



Received: February 15, 2024 / Accepted: June 01, 2024

Artículo Original

Plantas fitorremediadoras y disminución de la materia orgánica en aguas residuales del camal de Supe: análisis a escala piloto

Phytoremediation plants and organic matter reduction in wastewater from the Supe animal feedlot: pilot scale analysis

J. Padilla-Ramirez¹ , R. Toscano-Justino¹ , J. C. Javier-Haro^{1*}



<https://doi.org/10.51431/par.v6i2.977>

Abstract

Objetivos: Evaluar el efecto de las plantas fitorremediadoras en la disminución de la materia orgánica de las aguas residuales del camal municipal de Supe a escala piloto. **Metodología:** Se evaluó la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO) y se comparó con los valores máximos admisibles (VMA) permitidos por la normativa peruana para aguas residuales. Los tratamientos evaluados fueron T1: *Nasturtium officinale*, T2: *Eichhornia crassipes* y T3: *Thypha latifolia*. Las aguas residuales se recolectaron en el punto de descarga durante el periodo de beneficio, luego se vertieron en envases de plástico de 15 litros, donde se introdujeron las plantas fitorremediadoras durante 14 días. Las muestras se tomaron al inicio y final del tratamiento. El procesamiento de los datos se realizó mediante Análisis de varianza y prueba de Tukey. **Resultados:** *Nasturtium officinale* redujo en 48,1% la DQO y 84% la DBO₅, *Eichhornia crassipes* redujo 64,9% la DQO y 89,2% la DBO₅ y *Thypha latifolia* redujo en 70% la DQO y 89,1% la DBO₅. **Conclusiones:** Las plantas fitorremediadoras *Thypha latifolia*, *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale* sólo son eficientes para reducir los valores de DBO₅ por debajo del VMA de las aguas residuales del camal municipal de Supe.

Palabras clave: aguas residuales, camal, *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes*, *Thypha latifolia*.

Abstract

Objectives: To evaluate the effect of phytoremediation plants on reducing organic matter in wastewater from the Supe municipal wastewater treatment plant at a pilot scale. **Methodology:** The reduction of biological oxygen demand (BOD₅) and chemical oxygen demand (COD) was evaluated and compared with the maximum allowable values (MAV) allowed by Peruvian regulations for wastewater. The treatments evaluated were T1: *Nasturtium officinale*, T2: *Eichhornia crassipes* and T3: *Thypha latifolia*. Wastewater was collected at the discharge point during the processing period, and then poured into 15-liter plastic containers, where the phytoremediation plants were introduced for 14 days. Samples were taken at the beginning and end of the treatment. Data processing was performed using variance analysis and Tukey's test. **Results:** *Nasturtium officinale* reduced COD by 48.1% and BOD₅ by 84%, *Eichhornia crassipes* reduced COD by 64.9% and BOD₅ by 89.2%, and *Thypha latifolia* reduced COD by 70% and BOD₅ by 89.1%. **Conclusions:** The phytoremediation plants *Thypha latifolia*, *Eichhornia crassipes* and *Nasturtium officinale* are only efficient in reducing BOD₅ values below the AMV of wastewater from the Supe municipal slaughterhouse.

Key words: organic matter, phytoremediation, wastewater, animal feedlot, AMV.

¹Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho-Perú

*Autor para la correspondencia: Jaeneth Carmen Javier Haro, jaeneth.16.1999@gmail.com

Introducción

El incremento del sacrificio de los animales ha dado lugar a una mayor generación de aguas residuales, las mismas que deben ser tratadas previas a su disposición final. Sin embargo, el camal municipal de Supe no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), a pesar de que este camal produce volúmenes significativos de efluentes, por la gran cantidad de agua que se requieren para mantener la higiene (Salas y Condorhuamán, 2008).

Los principales contaminantes presentes en las aguas residuales del camal municipal de Supe incluyen la sangre, desechos orgánicos, grasas y pelos, entre otros. Actualmente, estas aguas residuales se vierten directamente en un canal de irrigación adyacente a las instalaciones del camal (Dier, 2007). Esta práctica puede tener consecuencias negativas tanto para el medio ambiente como para la salud humana, ya que afecta la calidad del agua del canal de riego, que posteriormente se utiliza para irrigar las áreas de cultivo. Además, representa un foco infeccioso que puede atraer vectores capaces de transmitir patógenos (Berrios y Urquiza, 2020).

