



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“EFICIENCIA TÉCNICA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y *ESCHERICIA COLI*. APLICANDO HUMEDAL ARTIFICIAL, LIMA, 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autor:

Katherine Madeleyne Ramirez Arbieto

Asesor:

MSc. Ing. Carlos Alberto Alva Huapaya

<https://orcid.org/0000-0002-0983-3151>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	EDMUNDO VERAU MIRANDA	10557797
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	KELLY MILENA POLO HERRERA	41297911
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	JUAN CARLOS FLORES CERNA	18898536
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

Tesis Katherine Ramirez

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	12%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Marco Arturo Valladares Villagómez. "Perspectiva de los docentes y estudiantes frente a la virtualización educativa como alternativa en tiempos de COVID-19 en la Facultad de Ciencias Sociales y Humanas de la Universidad Central del Ecuador", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 Publicación	1%
4	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	NELSON RODRÍGUEZ VALENCIA. "Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas.", Universitat Politecnica de Valencia, 2009 Publicación	<1%

Tabla de contenido

Jurado Evaluador	2
Informe de similitud	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE ANEXOS	16
RESUMEN	17
ABSTRACT	18
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	19
1.1. Realidad problemática	19
1.2. Antecedentes	21
1.2.1. Antecedentes Internacionales	21
1.2.2. Antecedentes Nacionales	23
1.3. Bases Teóricas	27
1.3.1. Aguas residuales:	27
1.3.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):	29
1.3.3. Aguas residuales domesticas:	29
1.3.4. Tratamiento de aguas residuales	30
1.3.5. Humedal artificial:	32

1.3.6.	<i>Lemna Minor</i>	35
1.3.7.	<i>Eichhornia crassipes</i>	36
1.3.8.	<i>Canna Hybrida:</i>	38
1.4.	Formulación del problema	39
1.4.1.	Formulación del problema general	39
1.4.2.	Formulación de problemas específicos	39
1.5.	Objetivos	39
1.5.1.	Objetivo general	39
1.5.2.	Objetivos específicos	40
1.6.	Hipótesis	40
1.6.1.	Hipótesis general	40
1.6.2.	Hipótesis específicas	40
1.7.	Justificación	41
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA		43
2.1.	Diseño de investigación	43
2.1.1.	Enfoque	43
2.1.2.	Tipo de investigación	43
2.2.	Población	44
2.3.	Muestra	44
2.4.	Técnica	44
2.5.	Materiales	46
2.6.	Instrumentos	49

2.7. Procedimiento de obtención de datos	49
2.8. Procedimiento de análisis de datos	51
2.9. Aspectos éticos	53
CAPÍTULO III: RESULTADOS	55
3.1. Capacidad de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno y <i>Escherichia coli</i> en aguas residuales domésticas.	55
3.2. Nivel potencial de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno y <i>Escherichia coli</i> mediante especies macrófitos <i>Lemna minor</i>, <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Canna spp.</i>	117
3.3. Propuesta de diseño de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas.	122
3.4. Eficiencia técnica para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y <i>Escherichia coli</i> aplicando humedal artificial.	127
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	129
REFERENCIAS	133
ANEXOS	139

Índice de tablas

Tabla 1	30
Composición de las aguas residuales de acuerdo con su origen	30
Tabla 2	36
Información taxonómica de Lemna	36
Tabla 3	37
Información taxonómica Eichhornia	37
Tabla 4	38
Información taxonómica Canna	38
Tabla 5	46
Materiales por las 3 primeras etapas	46
Tabla 6	47
Materiales en etapa 5 y 6	47
Figura 2	50
Humedal artificial elaborado	50
Tabla 7	55
Clasificación de macrófitos	55
Tabla 8	56
Especie, Nombre común, pH, y Temperatura	56
Tabla 9	56
Concentración Inicial de Demanda Bioquímica de Oxígeno tratamiento con Lemna minor	56
Tabla 10	58
Concentración final de Demanda Bioquímica de Oxígeno tratamiento con Lemna minor	58

Tabla 11	59
Porcentaje de Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno tratamiento con Lemna minor	59
Tabla 12	59
<i>Valores Estadísticos de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno con Lemna minor</i>	59
Tabla 13	68
Concentración Inicial de Escherichia coli tratamiento con Lemna minor	68
Tabla 14	69
Concentración Inicial de Escherichia coli tratamiento con Lemna minor	69
Tabla 15	70
Valores Porcentuales de remoción de Escherichia coli en aguas residuales domésticas	70
Tabla 16	70
Valores Estadísticos de remoción de Escherichia coli con Lemna minor.	70
Tabla 17	77
Concentración Inicial de Demanda Bioquímica de Oxígeno tratamiento con Eichhornia crassipes	77
Tabla 18	78
Concentración Final de Demanda Bioquímica de Oxígeno tratamiento con Eichhornia crassipes	78
Tabla 19	79
Valores Porcentuales de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno con Eichhornia crassipes	79
Tabla 20	80
Valores Estadísticos de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno con Eichhornia crassipes	80

