

Aplicación de filtros lentos de arena para la descontaminación de efluentes de lagunas de oxidación



<https://cu-id.com/2177/v31n4e06>

Application of Slow Sand Filters for the Decontamination of Effluents from Oxidation Lagoons

^①Carlos M. Martínez-Hernández^{I*}, ^②Jesús A. Sánchez-Jassa^{II},
^③Nilda Rosa Martínez-Flores^{III}, ^④István Gómez-Ríos^I

^IUniversidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

^{II}Grupo Azucarero AZCUBA, Sata Clara, Villa Clara, Cuba.

^{III}Ministerio de Salud Pública (MINSAP), Centro Provincial de Higiene y Epidemiología, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

RESUMEN: Utilizando filtros lentos de arena a pequeña escala se probó su efecto descontaminante. El trabajo se realizó con el objetivo de eliminar la contaminación de los efluentes de lagunas de oxidación de dos Centrales Azucareros “Carlos Baliño” y “Melanio Hernández”. Los efluentes fueron tomados en la región central del país (Santo Domingo, Villa Clara y Tuinicú, Sancti Spíritus). Se probó el efecto descontaminante de efluentes de lagunas de oxidación posterior a su paso por un filtro lento de arena en cascadas ante diferentes tratamientos investigados. Los efluentes fueron diluidos en agua destilada en las siguientes proporciones: T1(10%), T2(25%), T3 (50%), T4 (75%), T5 y T6 (no diluidos). En los efluentes, se determinaron: sus características físico-químicas y microbiológicas, anteriores y posteriores a su paso por los filtros lentos de arena. En la mayoría de los efluentes evaluados, tanto sus características físico-químicas, como en la carga microbiana se obtuvo una reducción notable; obteniendo valores por debajo de los indicadores permitidos por las normas cubanas vigentes ([NC-27: 2012](#); [NC-1095: 2015](#) y [NC-855: 2011](#)).

Palabras clave : lagunas de oxidación, características físico-químicas y microbiológicas, filtros lentos de arena.

ABSTRACT: Using slow sand filters on a small scale, their decontaminating effect was tested. The work was carried out with the objective of eliminating the contamination of the effluents from the oxidation lagoons of two sugar mills "Carlos Baliño" and "Melanio Hernández". The effluents were taken in the central region of the country (Santo Domingo, Villa Clara and Tuinicú, Sancti Spíritus). The decontaminating effect of effluents from oxidation ponds after their passage through a slow sand filter in cascades was tested for different investigated treatments. The effluents were diluted in distilled water in the following proportions: T1 (10%), T2 (25%), T3 (50%), T4 (75%), T5 and T6 (undiluted). In the effluents, the following were determined: their physical-chemical and microbiological characteristics, before and after their passage through the slow sand filters. In most of the effluents evaluated, both their physical-chemical characteristics and the microbial load showed a notable reduction; obtaining values below the indicators allowed by current Cuban standards (NC-27: 2012; NC-1095: 2015 and NC-855: 2011).

Keywords: Oxidation Ponds, Physical-Chemical and Microbiological Characteristics, Slow Sand Filters.

INTRODUCCIÓN

La filtración lenta de arena ha sido ampliamente usada como método para mejorar la calidad del agua en diferentes regiones del planeta, debido a su simplicidad en la operación y a sus numerosas ventajas. En las últimas décadas estos han sido

implementados para mejorar las condiciones del agua después de eventos meteorológicos y desastres naturales cuando se ve truncado el tratamiento por los métodos tradicionales de potabilización o para uso individual en las viviendas, teniendo gran acogida.

*Author for correspondence: Carlos M. Martínez-Hernández, e-mail: carlosmh@uclv.edu.cu

Recibido: 06/02/2022

Aceptado: 14/09/2022

Se ha demostrado que los filtros lentos de arena han funcionado de manera exitosa en zonas tanto urbanas como rurales alrededor del mundo, muchas de las cuales subsisten de manera precaria, permitiendo mejoramientos en materia de salud pública y en la calidad de vida de los habitantes de éstas zonas, incluso en se ha evidenciado su buen funcionamiento y el impacto positivo que generan este tipo de tecnologías.

