

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Eficiencia de Pistia stratiotes y Pteridium aquilinum para la
remoción de materia orgánica del agua residual del camal
municipal de Lamas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Zeus José Álvarez Bendezu
Michelle Alarcon Rengifo

Asesor:

Dr. Victor Hugo Muñoz Delgado

Tarapoto, diciembre 2022

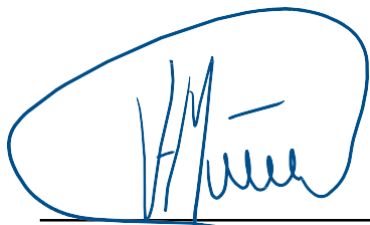
DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Yo, Dr. Victor Hugo Muñoz Delgado, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Eficiencia de Pistia stratiotes y Pteridium aquilinum para la remoción de materia orgánica del agua residual del camal municipal de Lamas”** constituye la memoria que presenta el (la) / los Bachiller(es) Zeus Jose Alvarez Bendezu y Michelle Alarcón Rengifo para obtener el título de Profesional de ingeniero ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Morales, a los 20 días del mes de junio del año 2023



Dr. Victor Hugo Muñoz Delgado

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a 02 día(s) del mes de diciembre del año 2022, siendo las 10:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo, el (la) secretario(a): Mtro. Carmelino Almestar Villegas y los demás miembros: Ing. Seyei Rengifo Arévalo y el (la) asesor(a) Dr. Victor Hugo Muñoz Delgado

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Eficiencia de Pistia stratiotes y Pteridium aquilinum para la remoción de materia orgánica del agua residual del camal municipal de Lamas"

del(los) bachiller(es): a) Zeus José Álvarez Bendezú
 b) Michelle Alarcon Rengifo
 c)

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller-(a): Zeus José Álvarez Bendezú

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Bachiller -(b): Michelle Alarcon Rengifo

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Bachiller -(c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente/a



 Secretario/a

 Asesor/a

 Miembro

 Miembro

 Bachiller (a)

 Bachiller (b)

 Bachiller (c)

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia de eliminación de la DBO y DQO de las plantas *Pistia stratiotes* y *Pteridium aquilinum* del agua residual del camal municipal de Lamas. La duración del ensayo fue de 7 días. La DBO del agua residual sin tratar fue 3015 mg/L y de la DQO fue 7113 mg/L, en ambos casos no se cumple el LMP para efluentes de PTAR. Para la especie *P. stratiotes*, el valor de la DBO promedio del agua residual fue 129,15mg/L, valor que sobrepasa el LMP; la DQO promedio fue 140,05 mg/L, valor que cumple el valor del LMP. Con la especie *P. aquilinum*, el valor de la DBO promedio del agua residual fue 267,1 mg/L; la DQO promedio fue 547,5 mg/L, ambos valores sobrepasan el LMP. Las eficiencias de remoción de la DBO y DQO del agua residual con la especie *P. stratiotes* fueron respectivamente 95,7% y 98,0%; mientras que, para la especie *P. aquilinum*, las eficiencias de remoción de la DBO y DQO fueron respectivamente 91,1% y 92,3%. Se concluye que el uso de humedales artificiales de flujo horizontal sub-superficial es una alternativa ambientalmente sostenible para descontaminar efluentes líquidos provenientes de los camales.

Palabras clave: Demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, humedales

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the efficiency of BOD and COD removal of *Pistia stratiotes* and *Pteridium aquilinum* plants from the wastewater of the Lamas municipal slaughterhouse. The trial duration was 7 days. The BOD of the untreated wastewater was 3015 mg/L and of the COD was 7113 mg/L, in both cases the LMP for WWTP effluents is not met. For the *P. stratiotes* species, the average BOD value of the residual water was 129.15 mg/L, a value that exceeds the LMP; the average COD was 140.05 mg/L, a value that meets the LMP value. With the species *P. aquilinum*, the average BOD value of the residual water was 267.1 mg/L; the average COD was 547.5 mg/L, both values exceed the LMP. The removal efficiencies of BOD and COD from wastewater with the species *P. stratiotes* were 95.7% and 98.0%, respectively; while for the *P. aquilinum* species, the BOD and COD removal efficiencies were 91.1% and 92.3%, respectively. It is concluded that the use of artificial sub-surface horizontal flow wetlands is an environmentally sustainable alternative to decontaminate liquid effluents from slaughterhouses.

