

Diseño y evaluación de un sistema de reúso para el agua residual del lavado de bovinos y sus corrales en la Subasta Santa Clara, Sahagún-Córdoba, Colombia

Design and evaluation of a reuse system for washing of bovines and their corral wastewater at The Santa Clara Auction, Sahagún-Córdoba, Colombia

Jhonatan Barreto Lozano

Ingeniero Sanitario y Ambiental

Termoeléctrica el Tesorito SAS ESP

j-barreto96@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9974-8267>

Colombia

Laura Lambraño Zuluaga

Especialista en Gerencia de Proyectos

Asociación de geógrafos del Caribe Colombiano

lauracristina0209@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6371-4076>

Colombia

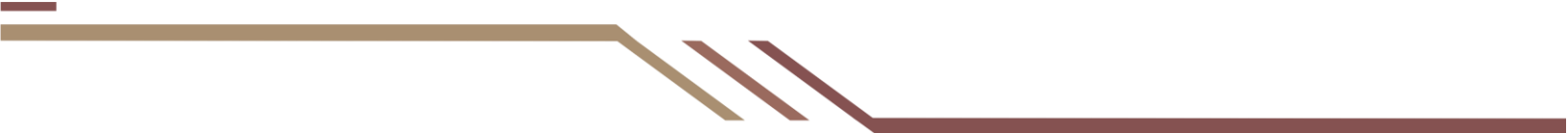
Resumen

El uso indiscriminado del recurso hídrico en acciones que no requieren una alta calidad de agua se ha convertido en una problemática frecuente en el ámbito de la ganadería. En este estudio se diseñó un sistema de reutilización para las aguas residuales del lavado de bovinos y corrales, con el fin de usarlas en el lavado de las instalaciones, a partir de una caracterización fisicoquímica inicial de estas aguas, con una influencia de 700 reses en la Subasta Santa Clara, Sahagún, Córdoba, Colombia. A partir del análisis realizado y mediante una revisión bibliográfica, se diseñó el sistema de reutilización a emplear, integrado por un tanque séptico, sedimentador, filtro anaerobio de flujo ascendente y filtro lento de arena; se determinó la eficiencia de remoción de este sistema por medio de la construcción de una planta piloto, a escala 1:100. Los datos obtenidos durante la puesta en marcha de la planta piloto arrojaron eficiencias de remoción máximas del 83.2%, 91.7%, 99.4% y 93.4% respectivamente para DBO₅, DQO, sólidos suspendidos y turbiedad, concluyendo que el sistema diseñado puede implementarse para la reutilización de las aguas residuales del lavado de bovinos y corrales y su posterior uso para el lavado de las instalaciones.

Palabras clave: Reutilización; aguas residuales; eficiencia de remoción; planta piloto

Abstract

The indiscriminate use of water resources in actions that do not require a high quality of it has become a common problem in the field of animal husbandry. In this study, a regeneration system for wastewater of



washing cattle and corrals, was designed to reuse this water in the wash of the facilities from an initial physicochemical characterization of this water with an influence of 700 animals in The Santa Clara Auction, Sahagún-Córdoba, Colombia. From the analysis, and through a literature review, regeneration system was designed to be used, consisting of a septic tank, sedimenter, up flow anaerobic filter and filter slow sand; the removal efficiency was found by the construction of a pilot plant scale 1:100. The analyzed data showed removal efficiencies maxims of 83.2%, 91.7%, 99.4% and 93.4% respectively for BOD₅, COD, suspended solids and turbidity concluding that the designed system could be implemented for the reuse of the wastewater of washing cattle and corrals and its subsequent use for washing facilities.


Key words: Regeneration; wastewater; removal efficiencies; pilot plant.

Introducción

La ganadería bovina es uno de los sectores más representativos de la economía mundial y, ante todo, nacional, además de ser de gran importancia en el desarrollo del sector rural colombiano, gracias a su nivel de desempeño social y económico en el campo (Loaiza y Osorio, 2009). Esto, de alguna forma, hace que se enfoque su producción hacia el crecimiento económico y productivo, tendiente al bienestar de los comercializadores, entre otros beneficiarios.

