

CARACTERIZACIÓN FÍSICO, QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES GANADERAS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL CHOQUENAIRA DEL ALTIPLANO

Physical, chemical and bacteriological characterization of livestock wastewater at the Choquenaira Experimental Station in the Altiplano

Edgar Froilán Oliver Pari^{1*}, Rolando Céspedes Paredes²

RESUMEN

Las aguas residuales generadas en la Estación Experimental Choquenaira provienen principalmente de heces de vaca y presentan una alta carga de materia orgánica, nutrientes y microorganismos, lo que representa un riesgo ambiental si no se gestionan adecuadamente. El objetivo de esta investigación fue caracterizar físico, química y bacteriológicamente estas aguas residuales, procedentes de dos fuentes principales: la quesería y la sala de ordeño, con el fin de evaluar su potencial uso como biofertilizantes líquidos bajo un enfoque de economía circular. Se utilizó una metodología de tipo cuantitativo, cualitativo y descriptivo. El muestreo fue compuesto, recolectando submuestras cada 30 minutos durante 12 horas, las cuales fueron homogenizadas y trasladadas al laboratorio del Instituto de Servicios de Salud (ISS-UMSA). Se analizaron parámetros como pH, turbiedad, sólidos suspendidos totales (SST), demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBO), nitrógeno amoniacal y coliformes termorresistentes, aplicando métodos normalizados. Los resultados evidencian una elevada carga contaminante: DQO hasta 16.167 mg O₂/l y DBO de 7.420 mg O₂/l, con alta turbiedad y SST. El pH varió entre ácido en la quesería (4,00) y casi neutro en la sala de ordeño (7,30). Los coliformes termorresistentes superaron los 10⁶ NMP/100 ml. Se concluye que es indispensable implementar tratamientos adecuados para reducir el impacto ambiental y, a su vez, aprovechar los lixiviados como insumos agrícolas, contribuyendo a sistemas productivos sostenibles en contextos rurales.

Palabras clave: aguas residuales ganaderas, calidad del agua, biofertilizantes, Estación Experimental Choquenaira.

ABSTRACT

The wastewater generated at the Choquenaira Experimental Station originates primarily from cow manure and contains high levels of organic matter, nutrients, and microorganisms, posing an environmental risk if not properly managed. The objective of this study was to characterize the physical, chemical, and bacteriological properties of this wastewater, which comes from two main sources: the dairy processing facility and the milking parlor, in order to evaluate its potential use as liquid biofertilizer under a circular economy approach. A quantitative, qualitative, and descriptive methodology was employed. Composite sampling was carried out by collecting subsamples every 30 minutes over a 12-hour period, which were then homogenized and transported to the laboratory of the Health Services Institute (ISS-UMSA). Parameters such as pH, turbidity, total suspended solids (TSS), chemical and biochemical oxygen demand (COD and BOD), ammoniacal nitrogen, and thermotolerant coliforms were analyzed using standardized methods. The results revealed a high pollutant load: COD up to 16,167 mg O₂/l and BOD of 7,420 mg O₂/l, with elevated turbidity and TSS levels. The pH ranged from acidic in the dairy facility (4.00) to nearly neutral in the milking parlor (7.30). Thermotolerant coliform counts exceeded 10⁶ MPN/100 ml. It is concluded that appropriate treatment systems are essential to reduce environmental impact and, simultaneously, to utilize the leachates as agricultural inputs, contributing to sustainable production systems in rural settings.

Keywords: livestock wastewater, water quality, biofertilizers, Choquenaira Experimental Station.

Artículo original

DOI: <https://doi.org/10.53287/vxjs9761fj19c>

Recibido: 09/04/2025

Aceptado: 20/06/2025

¹ Autor de correspondencia: Investigador, Escuela de Riego de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. <https://orcid.org/0009-0003-4443-6594>. edgar.fop1@gmail.com

² Docente Investigador, Instituto de Investigación en Producción, Transformación y Comercialización Agropecuaria, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. <https://orcid.org/0000-0003-3855-110X>. rcspedes@umsa.bo

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales ganaderas en la Estación Experimental Choquenaira provienen principalmente de heces de vaca y contienen una alta carga de contaminantes orgánicos y nutrientes. Su inadecuado manejo representa un riesgo ambiental significativo. Estas aguas presentan elevados niveles de sólidos suspendidos, materia orgánica biodegradable y microorganismos, lo que exige un tratamiento adecuado antes de su reutilización. La investigación considera un enfoque de economía circular, aprovechando los lixiviados como fertilizantes líquidos. Se destacan los desafíos técnicos y económicos en entornos rurales para implementar sistemas de tratamiento eficientes y accesibles.

