

Technical efficiency for the treatment of domestic wastewater in the removal of Biochemical Oxygen Demand and *Escherichia coli* by applying artificial wetland, Lima, Peru, 2023

Katherine Madeleyne Ramirez Arbieto¹, Carlos Alberto Alva Huapaya²

¹Universidad Privada del Norte, Av. Tingo María 1122, Lima, Perú

¹katherine.ramirez.arbieto@gmail.com, ²car.alva@gmail.com

Abstract– *Population growth and the lack of a potable water and sewage system are pressing issues where the following research finds its mission in determining the technical efficiency for domestic wastewater treatment in the removal of Biochemical Oxygen Demand and Escherichia coli using artificial wetlands. The research methodology adopted a quantitative approach, with a non-experimental cross-sectional correlational design. Initially, the project focused on gathering information from databases in order to analyze and compare results of experiments conducted with the species Canna spp, Eichhornia crassipes, and Lemna minor. Additionally, values obtained from implementing a small-scale artificial wetland with the species Canna spp were examined after 24 and 48 hours of treatment. Following an analysis of the potential level of the species and the design of the wetland system, the best alternative for the Alberto Laveleau district, San Martín province, San Martín region was determined to be the Canna spp species, which achieved a removal percentage of 95.92% for Biochemical Oxygen Demand (BOD) and 99.99% for Escherichia coli.*

Keywords– *Artificial Wetland, Macrophytes, Wastewater, Biochemical Oxygen Demand, and Escherichia coli*

I. INTRODUCCIÓN

El elemento más importante para el desarrollo de la vida es el agua, sin embargo, esta en diversas actividades realizadas por el hombre se ve afectada de manera que altera su calidad. Es de suma importancia garantizar la calidad microbiológica del agua destinada para el consumo humano, por lo tanto, “no debe transmitir patógenos, como el indicador bacteriano numeroso de la contaminación fecal tanto de origen humano como animal, es *Escherichia coli* ni coliformes termorresistentes” (OMS,1995) (p,23). Esta medida debe ser considerada como de alta prioridad en la política del proveedor de agua.

La descarga directa de efluentes provenientes de diversas actividades humanas en cuerpos de agua como océanos, ríos y lagos es ampliamente reconocida como una fuente significativa de contaminación. Esta situación se ve agravada por el rápido crecimiento de la población y la expansión urbana descontrolada, que a menudo carece de infraestructuras básicas de saneamiento. Según la Organización Mundial de la Salud (2017), aproximadamente el 3 de 10 de las personas no tienen acceso a agua potable y el 6 de 10 personas carece de sistemas seguros de saneamiento. Estos datos subrayan la necesidad urgente de buscar soluciones efectivas para abordar el problema de la contaminación del agua.

Además, es conocido que contamos con diferentes fuentes de abastecimiento; tales como, agua marítima, subterránea y superficial siendo la última una principal fuente de captación. Por tal motivo debemos tener en cuenta que “159 millones de personas aún recolectaban agua para el consumo directamente de fuentes de agua de superficie” (OMS y UNICEF, 2017) (p.3). Al no tratar adecuadamente las aguas contaminadas y aun así mantener el consumo directo de las aguas superficiales contaminadas se generaría problemas en la salud humana.

La contaminación microbiana en el agua potable representa un riesgo latente para la salud pública, por lo tanto, es crucial establecer medidas de control efectivas. Es fundamental implementar mejoras en la calidad del agua, así como perfeccionar las técnicas utilizadas en los sistemas de alcantarillado y abastecimiento. Estas acciones tienen como objetivo principal reducir el riesgo asociado a la salud pública y garantizar un suministro de agua seguro para la población. “Estos riesgos microbianos nos generarían enfermedades diarreicas causadas por *E. coli* Que representan el 70% de la carga de las enfermedades de transmisión alimentaria” (OMS, 2015).

Según Zhou (2015), “la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli* son indicadores más específicos de la presencia de heces tanto en agua de mar. Esto nos conlleva a muchas enfermedades gastrointestinales”. Conocemos que la contaminación microbiológica genera enfermedades como: tifoidea, colera, amebiasis, salmonelosis, entre otras.

Por consiguiente, se han desarrollado enfoques innovadores, naturales y asequibles para optimizar los procesos de remediación del agua. Entre ellos, destaca la fitorremediación, que se refiere a un conjunto de tecnologías que aprovechan la capacidad de ciertas plantas para purificar o restaurar entornos contaminados. En particular, las plantas acuáticas se utilizan ampliamente en la fitorremediación de aguas contaminadas debido a su capacidad para absorber, eliminar o neutralizar compuestos inorgánicos y orgánicos dañinos. Estas especies vegetales se convierten en aliados efectivos en la lucha contra la contaminación del agua. (Delgadillo y González, 2011). La principal ventaja que tiene esta técnica es que tiene un elevado rango de acción y el bajo costo que implica disponer de esta tecnología simbolizando así una opción sostenible y sustentable.

La siguiente investigación encuentra su razón en realizar un estudio exhaustivo de la revisión bibliográfica para conocer

y estudiar todo sobre la aplicación de la técnica de fitorremediación mediante un humedal artificial usando esto con el objetivo de encontrar una especie optima, observar el procedimiento de aplicación, en qué condiciones se podría aplicar, los riesgos o dificultades de su aplicación, basándonos en otros estudios hechos relacionados con el tema.

II. METODOLOGÍA

Este estudio corresponde al enfoque cuantitativo, con motivo de que se formula la propuesta de modelo teórico para abordar una necesidad práctica específica. Este modelo se basa en un diagnóstico de la situación actual y en una proyección futuras. El procedimiento investigativo es fundamental, y se sustenta en una búsqueda sistemática que permite el análisis, la comparación y la predicción pertinentes. El objetivo es probar las hipótesis previamente propuestas en relación con la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli*, mediante la aplicación de la técnica de Humedal artificial en aguas residuales domésticas. Por otro lado, posee un tipo correlacional, por la asociación de la variable dependiente la cual es la eficiencia técnica de remoción, luego las variables independientes la cual está en relación de las concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli* determinadas antes y después del sistema de humedal artificial.