Esta actividad depende en gran medida del suministro de agua, tanto en forma permanente como oportuna, pero desafortunadamente este recurso es poco valorado y usado de forma irracional, más aún cuando se cuenta con alta disponibilidad del mismo (Gómez y Rueda, 2011), por lo que surge la idea de la reutilización de estas aguas, la cual, según Cárdenas (2008), es un concepto relativamente nuevo, sobre todo en la mentalidad de aquellas personas que, por tener el recurso a disposición sin limitación alguna, lo consumen y arrojan sus desechos a todo tipo de fuentes receptoras sin discriminación.

En la mayoría de los casos, el abastecimiento se hace de fuentes subterráneas, lo que resulta preocupante, ya que se usan volúmenes considerables de agua con alta calidad en acciones como lavado innecesario de instalaciones, disminuyendo así, la posibilidad de ser utilizada en otra actividad que sí demanden dichas características y que generan aguas residuales con alta carga orgánica (Gómez y Rueda, 2011). Así, la ganadería impacta en la alteración de la calidad, física, química y microbiológica del agua y en la estabilidad de las fuentes hídricas cuando en ellas son vertidas sus aguas residuales, dada la alta cantidad de sólidos y de carga orgánica que poseen, luego de ser empleadas en el lavado de los animales y de las instalaciones (Loaiza y Osorio, 2009).



A pesar de que la actividad ganadera ocasiona muchos impactos sobre el recurso hídrico, son muy pocas las investigaciones en el país enfocadas a mejorar su manejo. Por lo anterior, para la Subasta Santa Clara se pretendió buscar alternativas de tratamiento que mejoren la calidad y aumenten la disponibilidad de este recurso, mediante su reutilización, comprometiéndose a su vez, con su sostenibilidad a lo largo del tiempo; este proceso consiste en devolverle, parcial o totalmente, el nivel de calidad que tenía antes de ser utilizada mediante una serie de tratamientos (Marín, 2012; García, 2013).

Lo anterior, dado que el reúso de este tipo de aguas tiene una historia en México, donde Escalante *et al.* (2014) indican que en este país existe un ejemplo sustancial de reúso de aguas residuales tratadas, donde, de los 50,809.8 l/s de aguas residuales producidas, se utilizan un 22% de dicho caudal en diferentes actividades, tales como: un 33% en riego agrícola, 26% del reúso en procesos industriales, 15% en riego de áreas verdes y el 4% restante, en actividades menores tales como usos urbanos (lavado de autos y calles).

Así mismo, según la Oficina Australiana de Estadísticas (ABS) (citado en Mekala *et al.*, 2008), el volumen de reciclado de aguas residuales ha aumentado un 300% desde 1997 donde había 134 galones de agua reciclada en Australia, que constituyen menos del 1% del agua total utilizada ese mismo año; en 2001 este volumen se incrementó a 516 galones. Para el año 2008, en el país se disponía de más de 580 sistemas de agua reciclada operando; aproximadamente 230 utilizaban agua reciclada en el entorno urbano (por ejemplo, parques recreativos, limpieza de calles); otros 80 en la industria de servicios (lavado y enfriamiento) y los restantes en agricultura (Mekala *et al.*, 2008).

Metodología

La subasta Santa Clara, se encuentra ubicada en el kilómetro 32 vía Colomboy, El Viajano, municipio Sahagún, Córdoba, perteneciente al Caribe Colombiano, altitud de 71 metros sobre el nivel de la mar, localizada así mismo en la troncal de occidente, a 69 kilómetros al nororiente de Montería, capital del departamento. En las coordenadas geográficas 8° 71' 00.87" N y 75° 49' 28.15" O (**figura 1** y **figura 2**). En ella se desarrolla el proceso de compra y venta de bovinos y equinos, el lunes de cada semana, con

influencia aproximada de 700 y 1000 animales, en subastas normales y especiales, respectivamente.

Santa Clara posee un área construida de 4 ha y un terreno total de 200 ha. Para el caso de los corrales o área de lavado, el área es de 0.4 ha. Usualmente, el proceso de lavado de bovinos se da cada día de subasta y los corrales los miércoles, jueves y viernes, realizándose un gasto de 50 m³ semanalmente.



