1.019
	Error estándar	0.385
Nitrógeno Total entrada	Media	25.757
	Desviación estándar	11.026
	Error estándar	4.168
Nitrógeno Total salida	Media	22.800
	Desviación estándar	12.744
	Error estándar	4.817
Fósforo Total entrada	Media	12.414
	Desviación estándar	2.995
	Error estándar	1.132
Fósforo Total salida	Media	10.371
	Desviación estándar	2.666
	Error estándar	1.008
DBO5 entrada	Media	274.079
	Desviación estándar	82.059
	Error estándar	31.015
DBO5 salida	Media	22.647
	Desviación estándar	16.790
	Error estándar	6.346
DQO entrada	Media	408.857
	Desviación estándar	125.025
	Error estándar	47.255
DQO salida	Media	60.000
	Desviación estándar	19.356
	Error estándar	7.316
Turbiedad entrada	Media	121.686
	Desviación estándar	15.791
	Error estándar	5.968
Turbiedad salida	Media	6.471
	Desviación estándar	0.665
	Error estándar	0.251
SST entrada	Media	221.143
	Desviación estándar	119.838
	Error estándar	45.295
SST salida	Media	4.429
	Desviación estándar	1.860
	Error estándar	0.703

Tabla 13: Resultado del análisis estadístico de comparación de medias de los parámetros de calidad de agua residual del humedal artificial evaluado.

Medias utilizadas para el análisis	t	gl	Sig. (bilateral)
pH entrada - pH salida	2.734	6	0.0339
Temperatura entrada - Temperatura salida	1.099	6	0.3140
Nitrógeno Total entrada - Nitrógeno Total salida	3.218	6	0.0182
Fósforo Total entrada - Fósforo Total salida	3.225	6	0.0180
Turbiedad entrada - Turbiedad salida	19.790	6	0.0000
DBO5 entrada - DBO5 salida	8.154	6	0.0002
DQO entrada - DQO salida	7.044	6	0.0004
SST entrada - SST salida	4.799	6	0.0030

La tabla 14 detalla las reducciones obtenidas entre los valores de las concentraciones de entrada y de salida del humedal artificial.

Tabla 14: Reducciones obtenidas de los distintos parámetros analizados en el agua residual del humedal artificial.

Parametro	% Reducción
pH	1.56%
Temperatura	3.00%
Nitrógeno Total	11.48%
Fósforo Total	16.46%
Turbiedad	94.68%
DBO5	91.74%
DQO	85.32%
SST	98.00%

Discusión de resultados

Eichhornia crassipes para producción de biogás

Para la eficiente producción de biogás por medio de la especie vegetal *Eichhornia crassipes* se requiere considerar la composición de la propia especie vegetal (Celulosa, hemicelulosa, lignina, proteína, lípidos, ceniza, valor calorífico, etc.) y otros factores del proceso de digestión anaerobia. Según Orhorho et al. (2017) se puede observar que un incremento de los sólidos volátiles tiene un efecto sobre la producción de biogás, en la medida que los sólidos volátiles aumentan, también aumenta la producción de biogás.

En esta investigación se analizó el posible aprovechamiento de la biomasa de la *Eichhornia*

crassipes cultivada en el humedal construido para tratamiento de aguas residuales de origen doméstico de la planta piloto de ERIS/USAC, obteniendo como resultado del modelo experimental un 12.30% de sólidos volátiles de la materia seca. La concentración de sólidos volátiles se puede utilizar para evaluar la eficiencia del sistema anaeróbico, pero no sólo puede estimar el potencial de producción de biogás de un sustrato en base a su contenido de sólidos volátiles, también se puede lograr a través de este parámetro el grado de degradación del sustrato.

El valor de sólidos volátiles obtenido en este estudio se encuentra por debajo de los valores obtenidos en otros estudios como el realizado por Zambrano Vera (2021), quien logró una producción de biogás de 59-60% con una concentración de sólidos volátiles de 85% en un biodigestor anaerobio, o el trabajo realizado Rashama et al. (2023) quien obtuvo un porcentaje de sólidos volátiles de 88% en un estudio de biodigestión a nivel de laboratorio, e incluso menor al estudio realizado por Kumar et al. (2018), quien obtuvo en su estudio un valor de 16.53% en un proceso de co-digestión.

