



Estudio de Caso

Implementación de un sistema de tratamiento físico para aguas residuales ganaderas en la Estación Experimental Choquenaira del Altiplano

Implementation of a physical treatment system for livestock wastewater at the Choquenaira Experimental Station in the Altiplano

Edgar Froilán Oliver Pari, Rolando Céspedes Paredes, Weimar Yugar Morales

RESUMEN: La gestión de aguas residuales ganaderas en la Estación Experimental Choquenaira del altiplano, representa un reto ambiental debido a la alta carga orgánica y contaminantes biológicos presente en los efluentes generados en la quesería y la sala de ordeño. Este estudio se enfocó en la implementación de un sistema de tratamiento físico para reducir la carga contaminante y reutilizar el agua en riego agrícola. Se evaluaron las fuentes principales de generación de efluentes (quesería y sala de ordeño) mediante un balance de caudales y análisis de calidad del agua. La metodología incluyó la recopilación de datos técnicos, estudios topográficos y el diseño del sistema de alcantarillado y un tanque séptico, basado en normativas del MMAyA (2021) e IBNORCA (2007). El sistema instalado permite la eliminación de sólidos sedimentables mediante procesos físicos y facilita la separación de materia orgánica flotante. La implementación de este sistema contribuye a la mitigación del impacto ambiental y promueve la reutilización del agua dentro de un enfoque de economía circular, garantizando un manejo más sostenible de los residuos ganaderos en la región.

PALABRAS CLAVE: Tratamiento físico, aguas residuales ganaderas, tanque séptico.

ABSTRACT: The management of livestock wastewater at the Choquenaira Experimental Station in the altiplano presents an environmental challenge due to the high organic load and biological contaminants present in the effluents generated in the cheese factory and milking parlor. This study focused on implementing a physical treatment system to reduce pollutant load and reuse water for agricultural irrigation. The main sources of effluent generation (cheese factory and milking parlor) were evaluated through flow balance and water quality analysis. The methodology included the collection of technical data, topographic studies, and the design of a sewer system and a septic tank, based on MMAyA (2021) and IBNORCA (2007) regulations. The installed system enables the removal of settleable solids through physical processes and facilitates the separation of floating organic matter. The implementation of this system contributes to mitigating environmental impact and promotes water reuse within a circular economy approach, ensuring a more sustainable management of livestock waste in the region.

KEYWORDS: Physical treatment, livestock wastewater, septic tank.

AUTORES:
Edgar Froilán Oliver Pari: Investigador Escuela de riego de Agronomía - UMSA
Rolando Céspedes Paredes: Docente Investigador CIPyCA - UMSA
Weimar Yugar Morales: Investigador adjunto UMSS

DOI: <https://doi.org/10.53287/rdf3178br41w>

Recibido: 09/04/2025. Aprobado: 15/08/2025.



INTRODUCCIÓN

El manejo de aguas residuales provenientes de actividades ganaderas constituye un desafío ambiental significativo, especialmente en regiones con sistemas de tratamiento limitados. En este contexto, la Estación Experimental Choquenaira, ubicada en el Altiplano boliviano, enfrenta la necesidad de gestionar eficientemente los desechos ganaderos, como las heces de vaca, que representan una fuente importante de

contaminación ambiental si no se manejan adecuadamente.

Esta investigación aborda la implementación y evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para su reutilización en riego, una solución que integra aspectos técnicos, ambientales y agrícolas. La propuesta busca no solo mitigar el impacto ambiental, sino también aprovechar los nutrientes presentes en las aguas tratadas.

Métodos de tratamiento de aguas residuales ganaderas para su reutilización en riego

Según Ayers y Westcot (1985), la agricultura es el mayor consumidor de agua y puede aceptar agua de menor calidad que los usuarios domésticos e industriales. Por lo tanto, es inevitable que haya una tendencia creciente a recurrir a la agricultura con riego. Dado que las aguas residuales contienen impurezas, se debe prestar especial atención a los posibles efectos a largo plazo sobre los suelos y las plantas de la salinidad, la sodicidad, los nutrientes y los oligoelementos que se producen normalmente, que se pueden controlar si se comprenden los problemas asociados con estas impurezas y se tienen en cuenta.