Tabla 21	86
Concentración Inicial de Escherichia coli tratamiento con Eichhornia crassipes	86
Tabla 22	87
Concentración Final de Escherichia coli tratamiento con Eichhornia crassipes.	87
Tabla 23	88
Valores Porcentuales de Remoción de Escherichia coli tratamiento con Eichhornia crassipes.	88
Tabla 24	89
Análisis Estadístico de Remoción de Escherichia coli	89
Tabla 25	96
Concentración Inicial de Demanda Bioquímica de Oxígeno tratamiento con Canna spp	96
Tabla 26	97
Concentración final de Demanda Bioquímica de Oxígeno tratamiento con Canna spp.	97
Tabla 27	98
Valores Porcentuales de Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno	98
Tabla 28	99
Análisis Estadístico de Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno	99
Tabla 29	107
Concentración Inicial de Escherichia coli tratamiento con con Canna spp	107
Tabla 30	108
Concentración Final de Escherichia coli tratamiento con con Canna spp.	108
Tabla 31	109
Valores Porcentuales de Remoción de Escherichia coli tratamiento con con Canna spp.	109
Tabla 32	110
Análisis Estadístico de Remoción de Escherichia coli	110

Tabla 33	117
Porcentaje de remoción mediante Lemna minor, Eichhornia crassipes y Canna spp.	117
Tabla 34	118
Análisis estadístico de remoción mediante Lemna minor, Eichhornia crassipes y Canna spp.	118
Tabla 35	120
Porcentaje de remoción de Escherichia coli mediante Lemna minor, Eichhornia crassipes y Canna spp	120
Tabla 36	121
Análisis estadístico de remoción mediante Lemna minor, Eichhornia crassipes y Canna spp.	121
Tabla 37	127
Análisis estadístico de la Demanda Química de Oxígeno y Escherichia coli	127
Tabla 38	164

Índice de figuras

Figura 1		34
	Grafica de división de humedales artificiales.	34
Figura 2		50
	Humedal artificial elaborado	50
Figura 3		61
	Resultados de la prueba de normalidad Anderson – Darling	61
Figura 4		63
	Resultados de la prueba de atipicidad - Grubbs	63
Figura 5		65
	Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas	65
Figura 6		66
	Resultados de la prueba de T de una muestra	66
Figura 7		71
	Resultados de la prueba de normalidad Anderson – Darling	71
Figura 8		72
	Resultados de la prueba de atipicidad - Dixon	72
Figura 9		74
	Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas	74
Figura 10		75
	Resultados de la prueba de T de una muestra	75
Figura 11		81
	Resultados de la prueba de normalidad Anderson – Darling	81

Figura 12	82
Resultados de la prueba de atipicidad - Dixon	82
Figura 13	83
Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas	83
Figura 14	85
Resultados de la prueba de T de una muestra	85
Figura 15	90
Resultados de la prueba de normalidad Anderson – Darling	90
Figura 16	91
Resultados de la prueba de atipicidad – Dixon	91
Figura 17	93
Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas	93
Figura 18	94
Resultados de la prueba de T de una muestra	94
Figura 20	101
Resultados de la prueba de atipicidad – Grubbs	101
Figura 21	103
Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas	103
Figura 22	104
Resultados de la prueba de T de una muestra	105
Figura 23	111
Resultados de la prueba de normalidad Anderson – Darling	111
Figura 24	112
Resultados de la prueba de atipicidad – Dixon	112

Figura 25	114
Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas	114
Figura 26	115
Resultados de la prueba de T de una muestra	115
Figura 27	119
Análisis comparativo entre especies	119
Figura 28	121
Análisis estadístico de Porcentajes de Lemna minor, Eichhornia crassipes y Canna	121
Figura 29	122
Ubicación del área propuesta para implementación	122

Índice de Anexos

Anexo 1	139
Matriz Operacional	139
Anexo 2	141
Revisión Sistemática	141
Anexo 4	164
Velocidad de reacción de primer orden	164
Anexo 5	165
Cálculo de caudal	165
Anexo 6	165
Cálculo de área superficial del humedal	165
Anexo 7	166
Cálculo de Tiempo de retención hidráulica	166
Anexo 8	166
Cálculo de ancho y largo del humedal (m)	166
Anexo 9	167
Datos de materiales empleados para el diseño y construcción de humedales verticales.	167