Adicionalmente, la investigación considera la revisión para la población de 34 publicaciones científicas que comprenden artículos científicos de revistas indexadas, tesis de pregrado y postgrado. La muestra de esta investigación estuvo constituida por 16 artículos científicos de revistas indexadas (Scielo, Scopus, Redalyc, entre otras), tesis de pregrado y postgrado, que cumplieron con los requisitos de inclusión, es decir de los últimos 10 años (2013 - 2023) con contenido de idioma inglés y español. Además, que tengan relación con la pregunta de investigación y se consideraron las especies macrófitos *Canna hibrida*, *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*. También, se ha considerado como muestra una información sobre la prueba técnica desarrollada en un laboratorio particular aplicando el prototipo de un humedal artificial.

La técnica desarrollada es la de registro y análisis documental, mediante esta se obtuvo la información confiable y pertinente para un correcto desarrollo metodológico. Por lo tanto, la investigación se dividió en 6 etapas: Recolección y revisión de las investigaciones científicas, Valoración e inclusión de las investigaciones científicas, Análisis de las investigaciones científicas, Síntesis de las investigaciones científicas, Diseño del Humedal Artificial y Análisis de la prueba técnica.

Finalmente se determinó la eficiencia de remoción de contaminantes del humedal artificial se realizará de manera sencilla con la siguiente formula de Romero Rojas (1999), Eficiencia de remoción de contaminantes:

$$Efic = \frac{(Ci - Cf)}{Ci} \times 100\%$$

Dónde:

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Efic: Eficiencia de remoción de contaminantes (porcentaje)
 Ci: Concentración inicial
 Cf: Concentración final

III. RESULTADOS

3.1 Capacidad de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli* en aguas residuales domésticas.

Los macrófitos evaluados para el proceso de remoción de ambos contaminantes Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli*, son *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes* y *Canna spp*. Las tres especies macrófitos pertenecen a tres familias diferente: *Lemnaceae*, *Pontederiaceae*, y *Cannaceae*. Siendo todas de la clase *Liliopsidas* y división *Magnoliophytas*.

De igual forma, la caracterización no debe caracterizarse a solo tener datos taxonómicos, por consiguiente, se incluyen los rangos de pH y Temperatura aceptados por las tres especies.

Tabla 1

<i>Especie, Nombre común, pH, y Temperatura</i>			
Especie	Nombre Común	pH	Temperatura
<i>Lemna minor</i>	Lenteja de agua	5,5 a 9	15 y 25 °C
<i>Eichhornia crassipes</i>	Jacinto de agua	6.8 a 7.5	15 – 17 °C
<i>Canna indica</i>	Achira	4,5 a 8	14 – 32 °C

Nota. Se describe en la tabla los rangos de pH y Temperatura aceptados por las tres especies *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes* y *Canna indica*.

3.1.1. Experimentación con *Lemna minor*

3.1.1.1. Concentración Inicial de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Para un total de 24 experimentaciones extraídas observamos que los mayores valores de concentración inicial, es decir de aguas residuales domésticas sin tratamiento las cuales han sido obtenidas por los propios autores, son para la experimentación 10 y 11 con 645 mg/L para ambas experimentaciones del autor Enriquez (2019) y 459,06 mg/L para el autor Silupu en la experimentación 17. La experimentación de menor valor registrada fue de 64,78 mg/L, elaboradas experimentalmente por el autor García (2013).

3.1.1.2. Concentración final de Demanda Bioquímica de Oxígeno

De igual forma con 24 experimentaciones para hallar la Concentración final de Demanda Bioquímica de oxígeno observamos los mayores valores presentes para el autor Silupu (2022) en la experimentación 15, 16 y 17 con valores de 292,8 mg/L, 307,44 mg/L y 278,16 mg/L respectivamente y el menor valor registrado en la experimentación 23 del autor García con 2,15 mg/L, estos procesos se realizaron con *Lemna minor*.

3.1.1.3. Porcentaje de Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Se determina que los mayores porcentajes de remoción se realizó por Enriquez (2019) con un valor de 98,18% y García con un valor de 96,68% y el menor porcentaje de remoción se encuentra en la experimentación 6 realizado por Chuquibala y

Sánchez (2017) con un valor de 17,96% seguido de un valor de 23,24% de la segunda experimentación de Silupu.

3.1.1.4. Análisis Estadístico de resultados de *Lemna minor* de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Se procede a hallar los porcentajes de las 24 experimentaciones realizadas por diversos autores de las cuales 11 valores son los excluidos por presentar un valor menor al 60% de remoción. Los procesos de experimentación con el macrófito *Lemna minor* presentan diferentes inconvenientes en su proceso; como la cantidad de espécimen para el proceso de fitorremediación, a mayor cantidad de *Lemna minor* mayor remoción, sin embargo, hay una relación inversa con respecto al tiempo a mayor tiempo menor remoción de DBO₅ esto debido que al pasar los días la Lenteja de agua (*Lemna minor*) empieza a degradarse y genera carga de DBO₅ en el agua residual.

El análisis estadístico de los 13 resultados elegidos y analizados se puede determinar que el valor mínimo conseguido es de 64,86%, mientras que el máximo alcanzado es de 98,18%. No obstante, el promedio de los porcentajes de remoción estudiados en la investigación es de 79,93%, con una desviación estándar de 11,59%.

3.1.1.5. Concentración Inicial de *Escherichia coli*

La mayor concentración de inicial (afluente) *Escherichia coli* corresponde a la experimentación 5, realizada por León et al. (2022) en la cual se identifica 150000000 NMP/100 ml, por otro lado, el análisis presento un valor menos con León y Lucero (2009) 3900000 NMP/100 ml.