La FAO (1997), indica que la agricultura es el mayor consumidor de agua dulce a nivel global y es un factor clave en la degradación de los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos debido a la erosión y la escorrentía de sustancias químicas, plantea serias preocupaciones sobre su impacto en la calidad del agua a nivel mundial. De manera similar, el sector de la elaboración agroalimentaria se presenta como una fuente considerable de contaminación orgánica en la mayoría de los países.

Según Escobar (2002) citado por Luque (2019), el sistema ganadero contribuye por medio de dos escenarios a la contaminación de los recursos hídricos: como fuentes puntuales, considerándose en este caso las aguas de los establos y como fuentes no puntuales o difusas por el arrastre de estiércol dejado en los campos, lo que trae consigo malos olores, proliferación de moscas, efectos estéticos y la alteración de las propiedades del agua.

El agua residual generada en la ganadería es caracterizada por su alta concentración de materia orgánica, sólidos suspendidos, nitrógeno y fósforo, además de presentar una considerable demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBO). Estas características las convierten en una de las principales fuentes de contaminación hídrica, evaluada a través de parámetros como el pH, turbiedad, coliformes fecales, sólidos totales, entre otros (Loaiza, Gestión del agua en el sector de la ganadería bovina en la cuenca Rio La Vieja departamentos de Quindío y Risaralda, 2009).

Pino et al. (2012), indican que esto genera problemas como la contaminación de suelos, cuerpos de agua y atmósfera. Por ejemplo, el estiércol, con un promedio diario de generación que varía entre 22 kg por bovino de engorde y 68 kg por vaca lactante, contribuye al impacto ambiental a través de la generación de gases de efecto invernadero como el metano y el óxido nitroso, así como al exceso de nutrientes en suelos y aguas superficiales. En la Tabla 1 se señalan las clases de fuentes agrícolas no localizadas y su contribución relativa a las cargas de contaminación.

Tabla1. Clases de contaminación de procedencia agrícola no localizado.

Actividad agrícola	Descripción	Contaminante
Agricultura, corrales de engorde, riego, cultivo, pastos, granjas de producción de leche, huertos y acuicultura.	Escorrentía de todas las categorías de actividades agrícolas que dan lugar a contaminación del agua superficial y subterránea. En los climas septentrionales, la escorrentía procedente de las tierras congeladas es un grave problema, en particular en los lugares donde el abono se aplica durante el invierno. La manipulación de las hortalizas, en particular el lavado de las mismas en aguas superficiales contaminadas, práctica común en muchos países en desarrollo, da lugar a la contaminación de los alimentos. La acuicultura, en constante crecimiento, se está convirtiendo en importante fuente de contaminación en muchos países. El agua procedente del riego contiene sales, nutrientes y plaguicidas. El drenaje con cañerías transporta rápidamente sustancias lixiviadas, como el nitrógeno, a las aguas superficiales.	Fósforo, nitrógeno, metales, agentes patógenos, sedimentos, plaguicidas, sal, DBO, oligoelementos (por ejemplo, selenio).

Nota: adaptado de International Joint Commission (1974).

Uno de los principales problemas ambientales asociados a la ganadería es la alta generación de aguas residuales líquidas, las heces acumuladas en los establos, combinadas con las lluvias intensas, provocan una escorrentía que arrastra una carga orgánica considerable y nutrientes como nitrógeno y fósforo. Esta mezcla de estiércol y agua de lluvia contribuye a la contaminación de los cuerpos de agua cercanos. Por lo tanto, es esencial implementar y mejorar procesos operativos que faciliten la remoción eficiente de estos contaminantes para mitigar el impacto ambiental (Fleite, Desarrollo de sistemas de tratamiento para efluentes de producciones ganaderas intensivas a corral (feedlots), 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

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.

Metodología

Dentro de la metodología utilizada para la presente investigación, los métodos fueron cuantitativo, cualitativo y descriptivo orientados a encontrar parámetros que permitan determinar las características físicos, químicos y bacteriológico de las aguas residuales emitidas por la Estación Experimental Choquenaira.

Población y muestra

La población objeto de estudio comprende las aguas residuales generadas en las actividades ganaderas de la Estación Experimental Choquenaira. Estas aguas provienen de dos fuentes principales:

Quesería, aguas residuales con restos de suero, grasas y proteínas.

Sala de ordeño, mezcla de agua usada en limpieza y residuos orgánicos en el ordeño.