Una solución eficiente y ecológica para abordar esta problemática es la fitorremediación, que se presenta como alternativa de tratamiento debido a la capacidad de las plantas para asimilar o retener contaminantes, como resultado de las acciones microbiológicas que ocurren en la zona radicular o en el propio organismo vegetal (Delgadillo, 2010; Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], 1996). Es importante destacar que la efectividad de esta tecnología se fundamenta en la interacción entre las raíces de las plantas, el suelo y los microorganismos, lo que permite descomponer, inmovilizar, transferir y desactivar los contaminantes presentes en el medio ambiente (Mebemba et al., 2019; Delgadillo et al., 2011).

Existen plantas fitorremediadoras como *Nasturtium officinale*, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia*, que tienen la capacidad de

reducir la materia orgánica en las aguas residuales. Este sistema de tratamiento es económicamente accesible y puede generar aguas residuales cuyas características orgánicas se ajustan a los niveles aceptables establecidos en el Decreto Supremo N° 010 – 2019 VIVIENDA (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019), que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. De este modo, se minimiza el impacto negativo en el medio ambiente y se reducen los posibles riesgos para la salud humana. Por lo tanto, el objetivo de la investigación es: Evaluar el uso de plantas fitorremediadoras para la disminución de la materia orgánica en aguas residuales del camal de Supe, mediante un análisis a escala piloto.

Metodología

Ubicación

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Fitorremediación de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, situado en el distrito de Huacho, provincia de Huaura, región Lima Provincias. La toma de muestras de aguas residuales se realizó en el camal municipal de Supe, ubicado en el distrito de Supe, provincia de Barranca, también en la región Lima provincias, durante los meses de octubre noviembre del 2024.

Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres tratamientos y cinco replicaciones por cada tratamiento, haciendo un total de 15 unidades experimentales.

Tratamientos

Se evaluaron los tratamientos de remoción de materia orgánica en las aguas residuales con: *Nasturtium officinale* (T1), *Eichhornia crassipes* (T2) y *Thypha latifolia* (T3). Por fines prácticos se codificó cada tratamiento con las siglas iniciales del nombre de la planta fitorremediadora utilizada como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Tratamientos de fitorremediación utilizados para reducir la materia orgánica de las aguas residuales del camal municipal de Supe

Tratamiento	Código	Especie fitorremediadora	Réplicas	Periodo de retención hidráulica
T1	TNO	<i>Nasturtium officinale</i>	5	14 días
T2	TEC	<i>Eichhornia crassipes</i>	5	
T3	TTL	<i>Thypha latifolia</i>	5	

Variables

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Se relaciona con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Su determinación ayuda a saber la cantidad aproximada de oxígeno que hará falta para estabilizar la materia orgánica, saber si los procesos son eficaces y controlar los vertidos (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2018).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Este parámetro aporta información del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. Normalmente, la DQO debe ser mayor que la DBO ya que hay un mayor número de compuestos susceptibles de ser oxidados por vía química frente a los de vía biológica (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2018).

Recolección de las aguas residuales

Se recolectaron 230 litros de las aguas residuales del camal municipal de Supe directamente del punto de descarga, utilizando envases de plástico rectangulares y baldes. Las muestras fueron tomadas durante todo el periodo de beneficio desde las 8:00 hasta las 13:00 horas, con el fin de obtener una muestra representativa. Cabe señalar que todos los recipientes utilizados para la toma de muestras, fueron previamente lavados con agua destilada para evitar la contaminación cruzada. Además, durante el proceso de recolección se emplearon los equipos de protección personal correspondientes.

Observaciones durante todo el experimento

El experimento tuvo una duración de 14 días, desde el cultivo de la planta hasta la finalización, durante el cual se tomaron datos de pH y temperatura en tres momentos: el día 1, a los 7 días y a los 14 días. Asimismo, se revisaron diariamente las plantas para conocer su estado (vigoroso, marchito o muerto).

Toma de muestra inicial

Para el análisis inicial se tomaron dos muestras compuestas de las aguas residuales recolectadas, es decir de los 230 litros. Se extrajo 1 litro de agua residual en un envase de color blanco para el parámetro DBO5 y 100 ml para el

parámetro DQO. Es importante señalar que el volumen de muestra recolectado en los muestreos fue determinado por las especificaciones del laboratorio (Metcalf y Eddy, 1995).

Toma de muestra final

Para el análisis final, se tomó un total de 30 muestras simples, es decir dos muestras por cada unidad experimental. De estas, 15 muestras fueron destinadas para el análisis del parámetro DBO5, utilizando frascos de 1 litro, y 15 muestras para el parámetro DQO en frascos de 100 ml.