3.1.1.6. Concentración Final de *Escherichia coli*

La mayor concentración de *Escherichia coli* corresponde a la experimentación 3, realizada por Coronel (2016) con un valor de 5170000 NMP/100 ml, por otro lado el análisis presento un valor menos con León et al. (2022) 1800 NMP/100 ml.

3.1.1.7. Porcentaje de remoción de *Escherichia coli*

Se determina mayor porcentaje de remoción de *Escherichia coli* en la experimentación 5, realizada por León et al. (2022), logrando una degradación de 99,99% del fármaco, por otro lado, el menor porcentaje de remoción obtenido fue en la experimentación 4, realizada por León y Lucero (2009), obteniendo una degradación de 75,38% del contaminante emergente tratado con *Lemna minor*.

3.1.1.8. Análisis Estadístico de resultados de *Lemna minor* de *Escherichia coli*

Luego de la obtención de los porcentajes se puede observar que la mayoría de los resultados superan el 90% sin embargo la experimentación 5 es la excepción de igual forma a pesar de tener gran porcentaje de remoción no se llegó al Estándar de Calidad Ambiental.

En el análisis de los porcentajes de remoción obtenidos, se observa que el valor mínimo alcanzado es del 75,38%, mientras que el valor máximo obtenido es del 99,99%. Por otro lado, el promedio de los porcentajes de remoción estudiados en la investigación es del 93,92%, con una desviación estándar de 10,61%. Además, se determinó que la mediana de los datos es del 99,66%.

3.1.2. Experimentación con *Eichhornia crassipes*

3.1.2.1. Concentración Inicial de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Luego de analizar 21 experimentaciones se puede observar que el mayor valor lo tienen los autores Bernabé & Medina (2019) en la experimentación 17 con un valor de 2053 mg/L y el valor mínimo en la experimentación 16 de Carhua & Huancas (2020) con un valor de 42,5 mg/L.

3.1.2.2. Concentración Final de Demanda Bioquímica de Oxígeno

De las 21 experimentaciones se presentaron nuevamente en mayor valor la experimentación 17 de Bernabé & Medina (2019) con un valor de 1262 mg/L y a diferencia en el valor mínimo es la experimentación 7 de Cáceres, Calisaya & Bedoya (2021) con un valor de 3 mg/L.

3.1.2.3. Porcentaje de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Gracias al análisis de las experimentaciones donde se evaluó la eficiencia de remoción en porcentaje obteniendo como resultado de mayor valor la experimentación 8 de Abbas et al. (2006) con un valor de 98,69% mg/L y el valor mínimo es la experimentación 17 de Bernabé & Medina (2019) con un valor de 38,53% mg/L si recordamos esta fue la experimentación con valor inicial mayor es decir la especie no soporto la carga.

3.1.2.4. Análisis Estadístico de resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Después de ver los resultados se procede a eliminar 6 valores los cuales son de un porcentaje menor a 60% para luego realizar cálculos estadísticos de Excel y después de eso nos dio un promedio es de 90,07%, mediana de 86,94%, desviación estándar de 5,72%, con valor mínimo de 83,30% y valor máximo 98,69%.

3.1.2.5. Concentración Inicial de *Escherichia coli*

Se analizan los diversos valores de las 10 experimentaciones de *Escherichia coli* teniendo como mayor valor 35700000 NMP/100ml para la investigación de los autores Fuentes & Vizcaíno (2016) y el menor valor con 4440000 NMP/100ml para la investigación de los autores León & Lucero (2009).

3.1.2.6. Concentración Final de *Escherichia coli*

Se observa los diversos valores de *Escherichia coli* teniendo como mayor valor 32670000 NMP/100ml para la investigación de los autores Fuentes & Vizcaíno (2016) y el menor valor con 310 NMP/100ml para la investigación de los autores Arauja & Lucana (2019).

3.1.2.7. Porcentaje de remoción de *Escherichia coli*

Gracias a la literatura científica, se han calculado porcentajes de remoción variables para *Escherichia coli* utilizando *Eichhornia crassipes* de diferentes autores.

Podemos observar que la mayoría tienen gran cantidad de remoción siendo las de mayor remoción las experimentaciones 8, 9 y 10 de los autores Arauja & Lucana con valores de 99,99% y el menor valor de los autores León & Lucero siendo el menor 71,17%.

3.1.2.8. Análisis Estadístico de resultados de *Escherichia coli*

Después de un análisis de las investigaciones y realizar los cálculos básicos en Excel nos muestran los siguientes resultados para promedio con un valor de 94,94%, mediana con un valor de 99,79%, desviación estándar con un valor de 9,54%, valor mínimo con un valor de 71,17% y valor máximo con un valor de 99,99%.

3.1.3. Experimentación con *Canna spp*

3.1.3.1. Concentración Inicial de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Se presentarán los datos recopilados por diferentes autores y relacionados con las especies de *Canna spp*. El objetivo principal es analizar las concentraciones iniciales de Demanda Bioquímica de Oxígeno en muestras de aguas residuales domésticas, estos resultados serán expresados de manera cuantitativa. Adicionalmente, se ha incorporado las pruebas técnicas realizadas por la autora Ramirez Katherine, con el fin de evaluar un humedal a nivel laboratorio con la especie *Canna hybrids* estas son la pruebas técnicas (P.Téc) 13 y 14.

Podemos observar que los autores obtuvieron los valores más altos de concentración inicial de aguas residuales domésticas sin tratar en las pruebas técnicas 13 y 14, ambos con una concentración de 932 mg/L estas pruebas fueron realizadas por la autora de la tesis, Ramirez (2023). Por otro lado, el autor Galeano & Albornoz (2019) llevó a cabo la experimentación número 9, que registró el valor más bajo de concentración inicial con 44,5 mg/L, tras realizar el correspondiente proceso experimental.