El mismo autor menciona, la reutilización de efluentes para prácticas agrícolas no es un concepto completamente nuevo, algunos países han elaborado normas para el uso de efluentes en términos del tratamiento requerido y las características bacteriológicas. Una reunión de expertos convocada por la OMS (1973) concluyó que el tratamiento primario sería suficiente para permitir la reutilización para el riego de cultivos que no están destinados al consumo humano directo, asimismo se considera necesario un tratamiento secundario y, muy probablemente, una desinfección y filtración si el efluente se va a utilizar para el riego de cultivos destinados al consumo humano directo.

Tabla 1. Procesos de tratamiento sugeridos por la organización mundial de la salud para la reutilización de aguas residuales.

	Riego		
	Cultivos no destinados al consumo humano directo	Cultivos consumidos cocidos; cultivos de peces	Cultivos consumidos crudos
Criterios de salud	A ¹ + B ²	B + D O C ³ + D ⁴	C + D
Tratamiento primario	X	X	X
Tratamiento secundario	-	X	X
Desinfección	-	-	X

Nota: adaptado de Ayers y Westcot (1985)

Tratamiento primario

De acuerdo con lo establecido por el MMAyA (2021), los tratamientos primarios en el manejo de aguas residuales tienen como principal propósito la eliminación de sólidos suspendidos, tanto los que flotan como los que se sedimentan. Este proceso también contribuye a disminuir parcialmente la contaminación biodegradable de las aguas, logrando reducir aproximadamente entre un 20 % y 30 % la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).

Asimismo, Belzona (2010), afirma que el tratamiento primario se encarga de procesar el desagüe crudo o de entrada, separando entre el 40 y el 60 por ciento de los sólidos presentes. Esta etapa del proceso se basa únicamente en métodos mecánicos. A menudo, se denomina clarificación a la serie de pasos que conforman el tratamiento primario. La meta de este proceso es retirar turbidez, partículas sólidas y materiales flotantes. Debido a que estos contaminantes interferirán con los procesos de tratamiento posteriores deben ser retirados con anterioridad.

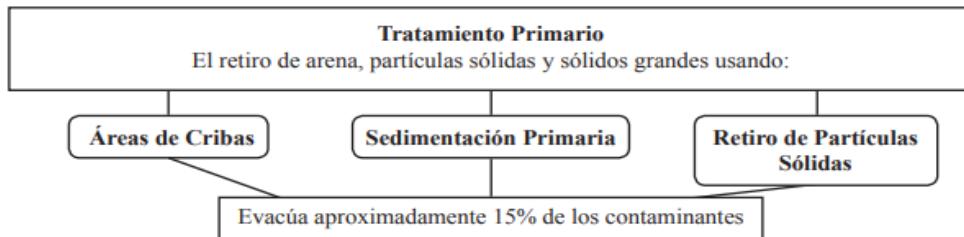


Figura 6. Proceso de tratamiento primario de aguas residuales. Nota: adaptado de Belzona (2010)

Tanques sépticos

Los tanques sépticos son una estructura que permite el tratamiento básico de las aguas residuales. Está destinada a remover los sólidos sedimentables presentes

en las aguas residuales y acumularlos para su biodigestión (Caceres, 2022).

Según el MMAyA (2021), el funcionamiento de los tanques sépticos se basa en dos tipos principales de procesos:

¹ Ausencia de sólidos gruesos; eliminación significativa de huevos de parásitos.

² Como 1, más eliminación significativa de bacterias.

³ No más de 100 organismo coliformes por 100 ml en el 80 % de las muestras.

⁴ Sin productos químicos que produzcan residuos indeseables en el cultivos o peces.

Procesos físicos: Los sólidos sedimentables presentes en las aguas residuales se separan por efecto de la gravedad, acumulándose en el fondo del tanque en forma de lodos. De manera simultánea, las sustancias flotantes, como aceites y grasas, forman una capa en la superficie del agua. Entre estas dos capas se encuentra una fracción líquida intermedia que constituye el agua parcialmente tratada.

Procesos biológicos: Los sólidos orgánicos que se depositan en el fondo del tanque sufren descomposición anaerobia, lo que provoca su licuación, reduce su volumen y genera biogás. Este biogás está compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono, aunque también incluye pequeñas cantidades de compuestos sulfurados, como sulfuro de hidrógeno y mercaptanos, responsables del característico olor desagradable.