Figura 1. Vista aérea de las instalaciones de la Subasta Santa Clara, Sahagún, Córdoba.
Fuente: Subasta Santa Clara

El enfoque metodológico de la presente investigación fue cuantitativo, al requerir recopilación, análisis y vinculación de datos para ayudar a clarificar y resolver el problema de investigación, mediante la generalización de los resultados. De igual forma, esta investigación fue de carácter cuasi experimental, debido a que no se tuvo control absoluto de todas las variables que intervienen en el diseño del sistema de tratamiento para la reutilización de aguas residuales, además, se realizó en primer lugar una caracterización del agua residual producto del lavado de las instalaciones de la subasta, con el fin de conocer las características iniciales del agua a reutilizar, seguidamente se desarrolló un plan de muestreo que consistía en la toma de muestras compuestas, es decir, en distintas

horas a lo largo del día, donde se tuvo en cuenta el agua producto de las actividades de lavado y el de cada componente del sistema diseñado.



Figura 2. Ubicación geográfica de la Subasta Santa Clara, Sahagún, Córdoba. Fuente: Google Earth

En esta investigación se emplearon los métodos, analítico, deductivo y de síntesis, además se realizó un análisis exploratorio con el fin de determinar los valores de los parámetros como la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO), turbiedad y sólidos totales, disueltos, suspendidos y sedimentables, que pudieran dar respuesta a las interrogantes planteadas en los objetivos de la investigación, la determinación de los valores de estos parámetros fue realizada basada en los métodos de análisis propuestos en el libro de la Asociación de Salud Pública Americana (2005).

Para ello, se efectuó un análisis de perfiles, dispersión y otros que fueron tenidos en cuenta dentro de los softwares estadísticos empleados, en este caso Excel y R Project. Una vez determinadas las condiciones de normalidad de los datos, se procedió con el desarrollo de pruebas no paramétricas como la de Kruskal Wallis, al requerirse la comparación de la eficiencia de remoción de cada variable ya mencionada con el número de veces en que se toma la muestra.

Los datos obtenidos en el desarrollo de la investigación y los pertinentes análisis de laboratorios fueron ordenados, interpretados y analizados empleando el software estadístico R Project y Excel, lo cual permitió un aprovechamiento de los mismos en la determinación de la eficiencia del sistema de tratamiento adoptado.

Resultados y discusión

Según Mejías (2005), las escalas recomendadas para el diseño de una planta piloto de sistemas de tratamiento son 1:10, 1:25, 1:50 y 1:100 y expresa que el diseño de este sistema se debe realizar con un caudal acorde y debe ser regulado dentro de él.

Para el caso de estudio se aplica una escala de 1:100, empleando la siguiente ecuación:

$$Qdp = \frac{Qr}{Escala}$$

Donde:

Qdp = Caudal de diseño de la planta piloto (l/s)

Qr = Caudal real (l/s)

Escala = 100

Teniendo en cuenta que el caudal real es de 0.38 l/s (determinado mediante aforo volumétrico en sitio), así el caudal diseño es el siguiente:

$$Qdp \left(\frac{l}{s} \right) = \frac{0}{100} \frac{l}{s} = 0.0038 \frac{l}{s}$$

En la **tabla 1** se presentan los parámetros de diseño y cálculos correspondientes del dimensionamiento para el tanque séptico del sistema de reutilización piloto.

Tabla 1.

Parámetros y cálculos para el diseño del tanque séptico del sistema de reutilización piloto

Parámetros de diseño		
Caudal	0.004	l/s
Caudal	0.0000038	m ³ /s
Caudal	0.01	m ³ /hr
Caudal	0.33	m ³ /día
Carga DBO5	1507.2	mg/l
Carga DBO5	1.5072	g/l
Carga DBO5	0.0015072	kg/l
Carga DBO5	1.5072	kg/m ³
Cálculos del diseño		
Parámetros de diseño	Valor	Unidad
Carga orgánica	0.5	kg/día
Tiempo de retención	8	hr
Volumen útil	0.1	m ³
Profundidad útil	0.5	m
Área Superficial	0.2	m ²
Relación Largo: Ancho	2:1	
Ancho (B)	0.3	m
Largo (L)	0.7	m
Borde libre	0.2	m
Altura total	0.7	m

Fuente: elaboración propia

Seguidamente se muestran los parámetros de diseño y cálculos correspondientes al dimensionamiento para el sedimentador de este sistema en la **tabla 2**.