RESUMEN

El crecimiento de la población y la falta de sistema de agua potable y alcantarillado son una problemática latente dónde la siguiente investigación encuentra su misión en determinar la eficiencia técnica para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli* aplicando humedal artificial. La metodología de investigación tuvo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental transversal de tipo correlacional. En primera instancia el proyecto trabaja en base a recolectar información de bases de datos con el objetivo de poder analizar y comparar resultados de las experimentaciones desarrolladas con las especies *Canna spp*, *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*. Adicionalmente, se trabajó con valores obtenidos al implementar un humedal artificial a pequeña escala con la especie *Canna spp* estas muestras son analizadas luego de 24 y 48 horas de tratamiento. Luego de un análisis del nivel potencial de las especies y el diseño del sistema de humedales, nos dio como mejor alternativa para el distrito Alberto Laveleau, provincia de San Martín, Región de San Martín la especie *Canna spp* que obtuvo un porcentaje de remoción de 95.92% de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y un porcentaje de 99.99% para *Escherichia coli*.

PALABRAS CLAVES: Humedal Artificial, Macrófitos, Agua residual, Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli*

ABSTRACT

The increase in population and the lack of drinking water and sewerage system are a latent problem where the following research finds its mission in determining the technical efficiency for the treatment of domestic wastewater in the removal of the Biochemical Demand of Oxygen and *Escherichia coli* applying artificial wetland. The research methodology had a quantitative approach, with a non-experimental cross-sectional correlational design. In the first instance, the project works based on collecting information from databases in order to analyze and compare the results of the experiments developed with the species *Canna spp*, *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor*. Additionally, we worked with values obtained by implementing a small-scale artificial wetland with the species *Canna spp* these samples are analyzed after 24 and 48 hours of treatment. After an analysis of the potential level of the species and the design of the wetland system, we were given as the best alternative for the Alberto Laveleau district, province of San Martín, Region of San Martín the species *Canna spp* that obtained a removal percentage of 95.92% of Biochemical Oxygen Demand (BOD) and a percentage of 99.99% for *Escherichia coli*.

KEY WORDS: Constructed Wetland, Macrophytes, Wastewater, Biochemical Oxygen Demand and *Escherichia coli*

NOTA

El contenido de la investigación no se encuentra disponible en **acceso abierto**, por determinación de los propios autores amparados en el Texto Integrado del Reglamento RENATI, artículo 12.

Referencias

- Arias. (2010). Fitorremediación con Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas, 74. Recuperado de:
http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/5/5
- Belzona. (2016). Tratamiento de aguas residuales. Recuperado de:
https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf
- CABI. 2016. Canna indica. In: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. Consultado en agosto 2016 en <http://www.cabi.org/isc/datasheet/14575>
- Canata, M. et. al. (2016). Caracterización molecular de factores de virulencia de aislados Escherichia coli obtenidas de heces de niños con gastroenteritis del Hospital Central de Instituto de Previsión Social en el 2012. Recuperado de:
<http://scielo.iics.una.py/pdf/ped/v43n1/v43n1a02.pdf>
- CARE Internacional-Avina. (2012) Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. Módulo 6: Sistemas de saneamiento ambiental. Recuperado de:
http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/sistemas_de_saneamiento_ambiental.pdf
- Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente (CIEMA). (2005). Tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Proyecto ASTEC SUCHER & HOLZER.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). Tratamiento aguas residuales: En pequeñas poblaciones.

Delgadillo, A. et al (2011). *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la Contaminación.*

Tropical and Subtropical Agroecosystems. Recuperado de:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-04622011000200002&script=sci_arttext

Haro M. y Aponte N. (2010). Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular. Universidad Nacional Autónoma de México.

Recuperado de:

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/HARO%20y%20APONTE%202010.%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20humedal%20artificial.pdf

INEI (2022). Boletín N°27. PERÚ: Proyecciones de Población Total según Departamento, Provincia y Distrito, 2018 – 2022. Recuperado de:

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3624028/Per%C3%BA%3A%20Proyecciones%20de%20Poblaci%C3%B3n%20Total%20seg%C3%BA%20Departamento%2C%20Provincia%20y%20Distrito%2C%202018-2022.pdf?v=1663081335>

Jimenez A. (2018). Proceso de producción de bioetanol, a partir de la biomasa hidrolizada de la eichhornia crassipes con la levadura (saccharomyces cerevisiae). Recuperado de:

https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1790/jiemenez_andres_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

KERLING ER, F.N., (1975). Investigación del comportamiento: técnicas y metodología. México, D.F.: Nueva Editorial Interamericana.