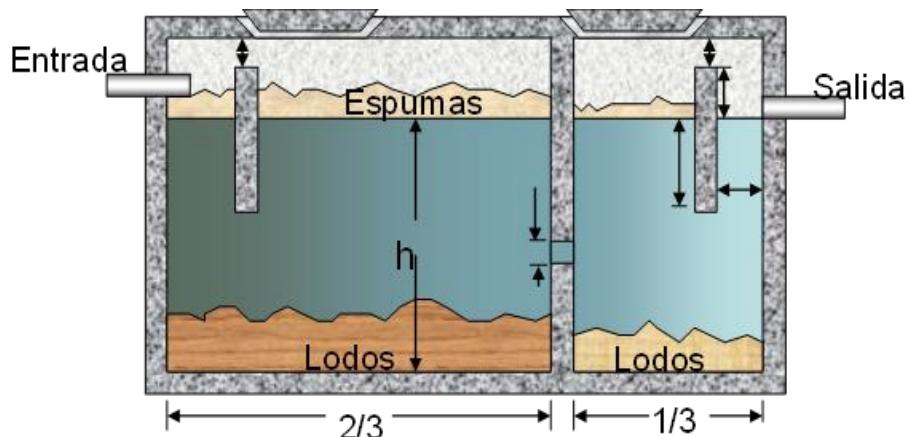


Figura 7. Sección transversal de un tanque séptico. Nota: Luque (2019)

Rendimiento

La Tabla 2 muestra los rendimientos medios que se alcanzan cuando se aplican Tanques Sépticos a modo

de tratamiento primario según Agence de l'Eau Rhin-Meuse (2007) mencionado en MMAyA (2021).

Tabla 2. Rendimiento de tanques sépticos

Parámetro	Reducción (%)
Sólidos en suspensión	50 - 60
DBO ₅	20 - 30
DQO	20 - 30
N _T	-
P _T	-
Coliformes fecales (reducción u log)	0 - 1

Nota: MMAyA (2021) adaptado de International Joint Commission (1974)

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de ha realizado en la Estación Experimental Choquenaira, dependiente de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Mayor de San Andrés, se encuentra localizada en el Altiplano Central, Provincia Ingavi, Departamento de La Paz a 32 Km de la Ciudad de La Paz (a 8 km de la ciudad de Viacha) Aproximadamente a 3820 m.s.n.m. Geográficamente situada entre 16°42'05" de latitud sur y 68°15'54" de longitud Oeste.

Esta población se caracteriza por un alto contenido de materia orgánica, sólidos suspendidos y contaminantes biológicos, lo que las hizo ideal para evaluar sistemas de tratamiento para su posible reutilización en riego agrícola. El tamaño de la muestra está compuesto por tres puntos de muestreo principales: quesería, sala de ordeño y establos.

Procedimiento

Recopilación de datos técnicos

Para realizar la implementación de sistema de tratamiento de aguas residuales, se utilizó el procedimiento de diseño de los sistemas de alcantarillado de IBNORCA (2007) combinado con la guía técnica de líneas de tratamiento de MMAyA (2021). De modo que determinan necesario copilar los siguientes datos:

Calidad y cantidad de las aguas

Evaluación de la cantidad de agua y balance de caudales de cada ambiente:

- Se realizó un censo detallado del ganado bovino, registrando el número de animales, edades y

- categorías (como vacas en producción y crías). A partir de los estándares de consumo promedio diario por categoría, se determinó el volumen de agua necesario para bebida y limpieza.
- En la sala de ordeño y la quesería, se identificaron las fuentes de agua, como la destinada al ganado y a la limpieza de equipos. Calculamos el caudal de entrada en la sala de ordeño y estimamos el caudal en la quesería según el proceso de producción. Estos datos fueron clave para diseñar el sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

Trabajos topográficos

Planimetría: Los datos de distancias, ángulos y coordenadas fueron registrados minuciosamente en la libreta de campo, corroborando que cada punto cumpliese las especificaciones requeridas.

Altimetría: En las poligonales principales, se realizó nivelación directa utilizando nivel de ingeniero, lo que permitió garantizar la precisión en las alturas relativas. En zonas destinadas a infraestructura, se levantaron perfiles transversales cada 50 metros, registrando las variaciones de pendiente.

Registro de Datos (Libreta de Campo): Cada observación fue registrada con croquis explicativos y detalles específicos del terreno, incluyendo límites y elementos relevantes. Correcciones se realizaron anotando los ajustes necesarios sin borrar los errores originales. Páginas incorrectas fueron debidamente marcadas como “ANULADO”, respetando la trazabilidad de los datos.

