

Reducción de la carga orgánica de las aguas residuales del camal municipal de Ilave, a través de plantas fitorremediadoras. 2025

Edwin Armando Chura Quispe¹, Dania Luz Mamani Condori

^aEP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

Se evaluó la eficiencia de diferentes especies de plantas fitorremediadoras en la remoción de materia orgánica en aguas residuales generadas en el camal municipal de Ilave. Para ello, se diseñó un sistema de fitorremediación a escala piloto como alternativa de tratamiento, compuesto por seis unidades con un tiempo de retención hidráulica de 14 días. Dos de estas unidades fueron provistas con *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), dos con *Schoenoplectus californicus* (Totora), y las dos restantes con *Hydrocotyle tripartita* (Hydrocotyle sp. Australia). Inicialmente, se llevó a cabo una fase de adaptación de las especies durante 10 días, durante la cual se evaluaron parámetros físicos, como signos de marchitamiento o deterioro en las plantas. Posteriormente, se recolectaron muestras de agua residual del efluente del camal durante el periodo de faenado, realizándose análisis de pH, temperatura, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en su condición inicial. Los resultados obtenidos fueron: pH de 7.8, temperatura de 11.5 °C, DQO de 14,200 mg/L y DBO de 6,280 mg/L, siendo estos últimos valores superiores a los Límites Máximos Permisibles según la normativa vigente. Posteriormente, el agua residual fue introducido en los sistemas de fitorremediación con dichas especies; este proceso será evaluado durante un período de 14 días, con el fin de determinar la eficiencia de cada especie en la remoción de la materia orgánica presente en el agua.

Palabras clave: Camal Municipal; Carga orgánica; Fitorremediación; Eficiencia; *Eichhornia crassipes*; *Schoenoplectus californicus*; *Hydrocotyle tripartita*

Abstrac

The efficiency of different species of phytoremediation plants in the removal of organic matter in wastewater generated in the Ilave municipal camal was evaluated. For this purpose, a pilot-scale phytoremediation system was designed as a treatment alternative, consisting of six units with a hydraulic retention time of 14 days. Two of these units were supplied with *Eichhornia crassipes* (water hyacinth), two with *Schoenoplectus californicus* (Cattail) and the remaining two with *Hydrocotyle tripartita* (Hydrocotyle sp. Australia). Initially, an adaptation phase of the species was carried out for 10 days, during which physical parameters, such as signs of wilting or deterioration in the plants, were evaluated. Subsequently, residual water samples

were collected from the slaughterhouse effluent during the slaughter period, analyzing pH, temperature, chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD) in their initial condition. The results obtained were: pH of 7.8, temperature of 11.5 °C, COD of 14,200 mg/L and BOD of 6,280 mg/L, the latter values being higher than the Maximum Permissible Limits according to current regulations. Subsequently, the wastewater was introduced to the phytoremediation systems with these species; This process will be evaluated over a period of 14 days, in order to determine the efficiency in eliminating organic matter present in the water.

Keywords: Municipal slaughterhouse; organic load; phytoremediation; *Efficiency*; *Eichhornia crassipes*; *Schoenoplectus californicus*; *tripartite hydrocotyl*

1. Introducción

Los vertidos líquidos derivados del sacrificio de ganado son una fuente importante de contaminación de las aguas superficiales de acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo que coincide con el reporte de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) entre 1990 y 2010, que señala un aumento de materia biodegradable que afecta uno de cada siete kilómetros de los ríos en América Latina. En tal sentido los residuos líquidos provenientes del camal municipal de Ilave contienen: sangre, estiércol, grasas, pelos y con altas cargas orgánicas contaminantes, cuyos valores sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la normativa, las mismas que son vertidas directamente al río Ilave sin ningún tipo de tratamiento. Por lo cual es crucial conocer los efectos de las actividades del camal sobre la calidad de agua, ya que del río Ilave dependen muchas comunidades aledañas tanto económicamente como es en la transformación de productos primarios (chuño blanco o tunta). Adicionalmente, se debe tener en cuenta que este recurso hídrico es empleado para el consumo humano, sistemas de irrigación agrícola y como fuente de abastecimiento para la hidratación del ganado.

Como respuesta a dicha problemática que afecta al país, el presente estudio tiene como objetivo reducir la carga orgánica del efluente de las aguas residuales provenientes del camal municipal de Ilave, a través de las plantas *Eichhornia crassipes* (Jacinto común), *Schoenoplectus californicus* (Totora) y *Hydrocotyle tripartita* (*Hydrocotyle* sp Australia) que funcionaran como sistemas de fitorremediación, estableciendo de esta manera un sistema accesible tanto económicamente y capaz de ofrecer efluentes de aguas residuales para descarga donde cuyas propiedades orgánicas, se mantengan dentro de rangos aceptables según el Decreto Supremo N° 003-2010 MINAM, que aprueba el Reglamento de los Límites Máximos Permisibles (LMP)

para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para las descargas de estas en los cuerpos de agua, de este modo se minimiza el impacto ambiental adverso y se disminuyen los riesgos para la salud humana.