En investigaciones recientes [Francesena \(2016\)](#); [Villareal \(2017\)](#); [Brito et al. \(2019\)](#); [Fabregat \(2019\)](#); [Llama \(2019\)](#); [Sánchez \(2020\)](#), se ha evaluado el método de filtración lenta de arena como alternativa para obtener efluentes de lagunas de oxidación poco agresivos al medio ambiente con materiales locales disminuyendo costos y ofreciendo una alternativa ante las condiciones actuales de estos efluentes, los cuales son vertidos al medio con alto valor de contaminación.

Algunos de estos estudios, se han referido a la implementación de sistemas de filtros lentos de arena a escala de laboratorio con el fin de tratar los efluentes de lagunas de oxidación, para posteriormente medir ciertos parámetros de los efluentes tratados y compararlos con la normativas cubanas [NC-27:12 \(2012\)](#) de agua residuales y [NC-855:11 \(2011\)](#) para la utilización de los residuales de la Industria Azucarera en el fertirriego de la caña de azúcar.

En las investigaciones referenciadas anteriormente, se ha podido constatar que los filtros lentos de arena son una buena alternativa para mejorar la calidad de los efluentes de biodigestores en producción, obteniendo altos porcentajes de remoción de DQO, DBO₅, ST, coliformes fecales, termotolerantes y *Pseudomonas aeruginosas* en investigaciones recientes sobre el tema a nivel nacional e internacional.

Motivado por algunas de las investigaciones referenciadas previamente y como parte de un proyecto de investigación en curso del Dpto de Ingeniería Agrícola de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, el cual ha sido de interés para el CAI “Carlos Baliño”. Se decidió llevar a cabo en la región central de Cuba (provincias de Villa Clara y Sancti Spiritus), toma de muestras de efluentes en la lagunas de oxidación de los CAI “Carlos Baliño” y “Melanio Hernández” para su estudio y valoración, motivado por ser una zona muy significativas que refleja la situación actual en materia de uso y tratamientos de efluentes de lagunas de oxidación, por lo cual los resultados obtenidos en esta investigación pudieran ser usados como base para el desarrollo de futuros proyectos de ingeniería que brinden otro tipo de soluciones a la problemática planteada (gran proliferación de lagunas de oxidación en el territorio central de Cuba; así como la ocurrencia de fenómenos atmosféricos de gran magnitud en el último lustro), lo cual pone de manifiesto que estos efluentes son

peligrosos al medio ambiente ya que pueden contaminar las aguas superficiales y profundas al ser vertidos indiscriminadamente al medio ambiente sin ningún tipo de tratamiento previo. Sobre esta base, este trabajo se planteó como **objetivo**: Evaluar el efecto de filtros lentos de arena para el tratamiento de efluentes de las lagunas de oxidación de los Complejos Agroindustriales “Carlos Baliño” y “Melanio Hernández” con diferentes porcentos de dilución en agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fabricación del biofiltro de grava, arena, zeolita y carbón vegetal. Ensayos hidráulicos

La confección del biofiltro a escala de laboratorio se realizó con materiales del territorio de Villa Clara y Sancti Spiritus principalmente siguiendo algunos de los criterios obtenidos en la revisión bibliográfica: como tamaño medio de las partículas de los materiales utilizados, los que se exponen posteriormente en este epígrafe.

Materiales

Los materiales usados son de adquisición propia y para ello se utilizaron 3 tanques plásticos de polietileno de alta densidad (PAD) a 5 L cada uno llenados con los respectivos materiales: el primero se cargó con arena lavada, el segundo con Zeolita y el tercero con grava y carbón vegetal. Las alturas de los medios filtrantes fueron 8, 8 y 16 cm respectivamente. En el tanque 1, se añadió una cantidad de 2000 cm³ de arena lavada; en el tanque 2, se añadió una cantidad de 2000 cm³ de zeolita; mientras que en el tanque 3, fue añadido 3000 cm³ (2000 cm³grava + 1000 cm³carbón vegetal).