Keywords: biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, wetlands

INTRODUCCIÓN

La industria de procesamiento de carnes se ha convertido en uno de los principales desafíos de la agroindustria debido al gran volumen de aguas residuales producidas durante el sacrificio y la limpieza de las instalaciones de sacrificio (1). Asimismo, el aumento del consumo de carne, ha conllevado a un mayor número de sacrificio de animales y consecuentemente, ha aumentado la generación de agua residual provenientes de los camales y mataderos. Estos efluentes muchas veces son manejados inadecuadamente, provocando impactos negativos a la salud humana y a los ecosistemas (2). Asimismo, los efluentes líquidos generados por los camales y mataderos, al ser vertidos a los cuerpos receptores causan degradación de la calidad el agua y afectan al equilibrio ambiental, así como a la salud de los seres humanos (3); debido a su alto contenido de materia orgánica (4). Por otro lado, la industria del beneficio de animales, genera importantes volúmenes de aguas residuales, con elevados contenidos de carga orgánica, nutrientes, sólidos, aceites y grasas; los cuales se caracterizan por su alto potencial contaminante (5).

La tecnología de humedales artificiales presenta las siguientes ventajas: Es ambientalmente sostenible, es de bajo costo de operación e implementación. Asimismo, la tecnología de humedales artificiales se caracteriza por ser eficiente en la remoción de materia orgánica y nutrientes del agua residual (6). Actualmente las aguas residuales generadas en el camal municipal de la provincia de Lamas, se vierten sin previo tratamiento. Estos efluentes generan un impacto ambiental negativo a los ecosistemas acuáticos. Por ello, el objetivo del estudio fue analizar la eficiencia de eliminación de la DBO y DQO de las plantas *P. stratiotes* y *P. aquilinum* del agua residual del camal municipal de Lamas.

PARTE EXPERIMENTAL

El estudio se desarrolló en las instalaciones del camal municipal de la ciudad de Lamas con coordenadas 333415 (Este) y 9290864 (Norte); el experimento se desarrolló en un invernadero con laterales abiertos para permitir el ingreso de la luminosidad y favorecer el proceso de fotosíntesis de las macrófitas *P. stratiotes* y *P. aquilinum*. La población del estudio fue el agua residual del camal municipal, mientras que, la muestra estuvo constituida por un volumen de 160 L para cada una de las especies vegetales. Asimismo, las especies vegetales que se utilizaron en los humedales fueron: *P. stratiotes* y *P. aquilinum*. La especie *P. stratiotes* se recolectó en la laguna Ricuricocha con coordenadas 344766 (Este) y 9277238 (Norte); mientras que, la especie *P. aquilinum* se recolectó en un área rural de la provincia de Lamas, con coordenadas 333236 (Este) y 9288696

(Norte). El recipiente rectangular para cada humedal fue de plástico con las siguientes dimensiones: Largo (81 cm), ancho (59 cm) altura (38 cm). La duración del ensayo fue de 7 días. Los parámetros del agua residual que se analizaron antes y después del tratamiento fueron temperatura, pH, DBO y DQO. El tiempo de adaptación de las plantas de *P. aquilinum* en los humedales fue de cuatro días, mientras que para la *P. stratiotes* se tuvo un tiempo de adaptación de un día.