Cálculo del porcentaje de reducción de materia orgánica

El porcentaje de reducción de la materia orgánica, se calculó después del tratamiento de fitorremediación, con los valores finales de DBO5 y DQO, mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\%RMO = \frac{(MOi - MOf)}{MOi} * 100$$

Dónde:

%RMO = Porcentaje de reducción de materia orgánica

MOi = Materia orgánica inicial

MOf = Materia orgánica final

Así mismo, con base a la revisión de la literatura, se establecieron los siguientes niveles de reducción porcentual para ambos parámetros estudiados: alto (68 % -100%), medio (34 % - 67 %) y bajo (0 % - 33 %).

Resultados y discusión

Valores iniciales de DBO5 y DQO

En la Tabla 3 se presentan los resultados de ensayo de laboratorio realizados a las aguas residuales, antes de ser tratadas con cada una de las plantas fitorremediadoras. Además, se incluyen los Valores Máximos Admisibles establecidos por la normativa nacional peruana para aguas residuales que se destinan a las redes de alcantarillado. la muestra inicial está codificada como CMS-01, que corresponde a las iniciales de Camal Municipal de Supe.

Tabla 3

Comparación de los resultados iniciales de DBO₅ y DQO con los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las aguas residuales del camal municipal de Supe antes del tratamiento de fitorremediación.

Código	Parámetro	Valor	VMA	Unidad
CMS – 01	DBO ₅	1466	500	mg/l
	DQO	3069,1	100	mg/l

Se observa que las concentraciones de los parámetros DBO₅ y DQO son elevadas en comparación los VMA establecidos en la normativa. En este sentido, estos resultados podrían indicar que las concentraciones detectadas tienen el potencial de generar impactos negativos en el medio ambiente, las redes de alcantarillado y/o procesos asociados, conforme a lo establecido por la normativa nacional peruana aprobada mediante el Decreto Supremos 010-2019-VIVIENDA (Ministerio de

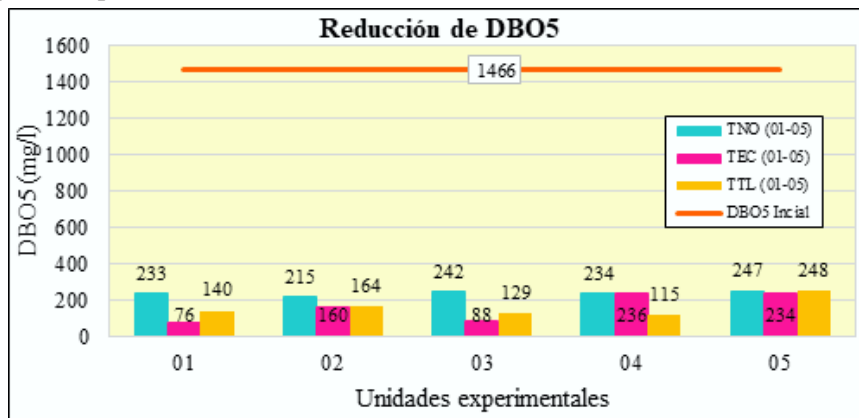
vivienda, construcción y saneamiento, 2019).

Valores finales DBO₅ y DQO

En las Figura 3 y 4 se presentan los resultados de los valores de DBO₅ y DQO de las aguas residuales provenientes de las 15 unidades experimentales, después de los 14 días del periodo de retención hidráulica durante el tratamiento con plantas fitorremediadoras. Se aprecia una reducción significativa de estos valores en comparación a los valores iniciales.

Figura 3

Concentración de la DBO₅ luego del tratamiento con plantas fitorremediadoras de las aguas servidas del camal municipal de Supe

**Figura 4**

Concentración de la DQO luego del tratamiento con plantas fitorremediadoras de las aguas servidas del camal municipal de Supe

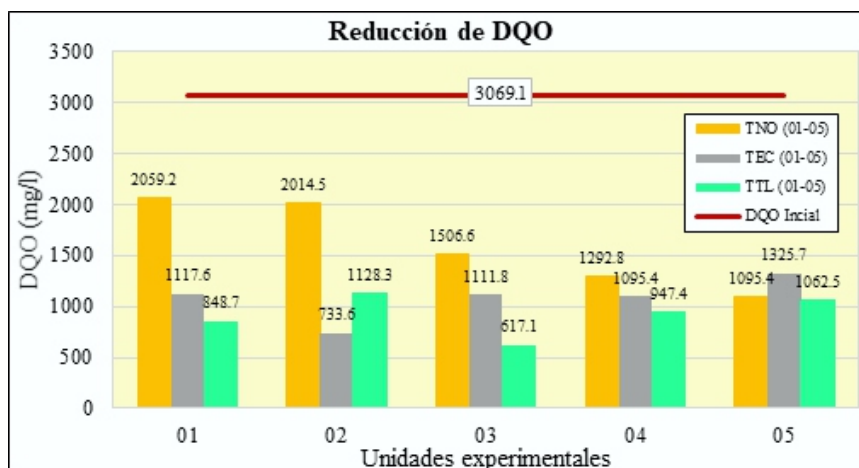


Tabla 4

Porcentaje de reducción de DBO₅ y DQO posterior al tratamiento de fitorremediación de las aguas servidas del camal municipal de Supe