Toma de muestras iniciales

Cálculo del espesor de la capa filtrante

La pérdida de carga (es decir, la caída de presión) que se produce cuando el agua limpia fluye a través de un medio de filtro limpio se puede calcular a partir de ecuaciones conocidas. El flujo a través de un filtro limpio de tamaño de grano ordinario (es decir, de 0,5 mm a 1,0 mm) a la filtración ordinaria. Las velocidades (4,9 a 12,2 m/h) estarían en el rango de flujo laminar representado por la ecuación de Kozeny que es dimensionalmente homogénea (es decir, se puede usar cualquier unidad consistente que sea dimensionalmente homogéneo) según [Letterman, \(2010\)](#). Pero como el agua a tratar no es limpia se tuvo en cuenta un cálculo más simple y se consideró el cálculo por la ecuación de Darcy ([Ec. 1](#)) adaptada a un filtro según [Sánchez \(1997\)](#).

$$(H_1 - H_2) = \frac{vf}{k} \times L \quad (1)$$

donde:

L = grosor de la capa de arena, cm;

k o k_f = coeficiente de permeabilidad;

H_1 = pelo de agua cruda o a tratar, cm;

H_2 = pelo de agua tratada, cm;

v_f = velocidad de filtración en el lecho de arena, cm^3/s .

Diseño del flujo del filtro

Con la velocidad de filtración de las muestras y el área de salida del filtro se procedió a calcular el flujo del filtro por la [expresión 2.2](#):

$$Q = A \times vf$$

donde:

Q = flujo, m^3/s ;

A = área de salida, m^2 ;

vf = velocidad de salida, m/s .

Análisis físico-químico de los efluentes

Las muestras objeto de investigación se transportaron a los laboratorios del Centro de Bioactivos Químicos (CBQ) de la Universidad Central de Las Villas (UCLV) y a la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST), de Santa Clara, Villa Clara para la determinación de los parámetros objeto de estudio. En todos los casos, fueron ejecutadas tres mediciones de las variables: temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE), sales solubles totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO_5) y la carga microbiana por tratamiento evaluado en cada una de las lagunas de oxidación analizadas. Estas muestras fueron caracterizadas según los criterios estipulados por las normas cubanas [NC-855:11 \(2011\)](#) y [NC-27: 12 \(2012\)](#). Los efluentes fueron analizados (a la salida de las lagunas de oxidación) y posterior a su paso por los filtros lentos de arena que actúan en tres cascadas (filtro de grava + carbón vegetal; filtro de arena+zeolita; filtro de arena).

Determinación de la carga microbiana en los efluentes

Se colectaron los efluentes en pomos plásticos de 1500 mL, y se llevaron rápidamente al laboratorio de microbiología del Centro Provincial de Higiene y Epidemiología de Santa Clara, Villa Clara, donde se determinaran coliformes totales, coliformes termo tolerantes y *pseudomonas aeruginosas*, a la salida de las lagunas de oxidación y posterior a su paso por los filtros lentos de arena. Los valores obtenidos se contrastaron con los valores estipulados por las normas cubanas ([NC-855:11, 2011](#); [NC-27: 12, 2012](#); [NC-1095-15, 2015](#)).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del diseño del filtro

Análisis granulométrico

Tomando como referencia los estudios de [Villareal \(2017\)](#), se asume que el análisis granulométrico de la fracción de arena de Arimao y de la Zeolita, utilizando para ello la serie de tamices [ASTM D 2434 \(1997\)](#), es semejante al utilizado en este trabajo, en el cual se utilizaron los mismos materiales. Con el análisis anterior se puede concluir que la arena con saneamiento y la zeolita tienen una distribución granulométrica aceptada para la construcción del biofiltro.

Resultados del caudal de diseño del filtro

Tomando como referencia los filtros lentos de arenas ejecutados por [Fabregat \(2019\)](#), con la velocidad de filtración de las muestras y el área de la sección transversal de salida del filtro, se procede a calcular el caudal de diseño mediante la [ec. 2](#).

Sustituyendo valores en la [ecuación 2](#), se tiene que:

$$Q = 3,8 \cdot 10^{-8} \text{m}^3/\text{s}$$

Se aclara que para la determinación del caudal de diseño del filtro se utilizó agua común como fluido, no obstante, también se determinó en todos los efluentes investigados. Tomándose la velocidad del fluido real como un promedio de los valores determinados a escala reducida en los efluentes investigados a la salida del filtro lento de arena, siendo este valor igual a $0,25 \text{ cm}^3/\text{s}$.

Resultados del cálculo del espesor de la capa filtrante

Sustituyendo en la ecuación de Darcy ([Ec 1](#)) adaptada a un filtro. Se tiene que:

$$L = 3,12 \text{ cm}$$

El espesor de la capa filtrante se asumió $L = 8 \text{ cm}$, prácticamente el doble de lo determinado por cálculo, con el objeto de obtener un buen filtrado de los efluentes, al ser estos un fluido muy contaminado.