Esta población se caracteriza por un alto contenido de materia orgánica, sólidos suspendidos y contaminantes biológicos. El tipo de muestra fue no probabilística por conveniencia, ya que se extrajo directamente de las fuentes disponibles en la estación experimental. Esto se debe a que las características del sistema de recolección limitan la aleatoriedad en la selección de las muestras, pero aseguran representatividad al incluir todas las fuentes relevantes.

El tamaño de la muestra está compuesto por dos puntos de muestreo: *quesería* y *sala de ordeño*.

Variables

Variable independiente: aguas residuales ganaderas.

Variables dependientes: parámetros de control de aguas residuales (físicos, químicos y bacteriológico).

Instrumentos de medición y técnicas

Para los instrumentos y técnicas, se seleccionaron los siguientes parámetros (Tabla 2) junto con sus respectivos métodos de análisis.

Tabla 2. Parámetros de análisis de aguas residuales.

Parámetro	Unidad	Método
Físicos		
Turbiedad	UNT	SM2130 B
Sólidos suspendidos totales	mg/l	SM 2540 D
Químicos		
pH (T=25,0 °C)	-	SM 4500 – H+
Demanda química de oxígeno	mg O ₂ /l	SM 5220 B
Demanda bioquímica de oxígeno	mg O ₂ /l	SM 5210 B
Nitrógeno amoniacal	mg N/l	SM 4500 – NH ₃ E
Bacteriológico		
Coliformes termorresistentes	NMP/100 ml	NB 31006

Procedimiento

Para las características físicos, químicos y bacteriológico las aguas residuales ganaderas de la Estación Experimental Choquenaira, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

El muestreo de aguas residuales se realizó de manera sistemática utilizando un muestreo compuesto en las dos fuentes principales: quesería y sala de ordeño.

Recolectando en la quesería y sala de ordeño muestras compuestas de alrededor de 12 horas, considerando que hay picos de ingreso de agua residuales, cada sub muestra se recolectó cada 30 min, posteriormente se vertió en un balde, después de las 12 horas se homogenizó las muestras y se procedió a tomar las muestras que fueron al laboratorio, en recipientes limpio de plásticos de 2 litros para parámetros físicos, químicos y para parámetro bacteriológico en recipientes de plásticos esterilizados de 250 ml.

Las muestras de aguas residuales se llevaron al laboratorio ISS – UMSA, al día siguiente después de haber tomado las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de las aguas residuales, se realizó un muestreo compuesto en las dos principales fuentes de generación: la quesería y la sala de ordeño. Estas fueron identificadas como las únicas fuentes significativas de contaminación de aguas residuales.

Tabla 3. Parámetros físicos, químicos y bacteriológico de las aguas residuales.

Parámetro	Unidad	Quesería	Sala de ordeño
Físicos			
Turbiedad	UNT	1.990,00	1.710,00
Sólidos suspendidos totales	mg/l	1.625,00	6.660,00
Químicos			
pH (T=25,0 °C)	-	4,00	7,30
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /l	9.741,00	16.167,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O ₂ /l	7.420,00	6.550,00
Nitrógeno Amoniacal	mg N/l	6,70	920,55
Bacteriológico			
Coliformes Termorresistentes	NMP/100 ml	8,0 x 10 ⁵	5,0 x 10 ⁶

Los resultados obtenidos para las aguas residuales de la quesería y la sala de ordeño en la Estación Experimental Choquenaira muestran características específicas que reflejan el nivel de contaminación en estas fuentes.

Parámetros físicos

Turbiedad

Ambas fuentes presentan altos niveles de turbiedad, siendo ligeramente mayor en la quesería (1.990,00 UNT) que en la sala de ordeño (1.710,00 UNT). Esto indica una alta concentración de partículas suspendidas, según Paniagua (2006) debido a sólidos orgánicos.

Sólidos suspendidos totales (SST)

Los valores son significativamente mayores en la sala de ordeño (6.660,00 mg/l) en comparación con la quesería (1.625,00 mg/l). García (2015) indica que el efluente líquido generado durante el proceso de limpieza de las instalaciones de ordeño contiene una alta concentración de sólidos suspendidos y disueltos, materia orgánica y microorganismos.