Diseño de los humedales artificiales

El volumen de agua residual para la especie *P. stratiotes* fue 50 L y 22 plantas en cada humedal. Por otro lado, para los humedales de *P. aquilinum*, el espesor de los medios filtrantes fue grava (14 cm), arena (14 cm) y un espacio libre de 10 cm. Asimismo, el caudal de los humedales de *P. aquilinum* fue 22,86 L/día, con un tiempo de retención hidráulico de 3,5 días, dos recirculaciones y cuatro plantas de esta especie para cada humedal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agua residual sin tratamiento

Del análisis del agua residual sin tratamiento, se encontró una temperatura de 31,6°C, la cual está dentro del límite máximo permisible; el pH del agua residual sin tratar fue 5,6; el cual corresponde a un pH ácido; asimismo, este parámetro no cumple con el LMP. Por otro lado, la DBO del agua residual del camal municipal fue 3015 mg/L, cuyo valor es aproximadamente 30 veces el valor del LMP; mientras que, el valor de la DQO fue 7113 mg/L, el cual sobrepasa el valor del LMP. Por esta razón, se realizó el tratamiento del agua residual del camal municipal mediante humedales artificiales utilizando las especies *P. stratiotes* y *P. aquilinum*.

Tabla 1. Caracterización del agua residual sin tratamiento

Parámetro	Unidad	Valor	LMP
Temperatura	°C	31,6	<35
pH	-	5,6	6,5-8,5
DBO	mg/L	3015	100
DQO	mg/L	7113	200

Remoción de contaminantes por los humedales

Al utilizar la especie *P. stratiotes* en los humedales artificiales para la remoción de contaminantes del agua residual del camal municipal, se encontró una temperatura promedio de 22,4°C, el cual es un valor que cumple el LMP; el pH promedio fue 5,7; el cual corresponde a un pH ácido; asimismo, este parámetro no cumple con el LMP. Por otro lado, el valor de la DBO promedio del agua residual fue 129,15 mg/L, este valor sobrepasa el LMP; mientras que, el valor de la DQO promedio fue 140,05 mg/L, el cual

no sobrepasa el valor del LMP.

Tabla 2. Remoción de contaminantes con la especie *P. stratiotes*

Parámetro	Unidad	Repetición		Promedio	LMP
		1	2		
Temperatura	°C	22,4	22,4	22,4	<35
pH	-	5,7	5,7	5,7	6,5-8,5
DBO	mg/L	173,1	85,2	129,15	100
DQO	mg/L	138,4	141,7	140,05	200

Por otro lado, al utilizar la especie *P. aquilinum* en los humedales artificiales para la remoción de contaminantes del agua residual del camal municipal, se encontró una temperatura promedio de 22,85°C, el cual es un valor que cumple el LMP; el pH promedio fue 6,15; el cual corresponde a un pH ligeramente ácido; asimismo, este parámetro no cumple con el LMP. Por otro lado, el valor de la DBO promedio del agua residual fue 267,1 mg/L, este valor sobrepasa el LMP; mientras que, el valor de la DQO promedio fue 547,5 mg/L, el cual sobrepasa el valor del LMP.

Tabla 3. Remoción de contaminantes con la especie *P. aquilinum*

Parámetro	Unidad	Repetición		Promedio	LMP
		1	2		
Temperatura	°C	23	22,7	22,85	<35
pH	-	6	6,3	6,15	6,5-8,5
DBO	mg/L	185,7	348,5	267,1	100
DQO	mg/L	430,5	664,5	547,5	200

Eficiencia de remoción de contaminantes

La eficiencia de remoción de DBO del agua residual del camal municipal con la especie *P. stratiotes* fue 95,7% mientras que para la DQO fue de 98,0%.