Análisis de los parámetros físico-químico

Temperatura del agua

Para la medición de la temperatura se utilizó un termómetro de mercurio y se realizó la medición antes y después del proceso de filtrado del agua. En la [Tabla 1](#) se presentan los resultados obtenidos.

Se pudo observar ([Tabla 1](#)) que la temperatura del agua de los efluentes del “Melanio Hernández” disminuyen desde $28,8$ hasta $27,0$ ($^{\circ}\text{C}$); mientras que los efluentes del “Carlos Baliño” después del proceso de filtrado oscilan entre $23,6$ y $25,8$ ($^{\circ}\text{C}$) refrescando

TABLA 1. Comparación de la temperatura anterior y posterior al proceso de filtrado

Tratamientos Efluentes (%) dilución	Efluentes Melanio Hernández	Efluentes Carlos Baliño	Temperatura antes del filtrado (°C)	Temperatura después del filtrado (°C)
10	T1 MN	T1 CB	25,9 (25,9)	28,7 (23,8)
25	T2 MN	T2 CB	28,0 (28,0)	28,6 (23,6)
50	T3 MN	T3 CB	28,8 (28,8)	28,9 (23,6)
75	T4 MN	T4 CB	28,4 (28,4)	27,0 (23,6)
No diluido	T5 MN (n.d)	T5 CB (n.d)	28,6 (28,6)	27,3 (25,8)

Leyenda: n.d. no diluido; CB-Carlos Baliño; MH-Melanio Hernández; valores entre paréntesis se refieren a Carlos Baliño.

debido al paso del líquido por los intersticios, propiedad que adquiere el agua y la hace más aceptable al paladar (en agua potable) y que permite la disminución de los microorganismos presentes en ella, ya que la disminución de la temperatura influye en la proliferación de estos bióticos anulando los procesos de reproducción. De acuerdo con [Torres \(2015\)](#) el rango obtenido está en el rango de la temperatura óptima (25-35 °C).

Análisis de la DQO

A continuación, se presenta los resultados obtenidos. En la [Tabla 2](#) se analiza esta variable según [NC-27: 12 \(2012\)](#) y se compara la DQO anterior y posterior al proceso de filtrado.

Del análisis de la [Tabla 2](#), se pudo observar que todos los tratamientos cumplen con la norma cubana [NC-27: 12 \(2012\)](#) posterior al paso de los efluentes por los diferentes filtros. Mostrando un buen efecto de los filtros lentos al reducir o mantener el valor de la DQO excepto en el tratamiento T3. Según [Torres \(2015\)](#) en los reactores biológicos el control de la

cantidad de oxígeno disuelto es uno de los valores críticos a controlar.

Análisis de la DBO₅

En la [Tabla 3](#) se presentan un cuadro comparativo del DBO₅, anterior y posterior a la biofiltración.

Del análisis de la [Tabla 3](#), se pudo observar que existe una reducción en los tratamientos T3 y T4, se mantiene con igual valor el tratamiento T5 y los tratamientos T1 y T2 aumentan los valores de la DBO₅ posterior al proceso de filtrado; lo cual confirma el buen trabajo de los filtros lentos. De acuerdo con [Torres \(2015\)](#) este indicador permite medir la eficacia en los diferentes procesos de depuración y realizar ajustes.

Análisis del pH y conductividad

En la [Tabla 4](#) se presentan los resultados del análisis del pH anterior y posterior al filtrado.

Del análisis de la [Tabla 4](#) se pudo observar un ligero aumento de los valores de pH, en todos los

TABLA 2. Cuadro comparativo del DQO, anterior y posterior a la biofiltración

Tratamientos Efluentes diluidos (%)	DQO (mg L ⁻¹) Anterior	DQO (mg L ⁻¹) Posterior	Límite máximo
T1 CB (10)	118	118	<700
T2 CB (25)	118	118	<700
T3 CB (50)	118	177	<700
T4 CB (75)	118	73	<700
T5 CB (n.d)	118	88	<700
T6 MH (n.d)	n.e	n.e	<700

Leyenda: n.e- No evaluado.