Diseño del sistema e implementación

Para el diseño e implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales se utilizó el diseño de los sistemas de alcantarillado de IBNORCA (2007), donde menciona las directrices, se adoptaron las normativas técnicas pertinentes, asegurando que la profundidad mínima de los colectores en vías vehiculares fuera de 1

metro. Con fin de asegurar un adecuado drenaje, se recomienda una pendiente mínima del 0,798% para colectores de 4 pulgadas y del 0,532% para los de 6 pulgadas. Además, se incorporaron cámaras de inspección en puntos críticos, especialmente donde era necesario cambiar la dirección del flujo, lo que facilitó las labores de mantenimiento y monitoreo del sistema. La implementación se llevó a cabo con especial cuidado en los detalles, garantizando un flujo eficiente y evitando obstrucciones.

Asimismo para la construcción del tanque septico se uso la guía técnica de líneas de tratamiento de MMAyA (2021), donde se instaló un tanque séptico de dos compartimentos, donde el primero ocupó 2/3 del volumen total y el segundo el 1/3 restante. El tanque, de forma rectangular, se enterró, considerando las características constructivas y el nivel freático de la zona. La profundidad del agua fue ajustada entre 1,50 y 1,20 m, dejando un espacio de 0,80 m entre el nivel del agua, tambien denominado borde libre.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales ganaderas en la Estación Experimental Choquenaira, se basó en un diseño técnico adaptado a las condiciones específicas del lugar, considerando el balance de flujos de agua, las características del terreno y los requerimientos normativos para el diseño de alcantarillado y tanques sépticos (figura 3).

Balance flujos de aguas residuales

Se realizó un cálculo detallado de la cantidad de agua utilizada en las principales actividades generadoras de aguas residuales:

Quesería: El volumen de agua residual generado principalmente de los procesos de lavado de utensilios y equipos, así como de la limpieza general del área de trabajo.

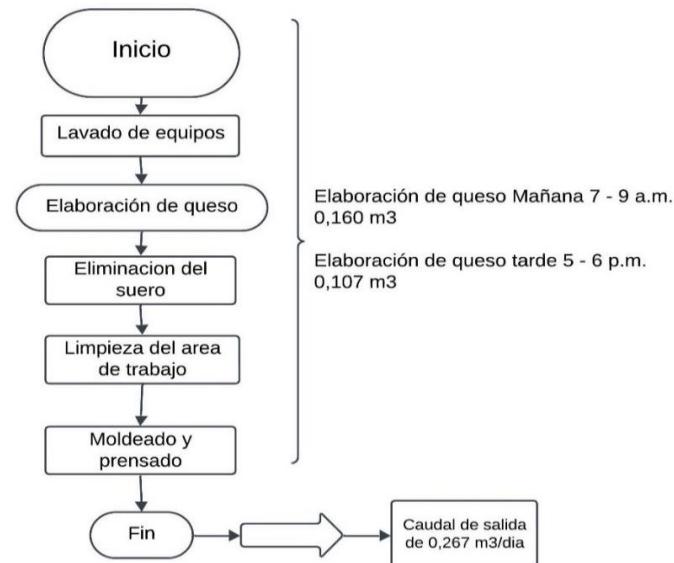


Figura 3. Balance de flujos de agua quesería

Sala de ordeño: La cantidad de agua empleada se determinó en función del consumo necesario para la

limpieza de los equipos y las instalaciones después de cada sesión de ordeño (figura 4).

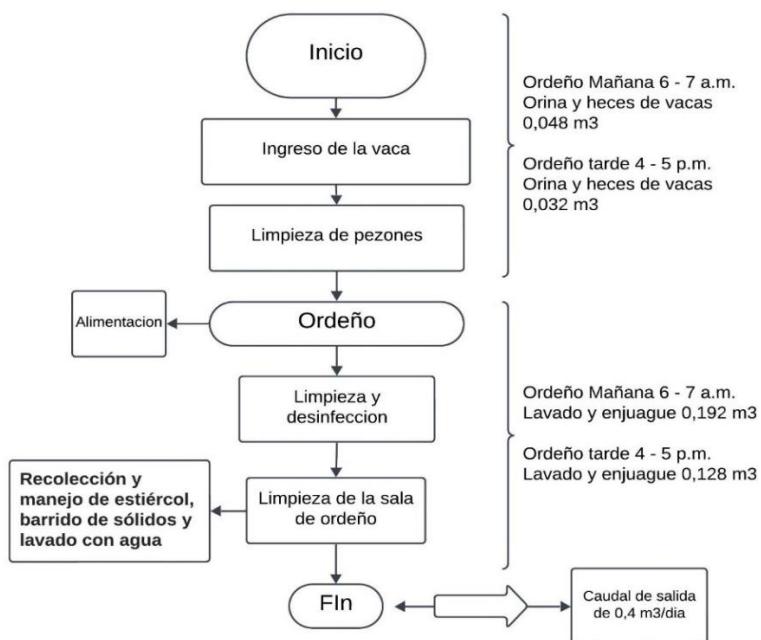


Figura 4. Balance de flujos de agua sala de ordeño

Los resultados del balance flujos de agua indicaron un promedio diario de generación de aguas residuales que permitió dimensionar tanto el sistema de alcantarillado como el tanque séptico.