Tabla 73*Parámetros y cálculos para el diseño del sedimentador del sistema reutilización piloto*

Parámetros de diseño		
Caudal máximo diario (l/s)	Número de unidades	Caudal por unidad (m ³ /h)
0.004	1	0,01
Caudal por unidad (m ³ /d)	Tiempo de retención hidráulico (Hr)	Carga superficial (m ³ /m ² /día)
0.3	2	10
Cálculos del diseño		
Parámetros de diseño	Valor	Unidad
Volumen de cada tanque	0.03	m ³
Área superficial	0.03	m ²
Relación Largo: Ancho	1-2	
Ancho	0.13	m
Largo	0.3	m
Profundidad útil	0.8	m
Área transversal	0.1	m ²
Velocidad horizontal	0.1	m/hr
Velocidad horizontal	0.004	cm/s
Volumen lodos	0.01	m ³
Altura adicional lodos	0.1	m
Borde libre	0.1	m
Altura total sedimentador	1.0	m

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 3** se exponen los parámetros de diseño y cálculos correspondientes al dimensionamiento para el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).

Tabla 3.

Parámetros para el diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) sistema reutilización piloto

Parámetros de diseño			
Caudal de diseño (l/s)	Caudal de diseño (m ³ /día)	Tiempo de retención hidráulico (4-10 horas)	Concentración de DBO afluente (kg DBO ₅ /m ³)
0.004	0.33	7	0.30
Cálculos del diseño			
Parámetros de diseño	Valor	Unidad	
Diámetro del tanque	0.38	M	
Área superficial	0.1	m ²	
Volumen útil	0.1	m ³	
Altura del Lecho filtrante	0.84	M	
Carga orgánica volumétrica	1.0	kg/m ³ *día	
Eficiencia de remoción del filtro anaerobio	67.1	%	
DBO esperada en el efluente del FAFA	99.1	mg DBO ₅ /l	
Altura borde libre	0.2	M	
Falso fondo	0.2	M	
Altura total del FAFA	1.2	M	
Volumen total del FAFA	0.1	m ³	

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 4** se muestran los parámetros de diseño y cálculos para el filtro lento de arena.

Tabla 75

Parámetros y cálculos para el diseño del filtro lento en arena del sistema de reutilización piloto

Parámetros de diseño				
Caudal de diseño (l/s)	Caudal de diseño (m ³ /h)	Velocidad de filtración (0,1 - 0,5 m/h)	Número de unidades	Caudal de diseño por unidad (m ³ /h)
0.004	0.01	0.4	1	0.01
Cálculos del diseño				
Parámetros de diseño			Valor	Unidad
Área superficial total requerida			0,03	m ²
Área superficial por unidad			0,03	m ²
Diámetro del tanque a emplear			0,21	m
Diámetro comercial			0,30	m
Caudal por unidad			0,01	m ³ /h
Velocidad de filtración en cada unidad			0,19	m/h

Fuente: elaboración propia

Así mismo, en la **tabla 5** se muestra el diseño del lecho filtrante para el filtro lento de arena.

Tabla 5.

Diseño del lecho filtrante de arena sistema reutilización piloto

Diseño de lechos filtrantes	Valor	Unidad	Características
Soporte	0.1	M	Grava gruesa (7-8 cm de diámetro)
Lecho 1	0.1	M	Arena gruesa (0.9 – 1.1 mm)
Lecho 2	0.2	M	Arena fina (0.3 – 0.45 mm)
Tiempo de retención hidráulico	2	Hr	
Borde libre	0.2	M	
Altura total requerida	0.6	M	

Fuente: elaboración propia

Los materiales de construcción para el sistema diseñado fueron: lámina galvanizada para el caso del tanque séptico, sedimentador y flujo anaerobio de flujo ascendente; para el filtro lento de arena, accesorios y conexión del sistema, se utilizó tubería PVC de ¾”.

Por otro lado, para calcular la eficiencia relativa o eficiencia de remoción del sistema de reutilización se empleó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{(Se - Sa)}{Se} * 100$$

Donde:

Se = concentración efluente (mg/l)

Sa = concentración afluente (mg/l)

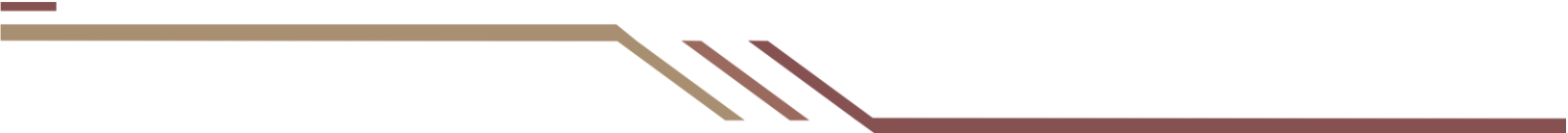
Esta ecuación se utilizó en cada uno de los componentes del sistema, es decir, tanque séptico, sedimentador, filtro anaerobio de flujo ascendente y filtro lento de arena, así como de la planta piloto en general. A continuación, en la **tabla 6**, se observan las eficiencias de remoción por variables.