TABLA 3. Cuadro comparativo del DBO₅, anterior y posterior a la biofiltración

Tratamientos. Efluentes diluidos (%)	DBO ₅ (mg L ⁻¹) Anterior	DBO ₅ (mg L ⁻¹) Posterior	Límite máximo NC-27: 12 (2012)
T1 CB (10)	54	59	<300
T2 CB (25)	54	88	<300
T3 CB (50)	54	36	<300
T4 CB (75)	54	44	<300
T5 CB (n.d)	54	54	<300
T6 MH (n.d)	n.e	n.e	<300

Leyenda: n.d (no diluido); n.e (no evaluado).

TABLA 4. Análisis del pH anterior y posterior al filtrado

Tratamientos. Efluentes diluidos (%)	pH obtenido		
	Anterior	Posterior	NC-855:11, 2011
	Efluentes	Efluentes	pH
T1 CB (10)	7,80	8, 82	No utilizar
T2 CB (25)	7,98	8, 58	No utilizar
T3 CB (50)	7,79	8, 33	Mala
T4 CB (75)	7,98	7, 36	Regular
T5 CB (n.d)	7, 43	7, 92	Mala
T6 MH (n.d)	7, 00	7, 80	Regular

Leyenda: n.e (no evaluado); n.d- (no diluidos).

tratamientos, excepto en el T4. Se compara con la norma cubana [NC-855:11 \(2011\)](#), para su aplicación como fertirriego. Según su comparación con la Norma Cubana, los tratamientos T1 y T2 no deben ser utilizados. De acuerdo con [Torres \(2015\)](#) los vertidos de residuales urbanos oscilan entre un valor de pH 6,5 y 8, las variaciones de estos intervalos son debido a vertidos incontrolados de origen industrial. De acuerdo con la norma cubana [NC-855:11 \(2011\)](#), estos efluentes en la variable pH, se pueden catalogar de regulares a malos, para su aplicación en fertirriego a la caña de azúcar.

En la [Tabla 5](#) se presentan los valores de conductividad eléctrica y sales solubles totales anterior y posterior al filtrado.

Del análisis de la [Tabla 5](#), en la variable conductividad eléctrica (C.E), se pudo observar que los tratamientos T2, T4, T5 y T6 (catalogados como buenos) posteriores a su paso por los filtros lentos, cumplimentan la norma cubana [NC-855:11 \(2011\)](#). No siendo así en los casos de los tratamientos T1 y T3 (catalogados como regulares). De acuerdo con [Vázquez y Torres \(2006\)](#), los factores fundamentales que afectan la adsorción salina son: la temperatura, la luz, la concentración de hidrógeno, la concentración de oxígeno, la interacción de los elementos minerales, el crecimiento, la concentración de sales minerales y el contenido de agua en el suelo. Por lo que los resultados obtenidos aquí, están en correspondencia con estos autores y reafirman el buen trabajo de los filtros lentos. Según [Torres \(2015\)](#) los valores

normales de conductividad en aguas residuales urbanas oscilan en el rango de 0,500 - 1,500 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). En el caso de la variable sales solubles totales (SST), se presentó un aumento desde 363 hasta 895 mg L^{-1} según se incrementó el grado de dilución, pero en todos los casos se cumplimentó lo establecido en la norma cubana [NC-855:11 \(2011\)](#), que lo limita a $< 960 \text{ mg L}^{-1}$ incluso para la muestra no diluida.

Ensayo de permeabilidad a carga constante

Este ensayo no pudo efectuarse por encontrarse roto el Permeámetro Combinado, Modelo: K-605.

Determinación de la permeabilidad real:

Mediante cronometraje se determinó la permeabilidad real en efluentes investigados de acuerdo con los filtros utilizados como modelos. La [Tabla 6](#) muestra los resultados.

Se pudo apreciar que los valores de permeabilidad en el filtro No.1, mostraron una variación desde 5,86

hasta 7,66 estando en correspondencia con el rango de valores teórico planteado por ([Villareal, 2017](#)).

En el caso del filtro No.2, los valores oscilaron entre 0,30 hasta 2,53, estando estos valores por encima de los teóricos. Mientras que en el filtro No.3, los valores oscilaron desde 0,22 hasta 0,78 estando algunos valores dentro del rango teórico planteado por [Villareal \(2017\)](#). Lo anterior pudiera estar relacionado con las características propias de los materiales utilizados como materia filtrante.