Tratamiento	Promedio de resultados finales (mg/l)		Promedio del porcentaje de reducción (%)	
	DBO ₅	DQO	DBO ₅	DQO
<i>Nasturtium officinale</i> (TNO)	234,2	1593,7	84,0	48,1
<i>Eichhornia crassipes</i> (TEC)	158,8	1076,8	89,2	64,9
<i>Thypha latifolia</i> (TTL)	159,2	920,8	89,1	70,0

Las tres especies fitorremediadoras evaluadas redujeron sólo la DBO₅ por debajo del valor máximo admisible (500 mg/l) permitidos por la normativa peruana, pero no consiguieron reducir la DQO por debajo del VMA (100 mg/l) de los efluentes del camal municipal de Supe (Tabla 4).

Nasturtium officinale, *Eichhornia crassipes* y *Thypha latifolia* redujeron en más del 68% la DBO₅, lo que indica que las tres especies presentan un alto porcentaje de reducción, pero no fueron suficientes para reducir a niveles por debajo del VMA. Con *Nasturtium officinale* se redujo en 84% la DBO, estos resultados son superiores al reportado por Curasma y Sandoval (2019), quienes redujeron en 44,8% la DBO₅ de las aguas residuales en la ciudad de Huancavelica; mientras que Valdivia (2019) redujeron en 30,62% la DBO₅ en aguas residuales en Cajamarca; Con *Thypha latifolia* se redujo en 89,1% la DBO₅; Keerthana y Thivyatharsan, (2018) quienes redujeron en 77,5 % la DBO₅; pero los resultados fueron inferiores al obtenido por Oladejo et al., (2019) quien luego de utilizar *Thypha orientalis* redujo en 99,5% la DBO₅ de los efluentes de un camal en Nigeria.

En el estudio, la especie *Thypha latifolia* presentó un alto porcentaje de reducción, de 70% de la DQO, mientras que las especies *Eichhornia Crassipes* y *Nasturtium officinale* presentaron un porcentaje de reducción medio y bajo, respectivamente. Estos resultados son inferiores a los conseguidos por Keerthana y Thivyatharsan (2018) quienes construyeron humedales con fibra de coco, grava de arena y *Thypha latifolia* y redujeron en 93,3% la DQO; Ramdani et al. (20219) con el uso de *Thypha latifolia* redujo en 85% la DQO en efluentes de canales de pollos; asimismo Mbemba et al (2019) luego de usar tres plantas fitorremediadoras: *Phragmites australis* (Cav) Trin ex Steud, *Typha latifolia* L. y *Cyperus papyrus* L. redujeron en alrededor de 90% la

DQO de aguas industriales. Del mismo modo, con *Thypha orientalis* se redujo entre 83,5% y 99,8% la DQO en las aguas residuales de canales; mientras que Pari y Sullcary (2021) con *Nasturtium officinale* redujo en 42,20% la DQO de efluentes de centros de beneficio en Huancavelica. Estos resultados son superiores a estudios similares realizados con algas marinas, donde la DQO se redujo en 46,39% (Alam et al., 2021).

La mayor eficiencia de las plantas fitorremediadoras radica en su capacidad de transferir oxígeno desde sus partes aéreas hasta las raíces, lo que genera una zona aeróbica en el suelo. Debido a este mecanismo, se logran resultados favorables en pocos días de exposición al agua residual, ya que las plantas no sólo absorben contaminantes, sino que también favorecen la degradación de ciertos compuestos presentes en el agua como, la eliminación de nitrógeno amoniacal, entre otros (Nuñez et al., 2004).

Conclusiones

Las plantas fitorremediadoras *Thypha latifolia*, *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale* sólo son eficientes para reducir los valores de DBO₅ por debajo del VMA, pero no la DQO, en las aguas residuales del camal municipal de Supe.

Referencias

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (1996). *Guía del ciudadano: Medidas fitocorrectivas*. <https://studylib.es/doc/5956079/guia-del-ciudadano--medidas-fitocorrectivas---clu-in>
- Alam, R., Ullah Khan, S., Basheer, F., & Haq Farooqi, I. (2021). Nutrients and organics removal from slaughterhouse wastewater using phytoremediation: A comparative study on different aquatic plant species.