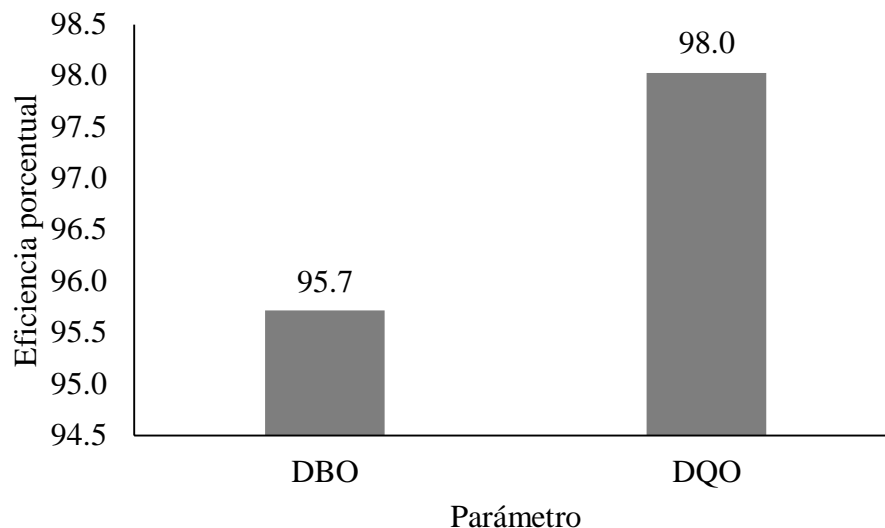


Figura 1. Eficiencia de remoción con la especie *P. stratiotes*

Asimismo, la eficiencia de remoción de DBO del agua residual del camal municipal con la especie *P. aquilinum* fue 91,1% mientras que para la DQO fue de 92,3%.

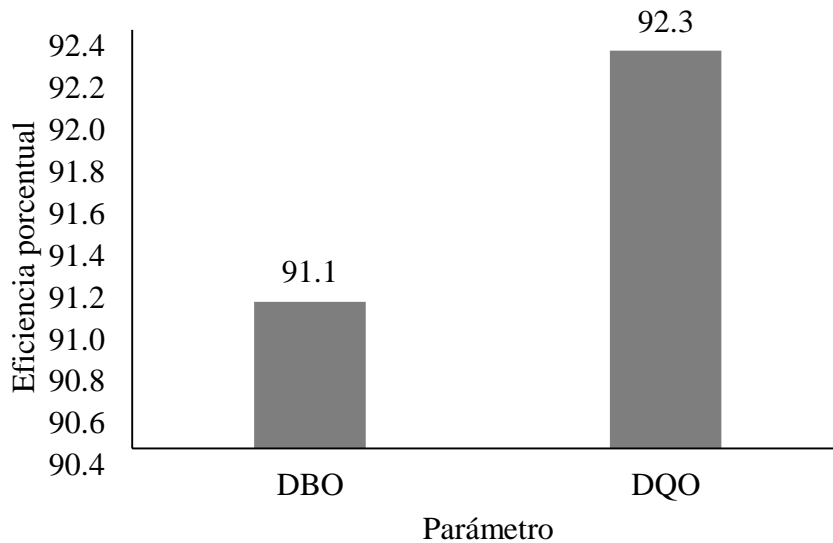


Figura 2. Eficiencia de remoción con la especie *P. aquilinum*

Discusión

En el presentes estudio, tuvo como objetivo analizar la eficiencia de dos macrófitas para la remoción de contaminantes del agua residual del camal municipal de la ciudad de Lamas. En primer lugar, se realizó el análisis del agua residual a tratar, del cual se obtuvo una temperatura de 31,6°C; un pH de 5,6; una DBO de 3015 mg/L y una DQO de 7113 mg/L, en ambos casos no se cumplió el LMP para efluentes de PTAR; los valores altos de materia orgánica son característicos de los efluentes de mataderos, ya que, el principal contaminante de las aguas residuales de los mataderos es la materia orgánica (7). Asimismo, los componentes que contribuyen a aumentar la DBO y DQO del agua residual son la sangre diluida, proteínas, grasas y los sólidos en suspensión; los cuales al ser descargados sin previo tratamiento contaminan los recursos hídricos (8). Por otro lado, el principal componente que hace elevar la DBO y DQO del agua residual de los mataderos es la sangre, por lo que requiere de tratamientos especiales para remover la carga orgánica (9).