TABLA 5. Valores de conductividad y sales solubles totales anterior y posterior al filtrado

Tratamientos. Efluentes diluidos (%)	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Sales solubles totales (SST) ppm	Sales solubles totales (SST) ppm
	anterior	posterior	anterior	posterior
T1 CB (10)	1,372	1,70	>960	363
T2 CB (25)	1,230	1,07	>960	587
T3 CB (50)	1,043	1,56	>960	727
T4 CB (75)	0,909	1,08	>960	895
T5 CB (n.d)	0,183	0,6	>960	959
T6 MH (n.d)	2,280	1	n.e	n.e

TABLA 6. Permeabilidad real y teórica

Tratamientos Efluentes diluidos (%)	Permeabilidad, (cm ³ /s)	Filtro-F1 (Grava+carbón vegetal)	Filtro-F2 (Zeolita)	Filtro-F3 (Arena lavada)
	Permeabilidad teórica, (cm ³ /s)	3-10 (cm ³ /s)	0,0978 cm ³ /s	0,4-0,01 (cm ³ /s)
	Permeabilidad real/tratamiento, (cm ³ /s)			
T1 CB (10)		6,97	0,20	0,22
T2 CB (25)		7,66	0,18	0,17
T3 CB (50)		7,11	0,19	0,16
T4 CB (75)		6,75	0,20	0,22
T5 CB (n.d)		5,86	0,19	0,27
T6 MH (n.d)		7,24	0,43	0,48

TABLA 7. Análisis microbiológico de los efluentes analizados anterior y posterior al filtrado

Tratamientos Efluentes diluidos (%)	Coliformes totales		Coliformes termo tolerantes		Pseudomonas areuginosas	
	(NMP/100mL)					
	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior
T1 CB (10)	>1600	>1600	>1600	7,8	12	1,8
T2 CB (25)	>1600	7,8	>1600	4,5	39	9,3
T3 CB (50)	>1600	1600	>1600	1600	39	27
T4 CB (75)	>1600	>1600	>1600	1600	24	22
T5 CB (n.d)	>1600	1600	>1600	1600	26	1,8
T6 MH (n.d)	>1600	1600	47	1600	1,8	1,8

Legenda: *NC-1095: 2015. NMP: *Coliformes* totales < 1000 NMP/100 mL, *Coliformes* termo tolerantes < 1600 NMP/100 mL y *Pseudomonas areuginosas* < 1600 NMP/100 mL.

Resultados del análisis de coeficiente de filtración (kf)

Al no poder trabajar con el Permeámetro Combinado, Modelo: K-605, por encontrarse roto. Se asumen los valores determinados por Villareal (2017), en el cual, se aprecian los resultados del análisis de filtración de los materiales a carga para una altura del cilindro de 17,50 cm, la profundidad de la piedra alcanzo 1,20 cm, para obtener un coeficiente de filtración (Kf), de la arena Arimao de 0,0936 cm³/s. En este trabajo se determinaron los índices de permeabilidad reales, los cuales se muestran en la Tabla 6.

Para el caso de la zeolita se mantuvieron las mismas condiciones, obteniendo un coeficiente de 0,0978 cm³/s, lo que puede estar relacionado a la granulometría de la zeolita, la cual es mayor y por ende el tamaño del intersticio permite una filtración más rápida del fluido.

Análisis de la carga microbiana en los efluentes

Se muestra en la Tabla 7.

Los resultados de la carga microbiana (*Coliformes* totales, *Coliformes termo tolerante*) anterior al proceso de filtración en los tratamientos analizados, muestran una alta contaminación, por encima de lo estipulado en la (NC-1095-15, 2015). Mientras que los

resultados obtenidos en (*Pseudomonas areuginosas*) anterior y posterior al proceso de filtración se mantuvo dentro del rango establecido por la norma cubana. En el caso de los (*Coliformes* totales, *Coliformes termo tolerante*) luego del proceso de filtración mostró que el proceso de filtrado fue capaz de bajar en los tratamientos T1 y T2, mientras que en los otros tratamientos se mantuvo igual respecto a lo estipulado por la norma cubana (NC-1095-15, 2015). Lo cual está en contradicción con trabajos anteriores efectuados por Martínez et al., (2014; 2017); Sosa (2015); Martínez & Francesena (2018); Fabregat (2019).