2. Materiales y Métodos

2.1. Características de la zona de estudio

La zona de estudio planteada para esta investigación fue un matadero municipal, ubicada en la Provincia de El Collao, el cual, se encuentra al sur del departamento de Puno. Limita por el norte con el Lago Titicaca, por el sur con el departamento de Tacna, por el este con la provincia de Chucuito, por el oeste con el departamento de Moquegua y la provincia de Puno; el total de población en el distrito de Ilave es de 46,018 habitantes distribuida en población urbana (21,838 habitantes) y población rural (24,180 habitantes) según la (INEI, 2017). Se encuentra ubicada entre las coordenadas de:

Posición geográfica: Latitud Sur 16°, 15' y 03"

Longitud Oeste 69°, 38' y 03"

Altitud y extensión: 3,847 m.s.n.m. y 5,600.51 km²

2.2. Material vegetal y establecimiento de la especie vegetal fitorremediadora

La investigación se estructuró en dos etapas principales: en la primera, se llevó a cabo la identificación, selección y establecimiento de la especie vegetal con capacidad fitorremediadora, mientras que la segunda etapa se centró en la adaptación de dichas plantas para cumplir con su función de fitorremediación y la evaluación de los parámetros obligatorios para las aguas residuales.

2.3. Características del área experimental

La instalación de las unidades experimentales se realizó en la azotea de una vivienda, adaptada para simular las condiciones de un área de tratamiento real. Este espacio abierto permite que las plantas reciban radiación solar directa, promoviendo condiciones óptimas para la fotosíntesis. Además, brinda seguridad ante posibles intervenciones externas que podrían alterar el estudio. La ubicación y las dimensiones de las unidades a escala piloto (5 m de largo x 3 m de ancho) fueron diseñadas para replicar de manera similar un sistema de tratamiento en condiciones reales.

2.4. Tratamientos

En esta investigación, los tratamientos consisten en el uso de especies fitorremediadoras para reducir la concentración de materia orgánica, medida en términos de DBO₅ y DQO, en las

aguas residuales del camal municipal de Ilave. Los tratamientos se configuraron de la siguiente manera: *Eichhornia crassipes* (M1), *Schoenoplectus californicus* (M2) y *Hydrocotyle tripartita* (M3), cada uno de ellos con 2 réplicas, resultando en un total de 6 unidades experimentales. Por fines prácticos cada tratamiento se codificó utilizando las iniciales de la planta fitorremediadora correspondiente, tal como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. *Tratamientos*

Tratamiento	Código	Planta Fitorremediadora	Replicas	Periodo de retención hidráulica
M1	MEC	<i>Eichhornia crassipes</i>	2	14 días
M2	MSC	<i>Schoenoplectus californicus</i>	2	
M3	MHT	<i>Hydrocotyle tripartita</i>	2	

2.5. Variables para evaluar

Las variables independientes analizadas en este estudio corresponden a los tratamientos con las especies *Eichhornia crassipes* (MEC), *Schoenoplectus californicus* (MSC) y *Hydrocotyle tripartita* (MHT), evaluados en relación con el porcentaje de reducción de la materia orgánica, expresada en términos de DBO5 y DQO.

La variable dependiente en este estudio es la concentración de materia orgánica, cuantificada a través de los parámetros de DBO5 y DQO, presente en las aguas residuales del camal municipal de Ilave. Esta concentración se evalúa antes y después de la aplicación de los tratamientos de fitorremediación mediante cada una de las especies seleccionadas.

Por consiguiente, se cuantifica el porcentaje de reducción en la concentración de materia orgánica en las aguas residuales del camal municipal de Ilave al concluir el periodo de fitorremediación. Esto permite evaluar la eficiencia de cada especie fitorremediadora, determinando tanto su efectividad relativa como el grado de reducción alcanzado. Para este análisis se emplearon ensayos de laboratorio específicos que garantizaron la precisión de los resultados.

2.6. Conducción del experimento

La investigación se desarrolló en 2 etapas:

2.6.1. Adquisición de materiales y plantas fitorremediadoras

Los materiales utilizados en la investigación fueron comprados en centros comerciales de la Provincia de San Roman, siendo estos: recipientes rectangulares de plástico, guantes de nitrilo, jarra con medida, balde con medida, tamiz, frascos de muestreo, cooler, cadena de custodia, tablero, lapicero, plumón indeleble, cintas, etiquetas y grava.