3.1.3.2. Concentración final de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Se observaron los mayores valores presentes en la Concentración Final de Demanda Bioquímica de Oxígeno siendo esta para el autor Santa Cruz & Tantaleán (2020) en la experimentación 11 con un valor de 147 mg/L y el menor valor registrado en la experimentación 9 del autor Galeano & Albornoz (2019) con 4,4 mg/L, estos procesos se realizaron con *Canna spp*.

3.1.3.3. Porcentaje de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Tras analizar los resultados de las investigaciones, se puede apreciar que la mayoría de ellas muestran una alta eficiencia en la remoción de contaminantes. Específicamente, la prueba técnica 14 realizada por Ramirez la autora de la tesis, obtuvo el valor más alto de remoción, alcanzando un impresionante 95,92%. Por otro lado, el autor Romero & Tanaí (2023) registró el valor más bajo de remoción, con un modesto 59,47%.

3.1.3.4. Análisis Estadístico de resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno

En resumen, los análisis realizados y los cálculos en Excel revelan que, en promedio, se obtuvo un rendimiento sólido de remoción del 85.87%. La mediana se estableció en un valor de 90.11%, lo que indica una concentración de datos cercanos a este punto central. Aunque se observó una moderada

variabilidad en los resultados con una desviación estándar del 8.97%, se registraron valores mínimos de remoción de contaminantes del 68.42% y valores máximos destacados del 95.92%.

3.1.3.5. Concentración Inicial de *Escherichia coli*

Los valores mencionados corresponden a las concentraciones iniciales de *Escherichia coli* antes de someterse al tratamiento con el macrófito *Canna spp*. Estos valores fueron recopilados a partir de experimentos realizados por diferentes autores, mientras que los valores 5 y 6 fueron obtenidos por la autora Ramirez a través de una prueba técnica en la cual se implementó un humedal a pequeña escala. Se obtuvo como mayor valor 40000000 NMP/100ml para la investigación de los autores Ramirez (2023) y el menor valor con 480000 NMP/100ml para la investigación de los autores Galeano & Albornoz (2019).

3.1.3.6. Concentración Final de *Escherichia coli*

Se obtuvo diversos valores de *Escherichia coli* teniendo como mayor valor 6800 NMP/100ml para la investigación de los autores Romero & Tanaí (2023) y el menor valor con <1 NMP/100ml para la investigación de los autores Galeano & Albornoz (2019).

3.1.3.7. Porcentaje de remoción de *Escherichia coli*

Tras analizar los resultados de las investigaciones, se puede apreciar que la mayoría de ellas muestran una alta eficiencia en la remoción de *Escherichia coli*. Específicamente, las pruebas técnicas 4, 5 y 6 realizadas por Galeano & Albornoz (2019) y Ramirez la autora de la tesis, obtuvieron el valor más alto de remoción, alcanzando un impresionante 99,99%. Por otro lado, el autor Romero & Tanaí (2023) registró el valor más bajo de remoción, con un modesto 98,62%.

3.1.3.8. Análisis Estadístico de resultados de *Escherichia coli*

En resumen, los cálculos en Excel revelan que, para promedio se obtuvo un rendimiento de remoción del 99,33%. La mediana se estableció en un valor de 99,36%. Se observó una desviación estándar del 0,74%, se registraron valores mínimos de remoción de contaminantes del 98,62% y valores máximos destacados del 99.99%.

3.2. Nivel potencial de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli* mediante especies macrófitos *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes* y *Canna spp*.

3.2.1. Análisis de Porcentaje de Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno por especies.

Una vez obtenido las capacidades técnicas se procedió a determinar la remoción de las 3 especies para lograr esto se elabora una tabla donde podemos observar el total de experimentaciones obtenidas de la revisión sistemática de literatura científica, esto se realiza para cada especie y en este caso solo con los valores porcentuales de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Tabla 2
Porcentaje de remoción general de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Experimentación	<i>Lemna Minor</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Canna spp.</i>
Exp. 1	52.63%	61.11	59.47
Exp. 2	85.83%	86.94	76.32
Exp. 3	74.90%	51.28	68.42
Exp. 4	31.96%	62.76	95.71
Exp. 5	44.10%	98.12	92.03
Exp. 6	17.96%	95.73	92.38
Exp. 7	58.36%	98.41	77.19
Exp. 8	69.54%	98.69	90.34
Exp. 9	78.92%	85.98	90.11
Exp. 10	98.18%	90.38	87.59
Exp. 11	95.73%	50.19	77.03
Exp. 12	56.99%	83.30	79.69
Exp. 13	53.57%	86.82	93.56
Exp. 14	50.94%	84.73	95.92
Exp. 15	30.55%	84.33	
Exp. 16	23.24%	62.35	
Exp. 17	39.41%	38.53	
Exp. 18	64.86%	95.55	
Exp. 19	76.92%	84.53	
Exp. 20	76.60%	86.72	
Exp. 21	68.29%	90.88	
Exp. 22	85.53%		
Exp. 23	96.68%		
Exp. 24	67.11%		

Nota. La siguiente tabla muestra todos los valores porcentuales de remoción mediante las 3 especies *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes* y *Canna spp*

La tabla N°2 nos muestra comparativamente los porcentajes de todas las experimentaciones realizadas por especie y se observa los valores en negrita los cuales no fueron considerados para el análisis estadístico.

Tabla 3
Análisis estadístico de remoción general de Demanda Bioquímica de Oxígeno

	Promedio	Mediana	Desviación Estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
<i>Lemna Minor</i>	79,93%	76,92%	11,59%	64,86%	98,18%
<i>Eichhornia crassipes</i>	90,07%	86,94%	5,72%	83,30%	98,69%
<i>Canna spp.</i>	85,87%	90,11%	8,97%	68,17%	95,92%

Nota. El presente cuadro nos muestra Promedio, Mediana, Desviación Estándar, Valor Mínimo y Valor Máximo.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis estadístico de los datos de remoción utilizando diferentes especies de plantas acuáticas, se destaca que *Eichhornia crassipes* muestra el mayor promedio de remoción con un valor de 90,07%, evidenciando su eficacia en la eliminación de los contaminantes estudiados. Por otro lado, se encontró que *Lemna minor* presenta el menor promedio de remoción con un valor de 79,93%.