Diseño del sistema de alcantarillado

Se identificaron cuatro fuentes principales de generación de aguas residuales en la Estación Experimental Choquenaira, dos iniciales, correspondientes a la quesería y la sala de ordeño, y dos adicionales provenientes de los establos. Es importante

destacar que, en los establos, la limpieza se lleva a cabo de manera manual y en seco, utilizando palas y herramientas generales, por lo que no se considera que generen aguas residuales ni actúan como fuentes de contaminación. Estas fuentes se analizaron para diseñar un sistema de alcantarillado eficiente y adaptado a las condiciones específicas del lugar.

El diseño del sistema se realizó siguiendo las directrices establecidas por IBNORCA (2007), incorporando las siguientes especificaciones técnicas:

Profundidad mínima de los colectores: 1 metro en vías vehiculares, asegurando la protección de la infraestructura y evitando interferencias con elementos existentes.

Pendiente mínima: 0,798% para colectores de 4 pulgadas y 0,532% para los de 6 pulgadas, lo que garantiza un drenaje eficiente y continuo.

Cámaras de inspección: Instaladas en puntos estratégicos, como cambios de dirección y áreas críticas del sistema, permitiendo un fácil acceso para labores de mantenimiento y monitoreo del flujo.

En las figuras 5, 6 y 7, se presenta el plano donde se detallan las conexiones y el diseño del sistema de alcantarillado:

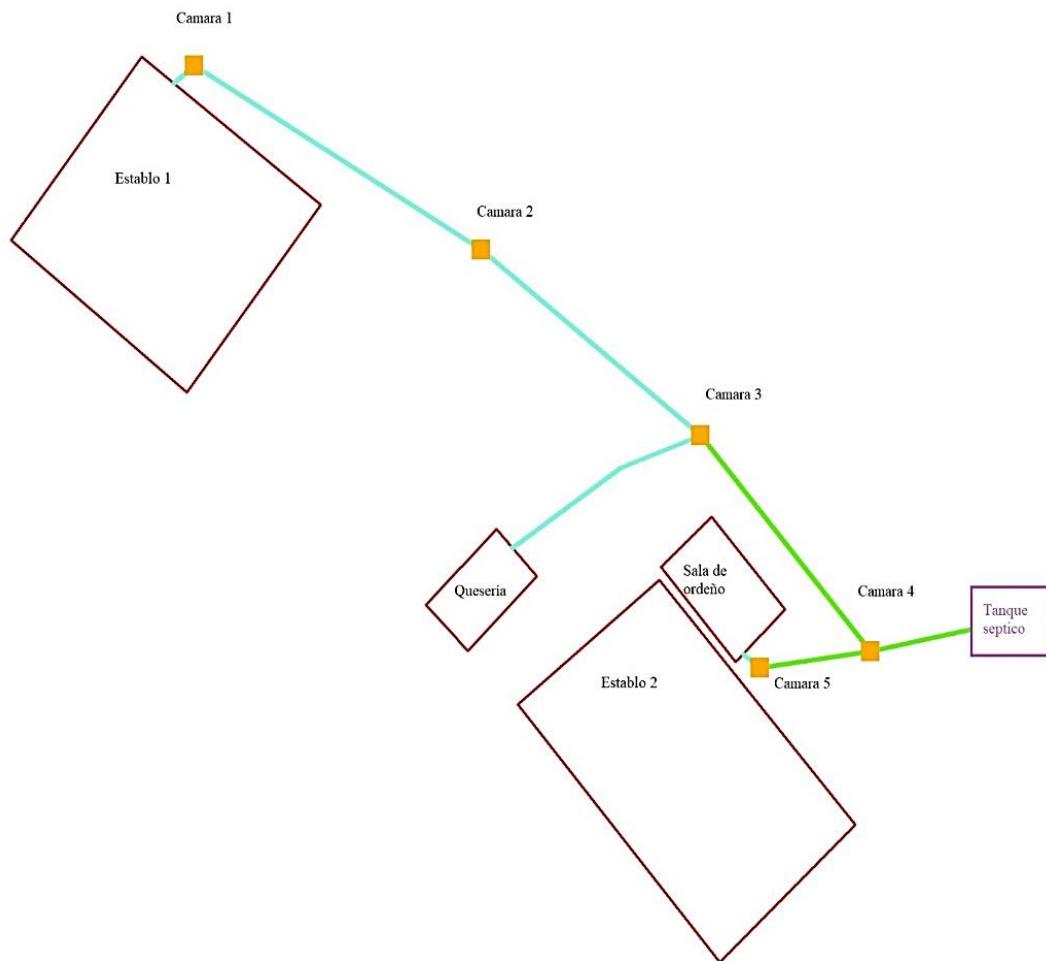


Figura 5. Plano general del alcantarillado

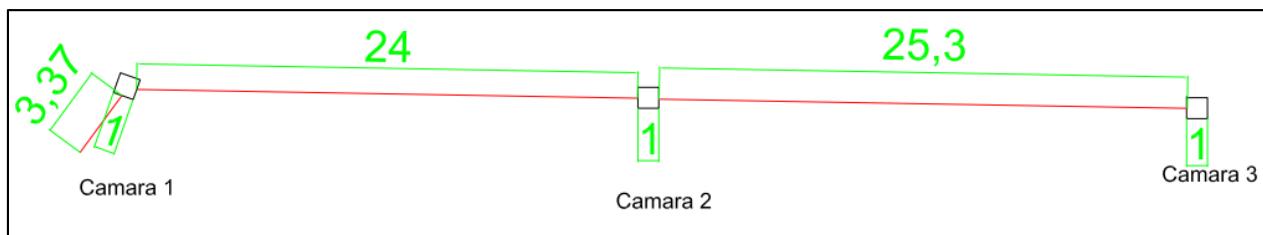


Figura 6. Plano de colector de 4"

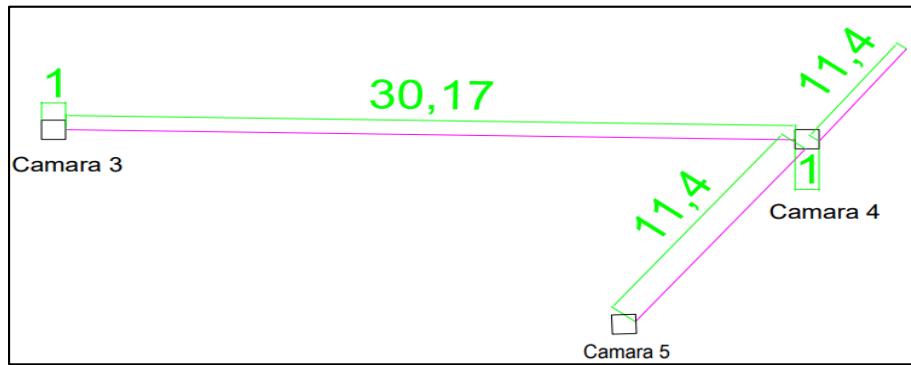


Figura 7. Plano de colector de 6"

La tabla 3 presenta la información complementaria del sistema de alcantarillado.

Tabla 3. Especificaciones técnicas de los tramos del sistema de alcantarillado

Tramo	Elemento	Dimensión	Pendiente	Observaciones
Establo 1- Cámara 1	Colector de 4"	3,37 m	1,5 %	Asegura un drenaje adecuado.
-	Cámara 1	1,00 m ²	-	Cambio de dirección
Cámara 1 – Cámara 2	Colector de 4"	24,00 m	1,5 %	Asegura un drenaje adecuado.
-	Cámara 2	1,00 m ²	-	Cambio de dirección, lugar óptimo de inspección
Cámara 2 – Cámara 3	Colector de 4"	25,30 m	1,5 %	Asegura un drenaje adecuado.
Quesería – Cámara 3	Colector de 4"	7,30 m	1,5 %	Asegura un drenaje adecuado.
-	Cámara 3	1,00 m ²	-	Cambio de dirección y agregar una fuente de ingreso de agua.
Cámara 3 – Cámara 4	Colector de 6"	30,17 m	1,5 %	Asegura un drenaje adecuado.
-	Cámara 4	1,00 m ²	-	Cambio de dirección y agregar dos ingresos de agua
Sala de ordeño, establo 2 – Cámara 5	Colector de 4"	1,00 m	1,5 %	Asegura un drenaje adecuado.
-	Cámara 5	1,00 m ²	-	Cambio de dirección y agregar un ingreso de agua
Cámara 5 – cámara 4	Colector de 6"	11,40 m	1,5 %	Asegura un drenaje adecuado.
Cámara 4 – tanque séptico	Colector de 6"	11,40 m	1,5 %	Asegura un drenaje adecuado.