Las especies fitorremediadoras se obtuvieron tanto de manera directa como indirecta de diversos cuerpos de agua. A continuación, se presentan más detalles al respecto:

La especie *Eichhornia crassipes*, comúnmente conocida como Jacinto de agua, se adquirió en un mercado de la feria dominical de Santa Bárbara, en la provincia de San Román, región de Puno. Según el vendedor, las plantas tenían origen en la zona norte del país. Tras la compra, se procedió a lavar las raíces para eliminar tierra, piedras y otras impurezas. Posteriormente, se sometieron a un periodo de adaptación de 10 días en agua limpia, previo a la fase de tratamiento, con el fin de que las plantas pudieran aclimatarse a las nuevas condiciones y minimizar el riesgo de marchitamiento o muerte por cambio abrupto de hábitat.

La especie *Schoenoplectus californicus* conocida comúnmente como totora, se obtuvo directamente de las orillas del Rio Ilave ubicada en la Provincia el Collao, Distrito Ilave, del mismo modo se lavaron las raíces y se sometieron a periodo de adaptación de 10 días.

La especie *Hydrocotyle tripartita*, fue obtenida del mismo modo de las orillas del Rio Ilave el cual se encuentra ubicado en la Provincia El Collao, Distrito Ilave, asimismo se lavaron las raíces y se sometieron al periodo de adaptación de 10 días,

2.6.2. Acondicionamiento del área experimental

Para la implementación de las unidades experimentales, se acondicionó un área en la azotea de una vivienda. En este espacio se llevaron a cabo actividades de limpieza, preparación y disposición de los recipientes, los cuales fueron lavados con agua destilada para asegurar una alta trazabilidad y evitar cualquier interferencia en el tratamiento de las aguas residuales. Cada recipiente fue etiquetado para facilitar la identificación y el orden de cada réplica del tratamiento.

2.6.3. Recolección de las aguas residuales

En esta investigación, se recolectaron 30 litros de aguas residuales del camal municipal de Ilave, obtenidas directamente en el punto de descarga. Para la recolección, se emplearon

recipientes plásticos rectangulares y baldes. Las muestras se tomaron durante el periodo de operación, específicamente a las 2:00 pm, con el objetivo de asegurar una representatividad adecuada. Es importante señalar que todos los recipientes utilizados para la toma inicial de muestra fueron previamente esterilizados para evitar la contaminación cruzada. Asimismo, el proceso de muestreo se llevó a cabo utilizando el equipo de protección personal adecuado.

2.6.4. Instalación de los sistemas de tratamiento

En esta fase, todas las aguas residuales recolectadas del camal municipal de Ilave fueron homogeneizadas en un recipiente de mayor capacidad. A partir de esta mezcla, se extrajeron aproximadamente 2 litros como muestras representativas para realizar el análisis inicial en laboratorio de los parámetros de materia orgánica (DQO, DBO5, turbidez y pH). Estas muestras fueron codificadas como PMS-01.

Las aguas residuales homogeneizadas fueron sometidas a un proceso de filtrado utilizando un colador fino, replicando el proceso unitario de pretratamiento conocido como desbaste, lo cual permitió remover grasas, vísceras y otros sólidos de gran tamaño presentes en el efluente del camal. Posteriormente, las aguas filtradas se dejaron en reposo durante aproximadamente 5 horas, facilitando la sedimentación de partículas finas, en una simulación del proceso de pretratamiento de sedimentación.

Tras el tiempo de sedimentación, se procedió con la instalación de las unidades experimentales. Para las réplicas del tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Hydrocotyle tripartita*, se añadió primero una capa de grava previamente lavada en el fondo de los recipientes, proporcionando un soporte radicular adecuado, dado el tamaño considerable de estas plantas. Luego se colocaron las plantas y se distribuyeron 5 litros de aguas residuales en cada unidad experimental de estos tratamientos. En el caso de *Hydrocotyle tripartita*, al ser una planta flotante, no se incluyó la capa de grava; se añadieron inicialmente los 5 litros de aguas residuales y, por último, la planta fue colocada con cuidado para evitar daños.

2.6.5 Observaciones durante todo el experimento

El experimento se llevó a cabo durante un periodo de 14 días, durante el cual se realizaron mediciones de pH y temperatura en dos momentos clave: al inicio (día 1) y al final del periodo (día 14). Además, se efectuó una revisión diaria del estado de las plantas, registrando su condición como vigorosa, marchita o muerta.

2.6.6. Monitoreo y análisis de muestras

Para el análisis de laboratorio, se recolectaron muestras en dos momentos: la primera antes de iniciar el tratamiento con las plantas fitorremediadoras y la segunda tras completar los 14 días de tratamiento. Todas las muestras fueron recolectadas por los tesisistas, mientras que los análisis de laboratorio se llevaron a cabo en el Laboratorio de la Universidad Peruana Unión, garantizando así resultados con un nivel óptimo de precisión y confiabilidad.