Así mismo, la especie *Canna spp* nos presentó un valor promedio intermedio de 85,87% lo que indica que esta especie tuvo una buena efectividad en la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno a pesar de ser una especie con la que recién se está experimentando y probando las mejores técnicas de aplicación.

3.2.2. Análisis de Porcentaje de Remoción de *Escherichia coli* por especies.

Después de adquirir las capacidades técnicas necesarias, se llevó a cabo un análisis para determinar la eficacia de remoción de las tres especies. Este análisis incluyó la creación de una tabla que muestra el recuento total de experimentos obtenidos a partir de una revisión sistemática de la literatura científica. En este caso, la tabla se enfoca únicamente en los valores porcentuales de remoción de *Escherichia coli* para cada especie.

Tabla 4
Porcentaje de remoción general de *Escherichia coli*

Experimentación	<i>Lemna Minor</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Canna spp.</i>
Exp. 1	99,66%	85,60%	98,63%
Exp. 2	99,95%	94,10%	98,72%
Exp. 3	94,60%	99,00%	98,62%
Exp. 4	75,38%	71,17%	99,99%
Exp. 5	99,99%	99,92%	99,99%
Exp. 6		99,67%	99,99%
Exp. 7		99,96%	
Exp. 8		99,99%	
Exp. 9		99,99%	
Exp. 10		99,99%	

Nota. La siguiente tabla muestra todos los valores porcentuales de remoción mediante las 3 especies *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes* y *Canna spp*

Tabla 5
Análisis estadístico de remoción general de *Escherichia coli*

	Promedio	Mediana	Desviación Estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
<i>Lemna Minor</i>	93,92%	99,66%	10,61%	75,38%	99,99%
<i>Eichhornia crassipes</i>	94,94%	99,79%	9,54%	71,17%	99,99%
<i>Canna spp.</i>	99,33%	99,36%	0,74%	98,62%	99,99%

Nota. El presente cuadro nos muestra Promedio, Mediana, Desviación Estándar, Valor Mínimo y Valor Máximo.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis estadístico de los datos de remoción utilizando diferentes especies de plantas acuáticas, se destaca que *Canna spp.* muestra el mayor promedio de remoción con un valor de 99,33%, evidenciando su eficacia en la eliminación de los contaminantes estudiados. Por otro lado, se encontró que *Lemna minor* presenta el menor promedio de remoción con un valor de 93,92%, lo que indica que esta especie tuvo una menor efectividad en la remoción de los contaminantes evaluados.

Hay que considerar que dentro del valor promedio mayor que es de la especie *Canna spp.* con un valor de 99,33% se encuentra las pruebas técnicas de la autora de la tesis Ramirez la cual obtuvo valores de remoción de 99,99% en ambas pruebas técnicas mediante la aplicación de la *Canna spp* en un humedal artificial a pequeña escala.

3.3. Propuesta de diseño de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

El área propuesta para la implementación de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas sería el distrito Alberto Leveau, Provincia de San Martín, Región San Martín, país de Perú, el cual cuenta con una superficie de 268,4 km². Según INEI (2022), nos menciona que el distrito Alberto Leveau cuenta con una población de 927 habitantes entre niños, adultos y ancianos, esto en su Boletín N°27: Proyecciones de Población Total según Departamento, Provincia y Distrito, 2018 – 2022.

Por lo tanto, se da la propuesta de un sistema de humedales artificiales esto debido a que el distrito Alberto Leveau no cuenta con un sistema de agua potable y alcantarillado lo cual genera descargas de aguas residuales sin tratamiento previo que son dirigidas directamente hacia el Río Cumbaza.

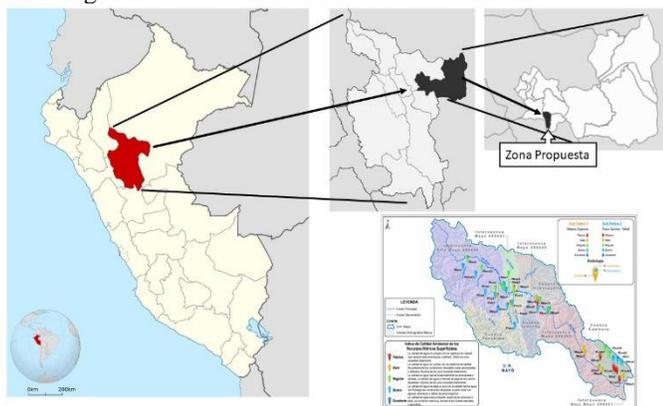


Figura 1. Ubicación del área propuesta para implementación

Por lo tanto, se procedió a realizar un diseño de un humedal para que sea implementado, teniendo como base el Método de Diseño de Reed (1995) como primer paso es hallar la:

a) Velocidad de reacción de primer orden

$$K_T = K_{20} * \theta^{(T-20)}$$

KT: Constante de velocidad de reacción de primer orden, dependiente de la temperatura. (d-1)

K20: Constante de reacción de primer orden a 20°C, (d-1)

θ: Coeficiente de temperatura, adimensional

T: Temperatura del agua, °C (se suele emplear la temperatura media del mes más frío)

Para el valor de temperatura se trabajó con los datos del autor Vallejos en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental en el año 2018, se procedió a sacar un promedio de la media de la Temperatura Máxima y Mínima del año 2000 al 2016, obteniendo un valor de 26.94%

Con los datos obtenidos se realizó el cálculo de la constante de velocidad de reacción de primer orden, dependiente de la temperatura.