Tabla 6.

Eficiencia de remoción del sistema de reutilización por parámetro

Eficiencia de Remoción del Sistema de Reutilización por Variable (%)							
Veces en que se toma la muestra	Turbiedad	DBO ₅	DQO	Sólidos Totales	Sólidos Suspendedos	Sólidos Disueltos	Sólidos Sedimentables
1	98.5	70.1	78.6	82.9	76.7	84.3	100
2	94.1	63.5	82.1	81.3	73.0	83.1	100
3	90.1	71.4	84.5	86.2	75.0	88.1	100
4	92.1	76.4	88.9	88.0	80.2	89.3	100
5	97.6	80.5	85.0	87.8	94.4	84.9	100
6	93.4	83.2	91.7	95.0	99.4	92.0	100

Fuente: elaboración propia




En el diseño del sistema de reutilización para las aguas residuales provenientes del lavado de bovinos y corrales de la Subasta Santa Clara, Sahagún-Córdoba, se tuvo en cuenta los resultados de trabajos anteriores como el de Madera, Silva y Peña (2005), quienes obtuvieron eficiencias promedio hasta del 57% para DQO con un tanque séptico seguido de un FAFA. Así mismo, Márquez (2008) logró remover entre 30 a 50% de DBO₅ y entre 50 a 70% de sólidos suspendidos, empleando un tanque séptico como tratamiento para aguas residuales, lo cual está acorde a lo obtenido en este trabajo.

En cuanto a los sedimentadores, el porcentaje de remoción obtenido para turbiedad, DBO₅ y DQO por Serrano, Hinojosa y Sierra (2016), se encuentra en el orden del 70 al 80%, el cual no es semejante a lo encontrado en esta investigación, debido a que las condiciones y fines de la operación del sistema fueron diferentes. Para el caso de los sólidos sedimentables, lo obtenido en este trabajo apoya lo descrito por Borja (2011), en cuanto a los sedimentadores, cuyo objetivo principal es la eliminación de los mismos.

Las eficiencias de remoción obtenidas con el FAFA coinciden con lo estipulado por Sharma, Khursheed y Kazmi (2014), quien obtuvo valores en aguas residuales domésticas del 88.6% para DQO, 86.3% para DBO₅ y 91.2% para sólidos suspendidos totales utilizando un tanque séptico y un FAFA. Del mismo modo, Chen *et al.* (2017) y Li, Liu y Sun (2015), empleando tratamientos anaerobios como el FAFA, lograron remover entre 85% y 97% de la materia orgánica presente en aguas residuales; Ghanimeh *et al.* (2017) y Kang *et al.* (2007) lograron obtener eficiencias de remoción de la materia orgánica superior al 60% utilizando estos procesos.

Por otro lado, Ali *et al.* (2013), encontraron que la filtración lenta en arena era capaz de eliminar hasta el 86% de la DBO₅, 68% de sólidos suspendidos y 88% para turbiedad; así mismo Tyagi, Khan, Kazmi, Mehrotra y Chopra (2009), obtuvieron una eficiencia del 91.6% para turbiedad, 89.1% para los sólidos suspendidos, 77% para DQO y 85% para DBO₅. Estos mismos autores expresan que estas estructuras funcionan como postratamiento para el efluente de los anteriores procesos y es similar a lo que aporta el componente de filtración lenta dentro del sistema de reutilización diseñado, ya que las eficiencias de remoción obtenidas en este proceso están en el orden de las planteadas por los autores.



Por último, al realizar la prueba con R Project para cada uno de los parámetros, se obtuvo un p-valor descriptivo que, comparado con el nivel de significación (0.05), resultó mayor, lo que permite aceptar la hipótesis nula (H_0), por lo que el sistema sí tiene eficiencia de remoción.