Considerando que en el análisis de la especie vegetal no se realizó ningún tratamiento previo para mejorar la producción de sólidos volátiles como retirar la lignocelulosa de la especie vegetal, esta presentó un bajo porcentaje de sólidos volátiles, por lo que se recomienda para futuras investigaciones se realice un tratamiento previo de la especie vegetal para conocer e identificar la capacidad máxima que tiene de generar sólidos volátiles.

Eichhornia crassipes para tratamiento de agua residual

De los resultados del análisis físico-químico de las muestras de aguas residuales realizado en el laboratorio, se obtuvo que sí existe una diferencia significativa entre la concentración de entrada y salida para los parámetros de potencial de hidrógeno, nitrógeno total, fósforo total, turbiedad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST), dado que la prueba T para comparación de medias de muestras emparejadas obtuvo una significancia menor a 0.05.

En el caso del análisis de medias para la temperatura no se obtuvo una diferencia significativa (significancia mayor a 0.05) entre el valor de entrada y de salida, por lo que la temperatura se considera que no tiene una variación que pueda atribuirse al efecto de la *Eichhornia crassipes*.

La concentración de nitrógeno total presentó una reducción de 11.48% y la concentración de fósforo mostró una reducción de 16.46%. Las mayores reducciones se obtuvieron en la concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) con un 91.74%, en la demanda química de oxígeno (DQO) con 85.32%, en turbiedad un 94.68% y en sólidos suspendidos totales (SST) de 98%, lo cual muestra la buena eficiencia del humedal para la reducción de la materia orgánica e inorgánica, así como de sólidos.

Los porcentajes de remoción de DBO5 y DQO obtenidos en este estudio son mejores a los obtenidos por Kouamé et al. (2016) quien obtuvo en su estudio utilizando la *Eichhornia crassipes* una reducción de DBO de 84.91 y de DQO de 82.45%.

En cuanto a la eficiencia en la remoción de nutrientes en este estudio se obtuvieron valores bajos si se comparan con estudios similares como el realizado por Quispe Benavides et al. (2021) quien obtuvo una remoción de nitrógeno de 70% y de fósforo de 80%.

La baja eficiencia de remoción de nutrientes puede deberse a diversos factores como la baja capacidad de crecimiento de las plantas, la poca área establecida para la reproducción de estas, así como el ingreso de agua residual de origen no doméstico. Aunque los resultados de las muestras analizadas están dentro de los rangos de aguas residuales de origen doméstico, según el operador se ha visto el ingreso de descargas de aguas residuales de colores (no doméstico). Se debe considerar evaluar cada factor que pueda estar afectando al humedal.

Conclusiones

En esta investigación se comprobó que la *Eichhornia crassipes* establecida en el humedal artificial de flujo superficial de aguas residuales de la planta piloto en la colonia Aurora II, puede ser aprovechada para producción de biogás, sin embargo el rendimiento de esta producción puede ser bajo dado que se entiende que el rendimiento de la producción de

biogás se ve afectada por el porcentaje de sólidos volátiles en las muestras y se obtuvo como porcentaje de sólidos volátiles un 12.30% con respecto a peso fresco, por lo que se recomienda evaluar la co-digestión para mejorar estas condiciones.

Se debe considerar seguir investigando el volumen de producción de biomasa dentro del humedal y el debido mantenimiento de la especie vegetal ya madura para evitar la descomposición en el área.

Según los resultados del análisis de laboratorio de las aguas residuales del humedal construido de la planta piloto Arturo Pazos, se determinó que la *Eichhornia crassipes* establecida en el humedal artificial puede utilizarse para mejorar las condiciones de la calidad del agua residual principalmente en los parámetros de la DBO5, DQO, SST y turbiedad donde se obtuvieron eficiencias mayores al 90%.

En relación con la remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo totales) esta fue baja en relación con los valores que se reportan en otros estudios, por lo que se deberá evaluar el motivo que esté provocando este comportamiento, debiendo considerarse por ejemplo el tiempo de retención hidráulica del sistema y la exposición del humedal a diferentes animales que cohabitan en el área donde se encuentra el humedal.