La figura 8, muestra la memoria fotográfica de la excavación realizada para el alcantarillado e instalación de colectores.



Figura 8. Excavación de alcantarillado e instalación de colectores de 4" y 6"

Características del tanque séptico

El tanque séptico fue diseñado e instalado para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la quesería y sala de ordeño de la Estación Experimental Choquenaira. Además, su diseño fue planificado considerando la posibilidad de tratar en el futuro las aguas residuales provenientes de los establos. Este sistema está orientado a disminuir la carga de contaminantes

Implementación de un sistema de tratamiento físico para aguas residuales ganaderas en la Estación Experimental Choquenaira del Altiplano orgánicos, sólidos suspendidos y bacterias, mejorando significativamente la calidad del efluente, lo que permite su reutilización segura en riego o su disposición final conforme a las normativas ambientales. La figura 9, presenta el plano detallado del sistema, donde se incluyen las conexiones del alcantarillado y el diseño completo del tanque séptico

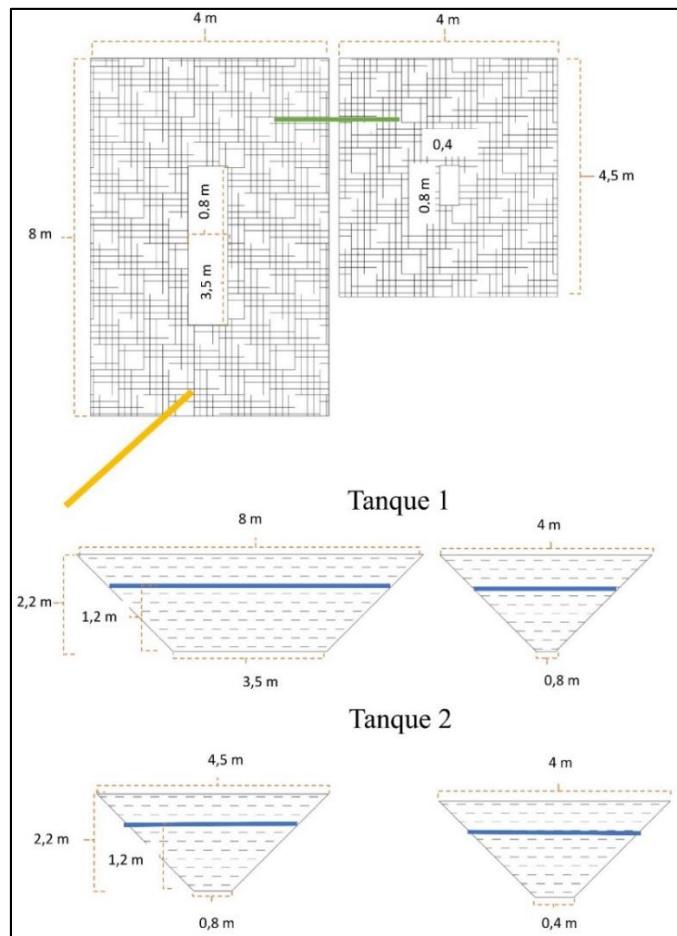


Figura 9. Plano y diseño del tanque séptico

Los principales parámetros y características del tanque séptico implementado se presentan en la tabla 4

Tabla 17. Especificaciones técnicas del tanque séptico

Parámetro	Unidad	Valor	Observaciones
Volumen total	m^3	25,99	Adecuado para un flujo estimado de 2 $\text{m}^3/\text{día}$. (quesería: 0,267 m^3 ; Sala de ordeño: 0,4 m^3 ; establo 1 y 2: 1,333 m^3)
Número de Compartimentos	-	2	El primer compartimento ocupa 2/3 del volumen total.
Tiempo de Retención Hidráulico	días	13	Garantiza la capacidad de tratamiento durante los picos de generación de aguas residuales en época de lluvias
Profundidad	m	1,20	Enterrado, con 1 m de borde libre.
Pendiente de Entrada y Salida	%	1,5	Asegura un flujo continuo hacia el siguiente tratamiento.
Tuberías de Entrada y Salida	pulgada	6 y 3	Según las normativas técnicas de IBNORCA.