Figura 1. Fitorremediación

3. Resultados y Discusión

Tabla 2

Resultado y comparación los LMP de los parámetros analizados

Parametros	Efluente	LMP/D.S. N° -2009- MINAM	Analisis
pH	7.8	6.9 – 9.0	Normal
Temperatura	11.5 C°		Normal
DQO	14,200 mg/L	500 mg/L	Excede
DBO	6,280 mg/L	250 mg/L	Excede

Para determinar el nivel de carga orgánica en el efluente del camal municipal, se realizaron análisis de pH, temperatura, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores estipulados en el Decreto Supremo N° D.S. 2009-MINAM, que establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos provenientes de actividades agroindustriales, como camales y plantas de beneficio, incluidos mataderos, en un promedio diario. Esta evaluación tiene como objetivo verificar el cumplimiento de los LMP.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de las muestras analizadas. Para el pH, se obtuvo un valor de 7.8, el cual se encuentra dentro del rango establecido por la normativa. La temperatura registrada fue de 11.5 °C. En cuanto al parámetro de DQO, el resultado fue de 14,200 mg/L, superando los valores máximos permisibles según el D.S. – 2009. Para la DBO₅, el valor registrado fue de 6,280 mg/L, que también excede los límites normativos.

3.1. Discusión

En este estudio, se observó que el efluente analizado presenta una alta concentración de materia orgánica. Aunque los demás parámetros medidos cumplen con los límites establecidos, la elevada carga orgánica requiere un tratamiento adecuado para reducir su concentración. Se recomienda implementar una técnica de fitoremediación, según la metodología propuesta, para abordar eficientemente los niveles altos de materia orgánica en el efluente.

La relación DBO/DQO) y el pH de los efluentes indica que las aguas residuales son descargadas a pH promedio de 7 a 8.1 (Tabla 1), esta condición tiene relevancia para una posterior etapa de tratamiento ya que se observa que el pH está en un rango neutro lo cual facilita la elección del tratamiento (Hernández, 2014). Se puede apreciar que la temperatura promedio es de aproximadamente 11.5°C la cual es ligeramente mayor al agua de consumo humano, lo cual es típico en aguas residuales (Delgadillo, et al 2010). La DQO se usa como una medida del oxígeno equivalente del contenido de materia orgánica. Es una variable importante que puede medirse rápidamente para determinar la contaminación de los cuerpos naturales de agua superficiales por las aguas servidas, desechos industriales de tipo orgánico y efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales domésticos e industrial con alto contenido de materia orgánica (ICA-PE, 2018).

Durante la recolección de muestras, se observó que la planta carece de trampas de grasa adecuadas y descarga sus desechos directamente en las alcantarillas sin un tratamiento previo adecuado. Además, el tratamiento que se realiza, utilizando sustancias como cloro y cal, resulta insuficiente para una remediación eficaz del efluente, que es finalmente vertido al cuerpo de agua sin alcanzar los niveles de calidad requeridos.

4. Conclusión

Se realizó una evaluación inicial de las muestras, revelando una elevada carga orgánica mediante los análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Posteriormente, se compararon estos parámetros con la normativa vigente de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de actividades agroindustriales, específicamente aplicables a plantas de camales y plantas de beneficio. Los resultados evidenciaron que excede los parámetros establecidos por la norma, por lo cual se puede decir que se produce un vertimiento de aguas residuales con alta carga orgánica contaminante directamente en el río Ilave.

A lo largo de este estudio, se analizaron las muestras de aguas residuales del Camal Municipal del Distrito de Ilave y se contrastaron sus parámetros con los límites establecidos en la normativa actual. Se verificó que el vertimiento de estas aguas residuales en la cuenca del río Ilave es inadecuado, derivado de las actividades de faenado del camal municipal. Este hallazgo coincide con Bonilla (2007), quien indica que las actividades de los camales municipales generan un significativo impacto ambiental debido a la descarga directa de sus efluentes en los recursos hídricos.

5. Referencias

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba: Centro andino para la gestión y uso del agua.

Mamani, P., & Madrigal, G. (2014). *Estudio de caracterización de las aguas residuales de la Universidad Peruana Unión Filial Juliaca analizando parámetros físicoquímicos y microbiológicos con el fin de proponer un sistema de tratamiento adecuado*. Juliaca: UPeU-Juliaca.

Stearman, G. (2003). *Pesticide removal from container nursery runoff in constructed wetland cells*. Environmental Quality, 1548-1556.

Arias, T. (2018) *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos superficial*. Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech.

Jaramillo, M. (2012). *Fitorremediación mediante uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera*. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador.

6. Anexos



Imagen 1. Prueba piloto



Imagen 2. Análisis de parámetros