CONCLUSIONES

- Se observó un ligero aumento de los valores de pH, en todos los tratamientos, excepto en el T4 (7,36). El pH se comportó en valores que oscilan entre 7,36 y 8,82. Según su comparación con la Norma Cubana NC-855:11 (2011), los tratamientos T1 (8,82) y T2 (8,58) no deben ser utilizados para su aplicación en el fertirriego; En la conductividad eléctrica (C.E) se pudo observar que los tratamientos T2 (1,07), T4 (1,08), T5 (0,6) y T6 (1), catalogados como buenos posteriores a su paso por los filtros lentos, cumplimentan la norma cubana (NC-855:11 (2011)). No siendo así en los

casos de los tratamientos T1 (1,70) y T3 (1,56), catalogados como **regulares**. Este indicador se comportó dentro del rango de 0,6 y 1,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, reduciendo notablemente el contenido salino de los efluentes.

- En el caso de la variable sales solubles totales (SST), se presentó un aumento desde 363 hasta 895 mg L^{-1} según se incrementó el grado de dilución, pero en todos los casos se cumplimentó lo establecido en la norma cubana [NC-855:11 \(2011\)](#), que lo limita a $< 960 \text{ mg L}^{-1}$ incluso para la muestra no diluida.
- La temperatura del agua de los efluentes del “Melanio Hernández” disminuyen desde 28,8 hasta 27,0 ($^{\circ}\text{C}$); mientras que los efluentes del “Carlos Baliño” después del proceso de filtrado oscilan entre 25,8 y 23,6 ($^{\circ}\text{C}$), permitiendo mejorar la calidad de estos, la DQO comenzó a variar moderadamente desde 177 a 73 mg L^{-1} siendo menor que lo normado por la [NC-27: 12 \(2012\)](#) que lo limita a $< 700 \text{ mg L}^{-1}$.
- En la DBO_5 se observó una disminución notoria desde 88 mg L^{-1} a 36 mg L^{-1} , cumplimentando lo estipulado por la [NC-27: 12 \(2012\)](#) que lo limita a $< 300 \text{ mg L}^{-1}$.
- Los sistemas de tratamiento de aguas residuales por biofiltros lentos de arena permiten disminuir la carga contaminante del residual y aumentan la eficiencia a medida que este es filtrado, permitiendo su vertimiento y utilización con fines económicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM D 2434: American Society of Test Material, [en línea], 1997, Disponible en: <http://www.google.com>, [Consulta: 16 de marzo de 2018].
- BRITO, A.; DELGADO, O.; VILLARREAL, M.: Evaluación de los residuales generados en el sistema de tratamiento del integral porcino # 1., Inst. Unidad Integral No. 1 de la Empresa Porcina Cienfuegos, Reporte de investigación, Cienfuegos, Cuba, 9 p., 2019.
- FABREGAT, S.J.: Tratamiento y uso de efluentes de biodigestores porcinos como abonos orgánicos, Universidad Central de Las Villas UCLV Facultad de Ciencias Agropecuarias, Trabajo de diploma (en opción al título de Ingeniero Agrícola), Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 64 p., 2019.
- FRANCESENA, L.Y.: Impacto ambiental provocado por efluentes de instalaciones de biogás de pequeña y mediana escala en las provincias de la región central de Cuba, Universidad Central Marta Abreu de las Villas Marta Abreu, Departamento de Ingeniería Agrícola, Trabajo de diploma (en opción al título de Ingeniero Agrícola), Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 51 p., publisher: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ciencias ..., 2016.
- LETTERMAN, R.D.: Water quality and treatment: A Handbook of Community Water Supplies, Ed. Toronto McGraw-Hill, Inc., Fifth ed., Toronto, Canada, 2010.
- LLAMA, D.A.: Evaluación del efecto del filtro lento de arena para el tratamiento de efluentes de lagunas de oxidación en la UCLV, Universidad Central de Las Villas UCLV, Trabajo de Diploma (en opción al título de Ing. Hidráulico), Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 54 p., 2019.
- MARTÍNEZ, H.C.M.; FRANCESENA, L.Y.: “Tratamiento y utilización de efluentes de instalaciones de biogás como abonos orgánicos. Revisión y análisis”, Revista Centro Agrícola, 25(2): 83-92, 2018, ISSN: 0253-5785, on line: 2072-2001.
- MARTÍNEZ, H.C.M.; FRANCESENA, L.Y.; MARTÍNEZ, F.N.: “Impacto ambiental provocado por efluentes de instalaciones de biogás de pequeña y mediana escala”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 26(4): 95-108, 2017, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- MARTÍNEZ, H.C.M.; MARAÑÓN, M.E.; GARCÍA, L.Y.; CUPULL, S.R.; DELGADO, R.V.; UCLV, 2019. 54 P.: “Studies at the biogas plant called” Niña Bonita.”, En: Ed. AGROCENTRO, UCLV, Cayo Santa María, Villa Clara, Cuba, p. 8, 2014, ISBN: 978-959-250-973-3.
- NC-27: 12: Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones, Inst. ININ/ Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 11 p., 2012.
- NC-855:11: Utilización de las aguas residuales de la industria azucarera y de derivados en el fertirriego de la caña de azúcar, Inst. ININ/ Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 13 p., publisher: Inst. Oficina Nacional de Normalización, Norma Cubana NC La Habana, Cuba, 2011.
- NC-1095-15: Microbiología del agua. Detección y enumeración de coliformes. Técnicas del número más probable (NMP), Inst. Oficina Nacional de Normalización (NC), La Habana, Cuba, 23 p., 2015.
- SÁNCHEZ, J.: Ley de Darcy, conductividad hidráulica, [en línea], Inst. Departamento de Geología-Universidad de Salamanca (España), Salamanca, España, 12 p., 1997, Disponible en: <http://www.google.com>, [Consulta: 18 de marzo de 2018].