La memoria fotográfica se muestra en la figura 10.



Figura 10. Excavación, compactado de tanque séptico y limpieza de lodos

El tanque séptico cuenta con un tiempo de retención hidráulico de 13 días, diseñado específicamente para manejar las aguas residuales generadas por la quesería y la sala de ordeño, y para incluir el tratamiento de las aguas provenientes de los establos durante la temporada de lluvias, cuando se recolectan mayores volúmenes de agua. Esta capacidad asegura una retención adecuada para permitir la sedimentación de sólidos, la reducción de materia orgánica y la disminución de la carga bacteriana.

CONCLUSIONES

La presente investigación fue orientada en la implementación y evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales ganaderas para su reutilización en riego en la Estación Experimental Choquenaira. El objetivo principal fue diseñar un sistema adecuado que permita tratar eficientemente las aguas residuales generadas por la actividad ganadera y su posterior uso en cultivos de forraje de consumo indirecto. Esto debido a que las aguas residuales ganaderas suelen contener una alta carga bacteriana.

En cuanto al balance de flujo, se obtuvo un valor promedio de $0,667 \text{ m}^3/\text{día}$, consistente con lo reportado por Luque (2019) en sistemas similares. Este valor es representativo del caudal diario generado en instalaciones con actividades de ordeño y procesamiento lácteo.

La implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales ganaderas en la Estación Experimental Choquenaira demostró ser efectiva para reducir los contaminantes físicos, químicos y bacteriológicos.

El diseño e instalación del sistema de alcantarillado y tanque séptico se adecuan a las condiciones locales, logrando una operación eficiente y sostenible. La infraestructura asegura la sedimentación de sólidos, la reducción de materia orgánica y bacterias, y permite manejar picos de generación de aguas residuales durante las lluvias.

BIBLIOGRAFÍA

- Agence de l'Eau Rhin-Meuse. (2007). Les procédures d'épuration des petites collectivités. En Eléments de comparaison techniques et économiques. Francia. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ae_rhin_meuse_les_procedures_d_epuration_des_petites_collectivites_du_bassin_rhin_meuse_2007.pdf.

Ayers, & Westcot. (1985). Calidad del agua para la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma. <https://www.fao.org/4/t0234e/T0234E00.htm#TOC>.

Belzona. (2010). Tratamiento de aguas residuales. Belzona International Limited. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/quimica/tratamiento-de-aguas-residuales/40294488>.

Caceres. (2022). Guía de Construcción de Cámaras Sépticas y Sistemas de Infiltación a nivel domiciliario. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Bolivia. https://www.bivica.org/files/6329_Gu%C3%ADa%20para%20la%20construcci%C3%B3n%20de%20sistemas%20de%20infiltaci%C3%B3n%20a%20nivel%20domiciliario_2022.pdf.

Cely, Bonilla, & Carrillo. (2022). Tratamiento de Aguas Residuales. S.A.S.. https://www.researchgate.net/publication/376375373_Tratamientos_de_aguas_residuales.

Cordova, Barrios, B., C., & Navarrete. (2021). Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante reactor anaerobio para la reutilización del efluente en cultivos agrícolas. ALFA. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.114>

Fleite. (2021). Desarrollo de sistemas de tratamiento para efluentes de producciones ganaderas intensivas a corral (feedlots). Tesis doctoral, UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n6846_Fleite.pdf.

IBNORCA. (2007). Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial. Ministerio de Agua Viceministerio de Servicios Basicos, Bolivia. <https://datos.siarh.gob.bo/biblioteca/index/?&accion=itemDescarga&id=975>.

- International Joint Commission. (1974). Management Programs, Effects of Research, and Present Land Use Activities on Water Quality of the Great Lakes. Pollution from Land Use Activities Reference Group (PLUARG). <https://legacyfiles.ijc.org/publications/D102.pdf>.
- Luque. (2019). Propuesta de un Sistema de Tratamiento para Aguas Residuales Producto de Actividades Ganaderas. Trabajo de Grado tesis de Maestría. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/entities/publication/7568343d-0048-4d2f-a52c-7d3c7fa6c763>.
- MMAyA. (2021). Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Bolivia. <https://datos.siarh.gob.bo/biblioteca/518>.
- Quispe, Piñas, Valle, D., & Aguirre. (2020). Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales. Patricia Reyes. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/58476.pdf>.