Tabla 6
Resultado del KT

K ₂₀	θ	T	K _T
1.104	1.06	26.94	1.654*

(*): La operación realizada se puede observar en el Anexo 4

b) Área superficial del humedal

$$A_S = \frac{Q * (\ln C_o - \ln C_e)}{K_T * n * h}$$

As: Área superficial del humedal (m²)

Q: Caudal promedio (m³/día)

Co: Concentración de la DBO en el afluente (a la entrada del humedal) (ppm)

Ce: Concentración de la DBO en el efluente (a la salida del humedal) (ppm)

Kt: Constante de primer orden (velocidad de reacción) dependiente de la temperatura (1/día)

n: porosidad del material que forma el sustrato (fracción decimal).

h: profundidad del sustrato (m).

Tabla 7
Resultado del área superficial del humedal

Q	Co	Ce	K _T	n	h	As
92.7 m ³ /d**	932 ppm	100 ppm	1.654 d ⁻¹	0.45m	0.8m	347.51m ² ****

(**): La operación realizada se puede observar en el Anexo 5

(****): La operación realizada se puede observar en el Anexo 6

c) Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{A_S * h * n}{Q}$$

TRH: Tiempo de retención hidráulica (días)

Tabla 8
Resultado de tiempo de retención hidráulica

Q	n	h	As	TRH
92.7 m ³ /d	0.45m	0.8 m	347.51m ²	1.349 día = 32 horas*****

(*****): La operación realizada se puede observar en el Anexo 7

d) Dimensiones del humedal

Se opta por trabajar dándole una relación de 1/3 ancho y largo con el fin de que el humedal sea de manera más

Finalmente, los valores y cálculos se encuentran en el Anexo 8

d.1) Ancho del humedal (m)

$$L = \frac{A_S}{W}$$

$$As = LW = 347.51m^2$$

$$\frac{L}{W} = \frac{3}{1}$$

$$1L = 3W$$

$$3W * W = 347.51m^2$$

$$3W^2 = 347.51m^2$$

$$W^2 = \frac{347.51m^2}{3}$$

$$\sqrt{W^2} = \sqrt{\frac{347.51m^2}{3}}$$

$$W = 10.763m$$

d.2) Largo del humedal (m)

$$L = \frac{As}{W}$$

$$As = L * W$$

$$347.51m^2 = L * W$$

$$L = 3 * 10.763m$$

$$L = 32.289m$$

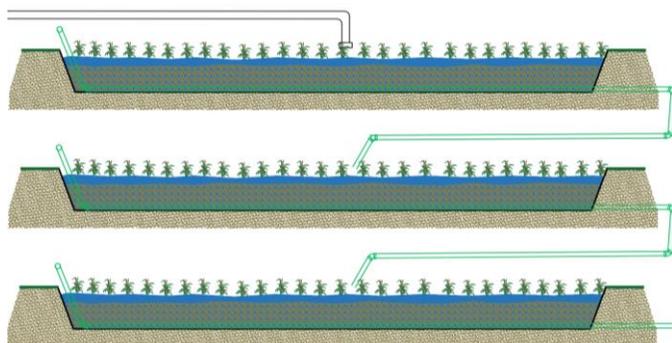


Figura 2. Gráfico de propuesta de humedal

Con respecto al diseño de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas que cumpla con el mejoramiento de la calidad de las aguas. Con el fin de cumplir con la hipótesis se efectuaron todos los pasos del Método de Reed (1995) luego de los cálculos y analizar los resultados se proponen humedales sucesivos para una buena extracción y reducción de tiempo.

3.4. Eficiencia técnica para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli* aplicando humedal artificial.

3.4.1. Análisis de porcentaje de remoción de Demanda Química de Oxígeno y *Escherichia coli*

En la table 9 presentada, se puede observar que la técnica de fitorremediación por humedal artificial logra una remoción sustancialmente alta de la concentración inicial de Demanda Bioquímica de Oxígeno en las muestras de agua residual, obteniendo incluso una remoción mayor promedio de 90.07% con *Eichhornia crassipes*.

De igual manera, en el caso de *Escherichia coli*, se realizaron experimentos que igualmente demostraron la eficiencia de la técnica de fitorremediación en la eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales, alcanzando una remoción mayor promedio de 99.33% con la especie *Canna spp.*

Tabla 9

Análisis estadístico de la Demanda Química de Oxígeno y *Escherichia coli*

	Promedio	Mediana	Desviación Estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	
DBO ₅	Lemna Minor	79,93%	76,92%	11,59%	64,86%	98,18%
	Eichhornia crassipes	90,07%	86,94%	5,72%	83,3%	98,69%
	Canna spp.	85,87%	90,11%	8,97%	68,42%	95,92%
<i>E. coli</i>	Lemna Minor	93,92%	99,66%	10,61%	75,38%	99,99%
	Eichhornia crassipes	94,94%	99,79%	9,54%	71,17%	99,99%
	Canna spp.	99,33%	99,36%	0,74%	98,62%	99,99%

Nota. En la tabla se muestra una comparativa entre Demanda Química de Oxígeno y *Escherichia coli* luego de la aplicación de la técnica de fitorremediación.

3.4.2. Análisis de macrófito para propuesta de humedal

Para la propuesta del humedal se analiza los macrófitos para elegir la de mayor remoción, así como considerar las condiciones de pH y temperatura, al consultar la Tabla N°1 se obtiene información relevante al respecto. Según los datos de la tabla, parece que la especie de macrófito con los mejores valores de remoción en el distrito de Alberto Leveau es la *Canna spp* por su capacidad de adaptarse y tener un gran rango de soporte de pH 4,5 a 8 y temperatura de 14 – 32 ° C.

Adicionalmente, la *Canna spp* ha tenido un valor de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno promedio de 85,87% sin embargo, en la prueba técnica realizada por la autora dio resultado de 95,92%.