Conclusiones

La presente investigación se centró en diseñar un sistema de reutilización para las aguas residuales provenientes del lavado de bovinos y corrales de la Subasta Santa Clara, Sahagún, Córdoba, con el fin de emplearlas en el lavado de las instalaciones, obteniendo que:

- 1) Las aguas residuales, con un caudal promedio de 0.38 l/s, poseen altas concentraciones de DBO_5 , DQO, sólidos, alta turbiedad y presencia de nutrientes como nitrógeno y fósforo, debido al tipo de actividad que allí se desarrolla.
- 2) Teniendo en cuenta normatividad referente a reúso de agua residual, tales como el Real Decreto Español 1620, Norma Oficial Mexicana de 1997 y la Resolución Colombiana 1207 del 2014, las variables fisicoquímicas seleccionadas a remover del agua residual producto del lavado de las instalaciones de la subasta para su posterior uso, corresponden a DBO_5 , DQO, turbiedad y sólidos.

El sistema de reutilización a emplear se estableció teniendo en cuenta el porcentaje de remoción requerido para cada variable y a la revisión bibliográfica, por ello se contempló un sistema en serie compuesto de rejilla, tanque séptico, sedimentador, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) y filtro lento en arena (FLA).

- 3) Con la puesta en marcha de la planta piloto escala 1:100, las eficiencias de remoción del sistema para DBO_5 , DQO, turbiedad, sólidos totales, sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables fueron del 63% al 83.2%, del 78.6% al 91.7%, del 90% al 97.6%, del 81% al 95%, del 83% al 92%, del 73% al 99.4% y del 100% respectivamente, gracias a la acción conjunta de todos los componentes del sistema de reutilización diseñado.
- 4) El sistema diseñado tiene eficiencia de remoción de las variables estudiadas, permitiendo su implementación para la reutilización de las aguas residuales provenientes del lavado de bovinos y corrales y su posterior uso para el lavado de las instalaciones en la Subasta Santa Clara, dado que la concentración final del

efluente del sistema de tratamiento se encuentra acorde a lo establecido en la legislación colombiana.

- 5) La reutilización de aguas residuales se puede convertir en una excelente alternativa para aquellas zonas donde la disponibilidad de agua potable sea escasa o donde se busque mitigar el impacto ambiental causado por el aprovechamiento hídrico; especialmente en actividades que no demanden alta calidad del recurso, tales como labores de limpieza, riego, entre otros.

Literatura citada


Ali, A., Zahid, R., Ahmad, A. y Lew, B. (2013). *Sustainable Post Treatment Options of Anaerobic Effluent*. In Chamy R. (Ed.). Biodegradation. London: IntechOpen. DOI: [10.5772/56097](https://doi.org/10.5772/56097)

American Public Health Association. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Volmen 21. Washington, DC, USA.: American Public Health Association.

Borja, M. (2011). *Diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales de Guaranda*. Tesis de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Rio Bamba, Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1626/1/236T0043.pdf>

Cárdenas, D. C. (2008). *Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales para su reúso en el proceso productivo de una industria de jabones*. Tesis de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://xdoc.mx/download/optimizacion-de-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-5cc75a426cb4a?hash=f31a0636a511e565e3d8f4e3d56b6680>

Chen, J., Liu, Y. S., Yang, Y. Q., Hu, L. X., Yang, Y. Y., Zhao, J. L., Chen, F. R. y Ying, G. G. (2017). Removal of antibiotics from piggery wastewater by biological aerated



filter system: Treatment efficiency and biodegradation kinetics. *Bioresource Technology*, 238: 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.023>.

Escalante, V., Cardoso, L., Ramírez, E., Moeller, G., Mantilla, G., Montecillos, J., Servín, C. y Villavicencio, F. (2014). *Reúso del agua residual tratada en México*. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Instituto Cinara, Universidad del Valle. Cali, Colombia. P.p. 230-236. Recuperado de: http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-28_11-00-54111051.pdf