- IOPscience*, 1058(012068), 1-6. doi: [10.1088/1757-899X/1058/1/012068](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1058/1/012068)
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA.PE, aplicada a cuerpos de agua continentales superficiales*. (R.J. N° 068-2018-ANA). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/655052/442368721894580723720200426-24009-4kh0r.pdf?v=1633047660>
- Berrios, L., y Urquiza, E. (2020). *Tratamiento de aguas residuales del camal de la Colina - Pedregal usando el método de reactor UASB* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d6103bd6-bbce-45d9-882b-9ecd601776/content>
- Curasma, M., y Sandoval, E. (2019). *Evaluación de la eficiencia de un sistema integrado de biopelícula y fitorremediación Nasturtium officinale (Berro) para el tratamiento de agua residual municipal en Huancavelica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3072>
- Delgadillo-López, A. E., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., Acevedo, O., y González-Ramírez, C. A. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597-612. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/814/565>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. https://sswm.info/sites/default/files/referencie_attachments/DELGADILLOet%20al%202010.%20Depuraci%C3%B3n%20de%20aguas%20residuales.pdf
- Dier, C. (2007). *El proceso de faenamiento y las características de la carne en el ganado vacuno del camal municipal de Ambato* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3415/3/PAL127.pdf>
- Martínez, N. K., y Iglesias, A. A. (2020). *Thypha Llatifolia y Eichornia Crassipes en el tratamiento de aguas residuales de efluentes industriales* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/23954>
- Kerthana, K., y Thivyatharsan, R. (2018). Constructed wetland for slaughterhouse wastewater treatment. *AGRIEAST: Journal of Agricultural Sciences*, 12(1), 7-15. <http://doi.org/10.4038/agriest.v12i1.47>
- Mbemba, K. M., A. C. Kayath, A. B. Madiélé Mabika, G. R. Diélé Mouko, y J. M. Ouamba. (2019). Desperstración de residuos industriales lixigados por filtros planos Compuesto de Phragmites australis (Cav) Trin ex Steud, Typha latifolia L. y Cyperus papyrus L. *International Journal of Environment and Climate Change*, 9(9), 522-34. <https://doi.org/10.9734/ijecce/2019/v9i930137>
- Metcalf y Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales Tratamiento, vertidos y reutilización* (Vol. II). Madrid, España: McGraw-Hill. <https://es.scribd.com/document/510432856/Ingenieria-de-Aguas-Residuales-Volumen-1-3ra-Edicion-METCALF-EDDY-FRUELIBROS-me> https://www.academia.edu/45529169/INGENIERIA_DE_AGUAS_RESIDUALES_TRATAMIENTO_VERTIDO_Y_REUTILIZACION_Volumen_II_Metcalf_y_Eddie
- Ministerio de vivienda construcción y saneamiento [VIVIENDA]. (2019). *Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domesticas en sistema de alcantarillado sanitario*. Lima, Perú. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-valores-maximos-decreto-supremo-n-010-2019-vivienda-1748339-3/>
- Núñez, R. A., Meas, Y., Ortega, R., y Olguín, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Biotecnología y biología molecular*. 55(3), 69-83.
- Oktorina, A. N., Achmad, Z., & María, S. (2019).

- Phytoremediation of tofu wastewater using *Eichhornia crassipes*. *IOPscience*, 1341(5), 1-6.
- Oladejo, O. S., Olanipekun, A. A., Diekola, O. A., y Olaniyan, O. H. (2019). Sub-surface constructed wetland system as alternative treatment for effluent discharge from Atenda abattoir, Ogbomoso Southwestern Nigeria. *International Journal of Environmental Engineerin*, 10(2), 118-129.
- Pari, L., y Sullcary, R. (2021). *Evaluación del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con berros (nasturtium officinale) en la remoción de materia orgánica a escala piloto de las aguas residuales del distrito de Yauli-Huancavelica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3878>
- Ramdani, F., Prasetya, A., y Purnomo, C. (2019). Removal of pollutants from chickens laughterhouse wastewater using constructed wetland system. *IOPscience*, 399(012085), 1-6. [doi:10.1088/1755-1315/399/1/012085](https://doi.org/10.1088/1755-1315/399/1/012085)
- Valdivia, C. (2019). *Eficiencia de Eichhornia crassipes (Mart.) Solms Laub - Pontederiaceae y Nasturtium officinale W.T. Aiton - Brassicaceae en la remoción de DB5 y DQO y del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3458>