Además, para *Escherichia coli* tenemos un promedio de 99,33% siendo esta especie con el mayor promedio de remoción y la prueba técnica de la autora de la tesis tiene un valor de 99,99% en un tratamiento de humedal a pequeña escala.

IV. DISCUSIÓN

En esta sección del estudio, se realiza una exploración exhaustiva de los datos recopilados, los cuales provienen de diferentes tratamientos implementados para abordar la fitorremediación de Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli*. Estos tratamientos incluyeron el uso de humedales artificiales, biofiltros y otras técnicas similares. El análisis realizado tiene como objetivo principal evaluar las

capacidades de purificación de las tres especies macrófitos estudiadas, y así determinar su potencial en la remoción de estos contaminantes.

Los resultados de las diferentes investigaciones acerca de la técnica de fitorremediación mediante humedal artificial, presentan datos tales como la concentración inicial, la concentración final y el porcentaje de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli* alcanzado, luego de la aplicación de la técnica en la muestra de agua residual, no obstante, con el fin de evitar variaciones en las pruebas estadísticas realizadas, se emplearon tanto, los datos de entrada de las experimentaciones, como también los datos de salida y el porcentaje de remoción por autor.

Es así como, para la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno se encontró la mejor remoción en la investigación de Enriquez I. (2019), a través de 2 humedales artificiales de flujo superficial horizontal, implantando tratamiento un humedal de cada especie *E. crassipes* y *L. minor*, se realizó monitoreo del agua se dio en 3 periodos cada 7 días. Los resultados que se obtuvieron en la prueba control del agua residual un DBO de 625 mg/l. En el monitoreo a los 7 días de su aplicación, evidenciando un gran cambio. Con la *Eichhornia crassipes* hubo remoción de un 98% en DBO. Frente a la exposición, algunos ejemplares de *Lemna minor* presentaron necrosis debido a la carga de Demanda Bioquímica de Oxígeno en la primera semana con 11,72 mg/l; sin embargo, *E. crassipes* demostró resistencia, pero a la segunda semana aumento sus valores. De igual forma con *Lemna minor* en la segunda semana el valor subió a 659mg/L superando el valor de la prueba control.

Las investigaciones seleccionadas para *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de *Escherichia coli* en tratamiento de aguas residuales domésticas, una de la investigación es de León y Lucero (2010) en Ecuador con el fin de tratar agua residual domestica de sistemas unifamiliares y comunitarios en sectores rurales. La técnica fue realizar intervalos de muestreos cada 8 días con frecuencia de 3 repeticiones. En este caso, fue *Eichhornia crassipes* con niveles de hasta el 98%; para los parámetros microbiológicos *Escherichia coli* y Coliformes totales el mejor tratamiento fue *Lemna gibba* que removió entre el 96% y 98,5%.

Con respecto a la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli* con la especie *Canna indica* la investigación a cargo de los autores Romero y Tanaí (2023) en Ecuador con el fin de evaluar la eficiencia de remoción de parámetros físicos, químicos y microbiológicos (DBO5, SST y *E. coli*) de agua residual doméstica en dos tiempos de retención hidráulico de 7 y 15 días. La técnica realizada fue la de un humedal artificial de tipo subsuperficial mediante periodos de tiempos. En este caso, obteniendo una mayor remoción en un tiempo de retención hidráulico de 15 días en ambos contaminantes, la Demanda Bioquímica de Oxígeno nos da un valor de 76,32% y en el contaminante *Escherichia coli* se observa valor de remoción de 98,72%

V. CONCLUSIONES

Los humedales artificiales, diseñados y construidos por los autores de cada investigación, mayoritariamente demostraron ser eficaces en la eliminación de contaminantes y patógenos presentes en las aguas residuales domésticas. Se trabajo con los datos de Concentraciones iniciales (afluente) y Concentraciones finales (efluentes) y en base a estos datos se halló el valor porcentual de remoción de contaminantes, eligiendo los de más alto valor de remoción con un valor mínimo del 60% de remoción de contaminantes.

La presente investigación sostuvo su objetivo principal el de 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 aplicación de la metodología de fitorremediación en humedales artificiales a pequeña escala se presenta como un enfoque altamente efectivo y confiable para abordar la descontaminación del agua residual con una alta carga de contaminantes. Los macrófitos evaluados son *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes* y *Canna hybrida*, las dos primeras especies son ampliamente utilizadas en diversos estudios, la *Canna hybrida* es una nueva especie en función de cumplir con otras expectativas como implementarla en un hogar de manera ornamental, que cumplan con ciertas condiciones de procesos de depuración natural, abaratando costos y maximizando el diseño de sistemas de tratamiento.

Luego del análisis detallado de resultados podemos concluir específicamente para cada objetivo planteado, de esta forma se establece lo siguiente.

Conclusión específica 01:

Se concluye que los humedales artificiales brindan reducción de concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli* presentando una buena capacitación de remoción de aguas residuales domésticas.

Asimismo, los humedales artificiales, diseñados y construidos por los autores de cada investigación, demostraron ser eficaces en la reducción de Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli* presentes en las aguas residuales domésticas. Se trabajo con los datos de Concentraciones iniciales (afluente) y Concentraciones finales (efluentes) y en base a estos datos se halló el valor porcentual de remoción de contaminantes mediante de la fórmula de Romero (1999) Eficiencia de remoción (%) = $((C_{inicial} - C_{final}) / C_{inicial}) * 100$, luego de los cálculos se eligió los de más alto valor de remoción, estas deben cumplieron con un valor mínimo del 60% de remoción de contaminantes esto aplica para las 3 especies *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes* y *Canna spp.*

Conclusión Específica 02:

Se determino el nivel potencial de remoción de las especies macrófitos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la reducción de Demanda Bioquímica de Oxígeno y *Escherichia coli* mediante humedales artificiales. Con el fin de cumplir el objetivo lleva a cabo una comparativa entre los valores obtenidos en la prueba técnica con la normativa ambiental, en este caso para la Demanda Bioquímica

de Oxígeno se utilizó el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM que aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales; así mismo, de manera referencial para el caso de *Escherichia coli* se empleó la Categoría 3 – Riego de vegetales y bebida de animales del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM que aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.