Agradecimientos

A Dios, mi familia y a mi esposo por el amor, el apoyo incondicional y la comprensión. A los profesores de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, a mi asesor y a los profesores del laboratorio de botánica de la Universidad de Hannover, por el conocimiento brindado.

Al equipo de laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini, ingeniero Zenón Much y al señor Adolfo Dubón, por el apoyo y el conocimiento brindado. A los operadores de la planta piloto Arturo Pazos, José Alexander Alvarado y Tereso Pérez por el apoyo.

A la ingeniera María Aguirre por su colaboración y amistad.

Financiamiento

Este trabajo fue financiado con recursos de la autora y otros aportes en reactivos y equipos realizados por el laboratorio de calidad de agua de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala y planta piloto de ERIS/USAC.

Conflicto de interés

La autora declara no tener ningún tipo de conflicto de interés que pudiera haber influido en esta investigación.

Como citar este documento

López Pérez, Y. (2023). Uso potencial de la especie vegetal *Eichhornia crassipes* del humedal artificial de la planta piloto Arturo Pazos (Aurora II). *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 18(1), Artículo e 1512. <https://doi.org/10.36829/08ASA.v18i1.1512>

Consentimiento informado

No aplica.

Contribuciones de autor

Conceptualización, trabajo de campo, tabulación, análisis y escritura: Y.A.L.P.

Referencias

- Amalina, F., Abd, A., Krishnan, S., Zularisam, A.W., & Nasrullah, M. (2022). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for organic contaminants removal in water -A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7(1), Article e 100092. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100092>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón.
- Dobias, J., & Leshem, I. (2008). *Sistemas de tratamiento de aguas residuales e implementación de humedales construidos en la cuenca del lago Atitlán, Guatemala*. Suecia, Lund University.
- Kouamé, V., Yapoga, S., Kouadio, N., Tidou, S., & Atsé, C. (2016). Phytoremediation of Wastewater toxicity using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes*). *International Journal of Phytoremediation*, 18(10), 949-955. <https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1183567>
- Kumar, V., Singh, J., Nadeem, M., Kumar, P., & Pathak, V. (2018). Experimental and kinetics studies for biogas production using water hyacinth (*Eichhornia crassipes* [Mart.] Solms) and sugar mill effluent. *Waste and Biomass Valorization*, 11(1), 109-119. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0412-9>
- Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G, Stensel, H., Tsuchihashi, R., & Burton, F. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización* (3ra. Ed.). McGraw Hill.
- Miranda Ríos, M. (2000). *Desarrollo, situación actual y aplicaciones potenciales de los humedales artificiales de flujo horizontal en México*. [Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3509402>
- Orhororo, E.K., Ebunilo, P.O., & Sadjere, E.G. (2017). Experimental determination of effect of total solid (TS) and volatile solid (VS) on biogas yield. *American Journal of Modern Energy*, 3(6), 131-135. <http://dx.doi.org/10.11648/j.ajme.20170306.13>
- Quispe Benavides, K., Guadalupe Baylón, N., Diaz Avalos, H., & Días Panduro, H. (2021). Utilización de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en la remoción de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales de la laguna de oxidación de la ciudad de Pucallpa, Perú. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 5(3), 2813-2827. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.491
- Rashama, C., Malambo, T.S., Christian, R., & Matambo, T.S. (2023). Investigating anaerobic digestion of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) sourced from Hartbeespoort dam in South Africa. *Preprints.org* 2023, 2023051618. <https://doi.org/10.20944/preprints202305.1618.v1>
- Romero Aguilar, M., Colín Cruz, A., & Sánchez Salinas, E. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales

artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 25(3), 157-167. <https://www.redalyc.org/pdf/370/37012012004.pdf>

Turcios, A.E, Cayenne, A., Uellendahl, H., & Papenbrock, J. (2011). Halophyte plants and their residues as feedstock for biogas production—Chances and challenges. *Applied Science*, 11(6), Article e 2746.

<https://doi.org/10.3390/app11062746>

Zambrano Vera, G. (2021). *Diseño de una planta eléctrica a partir de biogás obtenido de Jacintos de agua (Eichhornia crassipes) como materia prima*. [Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral].

<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53186>