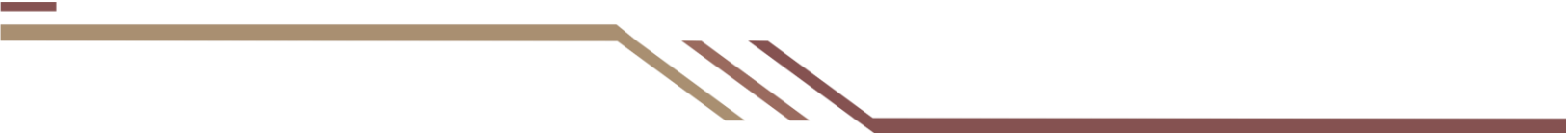
García, J. C. (2013). *Regeneración y reutilización del agua*. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua, Universidad de Salamanca. Salamanca, España. Recuperado de: <http://cidta.usal.es/formacion/Reutilizacion.pdf>


Ghanimeh, S., Khalil, C., Mosleh, C. y Habchi, C. (2017). Optimized anaerobic- aerobic sequential system for the treatment of food waste and wastewater. *Waste Management* 71, 767-774. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.027>

Gómez, J. D. y Rueda, R. A. (2011). *Productividad del sector ganadero bovino en Colombia durante los años 2000 a 2009*. Trabajo de Grado. Colegio Mayor Nuestra Señora del Rosario. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/2629/1047396260-2011.pdf?sequence=1>

Kang, H., Cha, Y. C., Hur, K. B. y Rhim, S.-K. (2007). *Anaerobic Pretreatment of Swine Wastewater Using Hycem Filter for Subsequent BNR process*. Proceedings of the Annual Conference of the Japan Society of Waste Management Experts 18, 40-42. Recuperado de: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jswmepac/18/0/18_0_337/article/-char/ja/

Li, K., Liu, R. y Sun, C. (2015). Comparison of anaerobic digestion characteristics and kinetics of four livestock manures with different substrate concentrations. *Bioresource Technology* 198, 133-140. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415012675>

- 
- Loaiza, Y. y Osorio, A. (2009). *Gestión del agua en el sector de la ganadería bovina en la cuenca río La Vieja, departamentos de Quindío y Risaralda*. Tesis de Administrador del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1195/6281586132L795.pdf?sequence=1>
- Madera, C. A., Silva, J. P. y Peña, M. R. (2005). Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basado en tanque séptico - filtro anaerobio y humedales sub-superficiales. *Ingeniería y Competitividad* 7(2), 5-10. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/2913/291323478001.pdf>
- Marín, M. C. (2012). *Reutilización aguas residuales. Tratamientos*. Marín Pons & Asociados, S. R. L. Recuperado de: <http://marinponsasociados.com/PDFINDUSTRIA/REUTILIZACIONAGUASRESIDUALES.pdf>
- Márquez, E. R. (2008). *Alternativas de recolección y tratamiento de aguas residuales domésticas para pequeñas comunidades en el Departamento de Sucre*. Tesis de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Sucre. Sincelejo, Sucre, Colombia. Recuperado de: <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/296/2/628.3M357.pdf>
- Mejias, J. (2005). *Estudio sobre la depuración de los lixiviados de vertederos de RSU con cenizas volantes zeolitizadas*. Antecedentes Obtenido de Universidad de Sevilla: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20028/fichero/2_ANTECEDENTES%252F2_ANTECEDENTES.pdf
- Mekala, G., Davidson, B., Samad, M. y Boland, A. (2008). *Wastewater Reuse and Recycling systems: a perspective into India and Australia*. Working paper 128. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. Recuperado de: http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Working_Papers/working/WOR128.pdf



Serrano, D., Hinojosa, O. y Sierra, L. (2016). *Eficiencia de un sedimentador para remover nitrógeno, fósforo, sst y dco utilizando coagulantes químicos tratando el efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Valledupar*. Proyecto de grado, Universidad Popular del César. Valledupar, César, Colombia. Recuperado de: <http://hemeroteca.unicesar.edu.co/spip.php?article9988>

Sharma, M. K., Khursheed, A. y Kazmi, A. A. (2014). Modified septic tank-anaerobic filter unit as a two-stage onsite domestic wastewater treatment system. *Environmental Technology* 35(17), 2183-2193. Recuperado de: <http://iahr.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09593330.2014.896950?scroll=topyneed>
[Access=true](#)

Tyagi, V. K., Khan, A. A., Kazmi, A. A., Mehrotra, I. y Chopra, A. K. (2009). Slow sand filtration of UASB reactor effluent: A promising post treatment technique. *Desalination*, 249(2): 571-576. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916409008054>