Para la especie *Lemna minor*, el análisis estadístico nos dio como valor de remoción promedio para Demanda Bioquímica de Oxígeno 79.93% y para *Escherichia coli* 93.92% de remoción. Para la especie *Eichhornia crassipes*, con los datos se analizó estadísticamente presentando un valor de remoción promedio para Demanda Bioquímica de Oxígeno 90.07% y para *Escherichia coli* 94.94% de remoción. Para la especie *Canna hybrida*, con los valores reportados se analizó estadísticamente presentando un valor de remoción promedio para Demanda Bioquímica de Oxígeno 85.87% y para *Escherichia coli* 99.33% de remoción. Por consiguiente, teniendo en cuenta los datos de las especies y sus porcentajes de remoción se elige la especie *Canna hybrida*.

Conclusión Específica 03:

Con respecto al diseño de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas cumple con el mejoramiento de la calidad de las aguas. Con el fin de cumplir con la hipótesis se efectuaron todos los pasos del Método de Reed (1995) considerando para datos de caudal, temperatura, porosidad, conductividad, etc. información verificada por INEI y estudios previos validados en repositorios. Se cumple con los pasos para luego establecer según la concentración inicial del afluente y concentraciones finales de Demanda Bioquímica de Oxígeno según método, por lo tanto, luego de los cálculos y obtener los resultados se analiza la viabilidad y se proponen humedales sucesivos para una buena extracción y reducción de tiempo.

Conclusión general:

Analizando todas las investigaciones y artículos científicos, si bien existe variabilidad en los resultados y en los métodos de medición utilizados, el análisis exhaustivo y profundo realizado en este estudio permite concluir que los humedales artificiales implantados con especies macrófitos tienen el potencial de contribuir a la remoción de contaminantes. Sin embargo, se requiere un enfoque cuidadoso y considerar múltiples factores para maximizar su eficiencia y lograr resultados consistentes.

Luego de la evaluación de cada especie y cumplir con objetivos específicos planeados se concluye que la *Canna hybrida* aplicada a un Humedal artificial ofrece la ventaja adicional de ser un tratamiento de bajo costo en comparación con otros métodos convencionales. La construcción y operación de estos sistemas son relativamente económicas, lo que los hace accesibles para comunidades o áreas con recursos limitados. Además, al imitar los procesos naturales, se requiere poca o

ninguna energía externa para su funcionamiento, lo que reduce aún más los costos de mantenimiento.

Finalmente, los humedales artificiales también ofrecen beneficios adicionales para el entorno, actúan como hábitats naturales para la fauna y la flora, fomentando la biodiversidad y la conservación de especies locales. Además, al ser la *Canna hybrida* una especie con florescencia no solo contribuye de manera de hábitat y/u ornamental, también puede generarse ganancias al utilizar las flores para venta.

VI. REFERENCIAS

- [1] 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
- [2] Belzona. (2016). Tratamiento de aguas residuales. Recuperado de: https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf
- [3] CABI. 2016. *Canna indica*. In: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. Consultado en agosto 2016 en <http://www.cabi.org/isc/datasheet/14575>
- [4] 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>
- [5] 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/sistema_mas_de_saneamiento_ambiental.pdf
- [6] Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente (CIEMA). (2005). Tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Proyecto ASTEC SUCHER & HOLZER.
- [7] Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). Tratamiento aguas residuales: En pequeñas poblaciones.
- [8] 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
- [9] 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
- [10] 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>
- [11] 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://repositorio.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1790/jiemen_ez_andres_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [12] KERLINGER, F.N., (1975). Investigación del comportamiento: técnicas y metodología. México, D.F.: Nueva Editorial Interamericana.
- [13] 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>
- [14] 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
- [15]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
- [16]MELLISHO, M. (1999). Evaluación de la capacidad depuradora de tres macrofitas. Lima. Perú.: Tesis. UNALM.
- [17]Metcalf-Eddy; "Tratamiento y depuración de las aguas residuales". Editorial labor. S.A., 1991.
- [18]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.
- [19]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)
- [20]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>
- [21]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>
- [22]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>
- [23]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>
- [24]PIER (Pacific Island Ecosystems at Risk). (2008). Canna indica. Recuperado de: http://www.hear.org/pier/wra/pacific/canna_indica_htmlwra.htm
- [25]Pino, D. (2018). Determinación de fármacos en agua residual hospitalaria y aplicación del proceso de fotocátalisis heterogénea solar para su degradación. (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Nuevo León, México. <http://eprints.uanl.mx/17074/1/1080252220.pdf>
- [26]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>
- [27]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>
- [28]Raven, Evert, Eichhorn. (1992) Biología de las plantas. Editorial Reverté S.A. España. Tomo I. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=xvNd3udrh1YC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- [29]Reed S., Crites R. & Middlebrooks E. (1995). Natural Systems For Waste Management and Treatment. 2nd Edition. New York: McGraw-Hill. Recuperado de: <http://amac.md/Biblioteca/data/30/14/10/87.2.pdf>
- [30]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>
- [31]Romero Rojas, J. A. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño (Tercera edición ed.). Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado de: https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas
- [32]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
- [33]Sandoval et. al. (2019). Efecto de Canna hybrids en humedales construidos parcialmente saturados para el tratamiento de aguas porcinas. Recuperado de: <https://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/41/46>
- [34]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.
- [35]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/residuaa.pdf>
- [36]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>
- [37]Weeds of Australia (2016). Canna indica. Queensland Government. Recuperado de: http://keyserver.lucidcentral.org/weeds/data/media/Html/canna_indica.htm
- [38]Zhou, J. (2015). Faecal indicator bacteria monitoring in blue-green algae contaminated water. Queen's University. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/1974/13769>