Por ello, se procedió a tratar el agua residual, mediante humedales artificiales con dos especies *P. stratiotes* y *P. aquilinum*. Para la especie *P. stratiotes*, el valor de la DBO promedio del agua residual fue 129,15 mg/L, valor que sobrepasa el LMP; mientras que la DQO promedio fue 140,05 mg/L, valor que cumple el valor del LMP. Con la especie *P. aquilinum*, la DBO promedio del agua residual fue 267,1 mg/L; mientras que la DQO promedio fue 547,5 mg/L, ambos valores sobrepasan el LMP. Las raíces de *P. aquilinum*

pueden extenderse hasta 28 cm con un diámetro de 0,28 mm; lo cual permite el desarrollo de procesos físicos y biológicos que favorecen la estabilización de la materia orgánica en la epidermis radicular (10). Por otro lado, la especie *P. stratiotes*, produce un gran número de raíces, lo cual hace que esta macrófita flotante consuma grandes cantidades de materia orgánica del agua residual durante su metabolismo (11).

Por otro lado, las eficiencias de remoción de la DBO y DQO del agua residual con la especie *P. stratiotes* fueron respectivamente 95,7% y 98,0%; mientras que, para la especie *P. aquilinum*, las eficiencias de remoción de la DBO y DQO fueron respectivamente 91,1% y 92,3%. Al tratar el agua residual de un camal municipal con la especie *E. crassipes* mediante humedales con un tiempo de tratamiento de 5 días, se obtuvo eficiencias de remoción para la DBO y DQO respectivamente de 77,8% y 77,2% (12), estas eficiencias fueron menores debido a que se utilizó un tiempo de tratamiento menor que en el presente estudio (7 días). Asimismo, las eficiencias encontradas en el presente estudio, son comparativamente iguales, a las obtenidas con tratamientos biológicos con lodos activados, con eficiencias de remoción de la DBO y DQO de efluentes de mataderos en la India, respectivamente de 95% y 98%, al utilizar tratamientos biológicos con aireación (13). La ventaja de los humedales es su bajo costo de operación, mantenimiento y escaso uso de energía (5). Los humedales artificiales son una tecnología alternativa y promisoría, debido a que son eficientes en la remoción de la materia orgánica de los efluentes líquidos de los camales municipales. Asimismo, una de las alternativas utilizadas en muchos países, principalmente en Europa para el tratamiento de las aguas residuales de diversas fuentes, han sido los humedales artificiales; en los cuales se desarrollan procesos naturales, con bajo costo de construcción, mantenimiento y operación. Además, estos sistemas se caracterizan por la elevada eficiencia en la eliminación de la DBO de los efluentes líquidos (2). Las eficiencias de remoción de materia orgánica del agua residual, dependen de la especie fitorremediadora y del espesor adecuado de los materiales filtrantes para humedales de flujo sub-superficial. En otro estudio, se utilizó como especie fitorremediadora a *Zantedeschia aethiopica* y como sustrato grava y arena, para la remoción de materia orgánica (DQO) del agua residual de un camal, encontrando una eficiencia de remoción del 90% para este parámetro (3).

CONCLUSIONES

La DBO del agua residual sin tratar fue 3015 mg/L y de la DQO fue 7113 mg/L, en ambos casos no se cumple el LMP para efluentes de PTAR. Para la especie *P. stratiotes*, el valor de la DBO promedio del agua residual fue 129,15 mg/L, valor que sobrepasa el LMP; la DQO promedio fue 140,05 mg/L, valor que cumple el valor del LMP. Con la especie *P. aquilinum*, el valor de la DBO promedio del agua residual fue 267,1 mg/L; la DQO promedio fue 547,5 mg/L, ambos valores sobrepasan el LMP. Las eficiencias de remoción de la DBO y DQO del agua residual con la especie *P. stratiotes* fueron respectivamente 95,7% y 98,0%; mientras que, para la especie *P. aquilinum*, las eficiencias de remoción de la DBO y DQO fueron respectivamente 91,1% y 92,3%. Se concluye que el uso de humedales artificiales de flujo horizontal sub-superficial es una alternativa ambientalmente sostenible para descontaminar efluentes líquidos provenientes de los camales.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos de manera especial al Sr. Onésimo Huamán Daza, alcalde de la municipalidad provincial de Lamas, por la autorización para el desarrollo del presente estudio en el camal municipal de dicha ciudad, así como para la toma de muestras de agua residual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ng M, Dalhatou S, Wilson J, Kamdem BP, Temitope MB, Paumo HK, et al. Characterization of Slaughterhouse Wastewater and Development of Treatment Techniques: A Review. *Processes*. 2022;10(7):1–28.
2. Dias L. Wetlands construídos de fluxo vertical aplicados no pós- tratamento de efluente de abatedouro de ovinos e bovinos [Internet]. Universidade Federal do Pampa; 2017. Available from: [https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/3032/1/Luana Dias da Silva - 2017.pdf](https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/3032/1/Luana%20Dias%20da%20Silva%20-%202017.pdf)
3. Bruna M, Leal V. Avaliação de um sistema de wetlands construído no pós-tratamento de efluente de frigorífico [Internet]. Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2015. Available from: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3935/1/CT_EC_2014_2_01.pdf
4. Souza B, Ferreira P, Eyang E, Câmara CD. Avaliação da Eficiência de Um Sistema de Tratamento por Wetland Construído Aplicado ao Efluente de um Frigorífico de Suínos. *Semin Ciências Exatas e Tecnológicas* [Internet]. 2016;37(2):13. Available from: https://www.researchgate.net/publication/307442068_Avaliacao_da_Eficiencia_de_Um_Sistema_de_Tratamento_por_Wetland_Construido_Aplicado_ao_Efluente_de_um_Frigorifico_de_Suinos/link/57c5bce208ae424fb2cf7ffc/download