- SÁNCHEZ, J.: Uso de efluentes de lagunas de oxidación del CAI "Carlos Baliño" como abonos orgánicos, Universidad Central de Las Villas UCLV Facultad de Ciencias Agropecuarias, Trabajo de diploma (en opción al título de Ingeniero Agrícola), Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 92 p., 2020.
- SOSA, D.C.M.: Parámetros de control y monitoreo del proceso en digestores anaerobios de pequeña escala y diferentes tecnologías, Universidad Central de Las Villas UCLV, Trabajo de diploma (en opción al título de Ingeniero Agrícola), 80 p., publisher: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2015.
- TORRES, A.: Analisis de aguas residuales, [en línea], Inst. Laboratorio Medio Ambiente. Diputación Provincial de Granada, Granada, España, 2015, Disponible en: <http://www.google.com>, [Consulta: 10 de febrero de 2016].
- VÁZQUEZ, B.E.; TORRES, G.S.: Fisiología vegetal, Ed. Editorial Felix Varela, La Habana, Cuba, 451 p., 2006.
- VILLAREAL, V.M.A.: Evaluación de materiales locales en la fabricación de filtros para el tratamiento de agua potable, Universidad Central de Las Villas UCLV, Trabajo de diploma (en opción al título de Ingeniero Hidráulico), Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 50 p., 2017.

Carlos M. Martínez-Hernández, Prof. Titular. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Carretera a Camajuani, km.5.5, CP: 54830. Santa Clara, Villa Clara, Cuba. Tel: 53-42-281692. Fax: 53-42-281608. e-mail: carlosmh@uclv.edu.cu.

Jesús a. Sánchez-Jassa, Ing. Agrícola, Grupo Azucarero AZCUBA, Sata Clara, Villa Clara, Cuba, e-mail: jesusjassa@nauta.cu.

Nilda Rosa Martínez-Flores, MSc., Inv. Ministerio de Salud Pública (MINSAP), Centro Provincial de Higiene y Epidemiología, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, e-mail: microbiologia@infomed.sld.cu.

István Gómez-Ríos, Profesor MSc., Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Carretera a Camajuani, km.5.5, CP: 54830. Santa Clara, Villa Clara, Cuba. Tel: 53-42-281692. Fax: 53-42-281608. e-mail: carlosmh@uclv.edu.cu.

AUTHOR CONTRIBUTIONS: Conceptualization: C. Martínez. **Data curation:** C. Martínez. **Formal Analysis:** C. Martínez, J. Sánchez. **Investigation:** C. Martínez; J. Sánchez; N. Martínez; I. Gómez. **Methodology:** C. Martínez. **Supervision:** C. Martínez; J. Sánchez; I. Gómez. **Writing - original draft:** C. Martínez. **Writing - review & editing:** C. Martínez; J. Sánchez; N. Martínez; I. Gómez.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.