Parámetros químicos

Parámetro de pH

En la quesería, el pH es ácido (4,00), Bedoya y Sousa (2009), el suero, que contienen azúcares que pueden fermentar, produciendo ácido láctico. En contraste, la sala de ordeño presenta un pH cercano a neutro (7,30), lo que sugiere una menor influencia de compuestos ácidos en esta fuente.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Ambos valores son extremadamente altos, reflejando una carga orgánica considerable, con 9.741,00 mg O₂/l en la quesería y 16.167,00 mg O₂/l en la sala de ordeño. Estos resultados evidencian que el agua contiene una gran cantidad de compuestos que demandan oxígeno para su descomposición superando 1.500,00 mg O₂/l como lo indica Barrera (2016).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO también es elevada, especialmente en la quesería (7.420,00 mg O₂/l), la sala de ordeño tiene un valor ligeramente menor (6.550,00 mg O₂/l), posiblemente por la diferencia en los residuos generados.

Nitrógeno amoniacal

En la sala de ordeño, el contenido de nitrógeno amoniacal es extremadamente alto (920,55 mg N/l), en comparación con la quesería (6,70 mg N/l). De acuerdo con Fatula et al. (2022), las vacas lecheras excretan orina con una concentración de nitrógeno de 6 a 15 g N por litro.

Parámetro bacteriológico

En coliformes termorresistentes, la carga bacteriana es alta en ambas fuentes, siendo mayor en la sala de ordeño (5,0 x 10⁶ NMP/100 ml) que en la quesería (8,0 x 10⁵ NMP/100 ml). Las aguas residuales generadas en la industria láctea pueden albergar una carga microbiológica significativa, compuesta por virus y bacterias patógenas (IFC, 2007).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la caracterización físico, química y bacteriológica de las aguas residuales ganaderas de la Estación Experimental Choquenaira evidencian una alta carga contaminante, lo cual representa un riesgo significativo para el ambiente si no se realiza un tratamiento adecuado previo a su disposición o reutilización. La sala de ordeño mostró los niveles más elevados de sólidos suspendidos totales (6.660,00 mg/l) y nitrógeno amoniacal (920,55 mg N/l), mientras que la quesería presentó un pH ácido (4,00) y una elevada DBO (7.420,00 mg O₂/l), atribuible a la descomposición de residuos lácteos.

Los valores de DQO y DBO en ambas fuentes superan ampliamente los límites establecidos para aguas residuales, indicando una elevada presencia de materia orgánica biodegradable que demanda oxígeno, lo que puede afectar negativamente la calidad de cuerpos receptores si no se trata. Además, la elevada carga bacteriológica hasta 5,0 x 10⁶ NMP/100 ml de coliformes termorresistentes. Estas características demuestran la necesidad de un tratamiento adecuado para minimizar el impacto ambiental y permitir su reutilización.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrera, E. R. (2016). DQO y DBO. Hanna Instruments Confidential -- For internal use only. https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/marketing/capacitacion/2016/05/Hanna_Instruments_DQO_y_DBO.pdf
- Bedoya, O. & Sousa, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobio tipo UASB. Facultad de ciencias agropecuarias, Colombia. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n2/v7n2a04.pdf>
- FAO. (1997). Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55). ISBN 92-5-303875-6. <https://www.fao.org/4/w2598s/w2598s00.htm#Contents>
- Fatula, E., Simon, C., Alecrim, F., Santander, D., MARIotta, J., Fariña, S. & Ciganda, V. (2022). Emisiones de oxido nitroso de la orina de ganado lechero y su relacion con el contenido de nitrógeno ureico en la leche. Revista INIA - N° 70. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Revista-INIA-70-setiembre-2022-09.pdf>
- Fleite, S. N. (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
- Garcia, K. (2015). Manejo de efluentes en instalaciones tamberas. Tecnología Láctea Latinoamericana. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/instalaciones_tambo/36-Manejo_efluentes.pdf
- IFC. (2007). Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento de productos lácteos. Procesamiento de productos lácteos, Word Bank Global. <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2000/2007-dairy-processing-ehs-guidelines-es.pdf>
- 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>
- Loaiza, A. (2009). Gestión del agua en el sector de la ganadería bovina en la cuenca Rio La Vieja departamentos de Quindío y Risaralda. Tesis, Universidad Tecnológica de Pereira. <https://repositorio.utp.edu.co/entities/publication/af3687fa-5910-4e97-a477-d182db333fb1>
- Luque, J. (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>
- Paniagua, W. (2006). Limpieza de la sala para ordeño y corrales de espera en lecherías, con uso racional del agua. Tecnología en Marcha. Vol. 19-2. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835514.pdf>
- Pino, J., García, J., Peña, L., Rendón, J., González, C. & Tristán, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. Agrociencia. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n4/v46n4a4.pdf>