5. Meirelles D. Avaliação de um protótipo de wetland construído para polimento final de efluente gerado em abatedouro bovino [Internet]. Centro Universitário UNIVATES; 2016. Available from: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1397/1/2016DaianaMeirelles.pdf>
6. Prado M, Garrido C. Eficiência Do Sistema Alagado Construído No Ultrafiltração E Filtro Biológico. In: I Jornada Científica e VI FIPA do CEFET Bambuí Bambuí/MG - 2008 EFICIÊNCIA [Internet]. Minas Gerais; 2008. p. 4. Available from: https://www.bambui.ifmg.edu.br/jornada_cientifica/str/artigos_aprovados/Meio_Ambiente/55-PT-1.pdf
7. Bazrafshan E, Mostafapour FK, Farzadkia M, Ownagh KA, Mahvi H. Slaughterhouse Wastewater Treatment by Combined Chemical Coagulation and Electrocoagulation Process. PLoS One. 2012;7(6):1–8.
8. Kundu P, Debsarkar A, Mukherjee S. Treatment of Slaughter House Wastewater in a Sequencing Batch Reactor: Performance Evaluation and Biodegradation Kinetics. Effic Manag Wastewater from Manuf New Treat Technol. 2015;2013:83–112.
9. Husam A-N, Nassar A. Slaughterhouses Wastewater Characteristics in the Gaza Strip. J Water Resour Prot. 2019;11(07):844–51.
10. Eslava-silva FDJ, Jiménez-durán K, Estrada MJ, Eugenia M, Díaz M. Morfo-anatomía del ciclo de vida del helecho *Pteridium aquilinum* (Dennstaedtiaceae) en cultivo in vitro. 2020;68(March):12–22.
11. Cueva W. Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies (*Pistia stratiotes* L.) y (*Limnobium laevigatum* R.) para el tratamiento de lixiviados producidos en el relleno sanitario del canton centinela del condor, provincia Zamora Chinchipe [Internet]. Universidad Nacional de Loja; 2016. Available from: http://dspace.unl.edu.ec:9001/jspui/bitstream/123456789/17583/1/CUEVA_PLACENCIA_WILLAM_PATRICIO_TESIS_DE_GRADO_12_12_2016.pdf
12. Mees JBR, Gomes SD, Boas MAV, Fazolo A, Sampaio SC. Removal of organic matter and nutrients from slaughterhouse wastewater by using *Eichhornia crassipes* and evaluation of the generated biomass composting. Eng Agric. 2009;29(3):466–73.
13. Rajpal A, Ali M, Choudhury M, Almohana AI, Alali AF, Munshi FMA, et al. Abattoir Wastewater Treatment Plants in India: Understanding and Performance Evaluation. Front Environ Sci. 2022;10(May):1–11.