León M. y Lucero A. (2010). Estudio de Eichhornia crassipes, Lemna gibba y Azolla filiculoides en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitario y

unifamiliares del cantón Cotacachi. Recuperado de:

<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/102>

León, R. et. al. (2018). Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y Escherichia coli en aguas servidas. Enfoque UTE, 9–N.4, 131–144. Recuperado de:

http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/public/journals/1/html_v9n4/art013.html

Martínez SAA, Toro FMB, Rojas GG, Giraldo JPS, Ángel MLH. Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Recuperado de:

http://www.metarevistas.org/index.php/inf_tec/article/view/5

MELLISHO, M. (1999). Evaluación de la capacidad depuradora de tres macrofitas. Lima. Perú.: Tesis. UNALM.

Metcalf-Eddy; “Tratamiento y depuración de las aguas residuales”. Editorial labor. S.A., 1991.

MIGLIO, R. y ESPINOZA, R. (2003). Evaluación del comportamiento de un sistema de pantanos artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la granja de porcinos de la UNALM. Anales Científicos, 85-99.

Morales, G., López, D., Vera, I. y Vidal, G. (2013). "Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas". Recuperado de: [http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/194/v/v22-1/vidal_theo22\(1\)-2013.pdf](http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/194/v/v22-1/vidal_theo22(1)-2013.pdf)

Organización Mundial de la Salud. (1995). *Guías para la calidad del agua potable. 2a ed. Vol. 1., Recomendaciones*. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/37736>

- Organización Mundial de la Salud. (2015). *Informe de la OMS señala que los niños menores de 5 años representan casi un tercio de las muertes por enfermedades de transmisión alimentaria* Recuperado de: <http://www.who.int/es/news-room/detail/03-12-2015-who-s-first-ever-global-estimates-of-foodborne-diseases-find-children-under-5-account-for-almost-one-third-of-deaths>
- Organización Mundial de la Salud & United Nations Children's Fund (UNICEF). (2017). *Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y línea de base de los ODS*. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/260291>
- Pérez, E. (2018). *Plan de ordenamiento territorial, como instrumento de planificación y gestión, de San Juan de Lurigancho 2018*. Recuperado de: <http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/2375/PEREZ%20FLORES%20EDER%20JALCAO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PIER (Pacific Island Ecosystems at Risk). (2008). *Canna indica*. Recuperado de: http://www.hear.org/pier/wra/pacific/canna_indica_htmlwra.htm
- Pino, D. (2018). Determinación de fármacos en agua residual hospitalaria y aplicación del proceso de fotocatalisis heterogénea solar para su degradación. (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Nuevo León, México. <http://eprints.uanl.mx/17074/1/1080252220.pdf>
- Poveda, R. (2014). Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizada en en Cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Universidad Técnica de Ambato. Recuperado de: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/8455/1/BQ%2056%20.pdf>

Ramos, L., Vidal, L., Vilardy, S. y Saavedra, L. (2008). ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA (COLIFORMES TOTALES Y FECALIS) EN LA BAHÍA DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO. Recuperado de:
<http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n3/v13n3a7.pdf>

Raven, Evert, Eichhorn. (1992) Biología de las plantas. Editorial Reverté S.A. España. Tomo I. Recuperado de:
<https://books.google.com/cu/books?id=xvNd3udrh1YC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Romero A. y Tanai I. (2023). Evaluación de la calidad de agua mediante el tratamiento con humedales artificiales de flujo subsuperficial en Cotacachi, Imbabura. Recuperado de:
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13512>

ROOK, E. 2002. Flora, fauna, earth and sky. The natural history of the northwoods. Available from:
www.rook.org/earl/bwca/nature/aquatics/lemna.html

Sandoval et. al. (2019). *Efecto de Canna hybrids en humedales contruidos parcialmente saturados para el tratamiento de aguas porcinas.* Recuperado de:
<https://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/41/46>

Seminario J. (2004). Origen de las Raíces andinas: contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: una década de investigación para el desarrollo (1993-2003) No. 6. Lima, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

Valderrama L., Campos, C., Velandia, S. y Zapata, N. (2003). Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*E. crassipes*, *Lemna sp.* y *L. laevigatum*). Universidad Javeriana.

Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/residddaa.pdf>

Vallejos. K. (2018). Evaluación del caudal en la cuenca del río Cumbaza en el Periodo Climatológico 1986 a 2016, departamento de San Martín 2017. Recuperado de:

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/27026>

Weeds of Australia (2016). *Canna indica*. Queensland Government. Recuperado de:

http://keyserver.lucidcentral.org/weeds/data/media/Html/canna_indica.htm

Zhou, J. (2015). *Faecal indicator bacteria monitoring in blue-green algae contaminated water*.

Queen's University. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/1974/13769>