

Tratamiento y uso de residuales porcinos

Treatment and Use of Pig Residual



<https://cu-id.com/2177/v33n4e08>

✉ Carlos M. Martínez-Hernández^{1*}, ✉ José A. Martínez-Olea¹,
✉ Luis Reyes-Hernández¹, ✉ Manuel Vázquez-Arellano^{II}

¹Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

^{II}CROP Production Robotics, Stuttgart, Alemania.

RESUMEN: En el trabajo se analizaron diferentes propuestas para el tratamiento de residuales porcinos, a partir del análisis de las propiedades de los efluentes porcinos de un biodigestor ubicado en “Ranchuelo” para su posible uso como fertilizante orgánico; así como su posibilidad de descontaminación. Se probó el efecto descontaminante de un filtro lento de arena combinado con la acción de una planta biorremediadora lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) ante diferentes diluciones efectuadas al efluente en agua común. Fueron valorados los siguientes tratamientos: T0 (no diluido), T1 (17%), T2 (14%), T3 (12.5%), T4 (11%) y T5 (10%). Se valoraron las diferentes propuestas de tratamiento ante diferentes variables. En los efluentes, se determinaron sus características físico-químicas y microbiológicas, anteriores y posteriores a su paso por el biofiltro y las lagunas de oxidación. Se tomó como cultivo indicador el maíz (*Zea mays*), evaluándose sus parámetros morfo fisiológicos. En la mayoría de los efluentes, la carga microbiana pudo ser reducida utilizando el biofiltro y su combinación con lagunas de oxidación valoradas, obteniendo valores por debajo de las normas cubanas. El análisis de los efluentes como bioabonos mostró resultados referidos al porciento de germinación que oscilaron entre un mínimo de 33,3% (T2) y un máximo de 80% (T3) respecto al control TOc (46,6%).

Palabras clave: efluentes porcinos, filtros lentos de arena, lagunas de oxidación, *Pistia stratiotes*.

ABSTRACT: In the work different proposals were analyzed for the treatment of pig residual, starting from the analysis of the properties of the pigs effluents of a biodigestor located in "Ranchuelo" for their possible use as organic fertilizer; as well as their decontamination possibility. The effect decontaminant of a slow filter of sand was proven combined with the action of a aquatic plant called lettuce of water (*Pistia stratiotes*) before different dilutions to the effluent in common water. The following treatments were valued: T0 (not dilute), T1 (17%), T2 (14%), T3 (12.5%), T4 (11%) and T5 (10%). The different treatment proposals were valued before different variables. In the effluents, their physical-chemical and microbiology characteristics were determined, previous and later to their step for the bio filter and the oxidation lagoons. It took like indicative cultivation the corn (*Zea mays*), being evaluated their morphs-physiologic parameters. In most of the effluents, the microbial load could be reduced using the bio filter and its combination with valued oxidation lagoons, obtaining values below the Cuban norms. The analysis of the effluents like bio-fertilizer showed results referred to the germination percent that oscillated among a minimum of 33,3% (T2) and a maximum of 80% (T3) regarding the control TOc (46,6%).

Keywords: Pig Effluents, Slow Sand Filters, Oxidation Lagoons, *Pistia Stratiotes*.

INTRODUCCIÓN

La filtración lenta en 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.

*Autor para correspondencia: Carlos M. Martínez-Hernández, e-mail: carlosmh@uclv.edu.cu

Recibido: 03/03/2024

Aceptado: 05/09/2024

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

AUTHOR CONTRIBUTIONS: **Conceptualization:** C. Martínez, J. Martínez. **Data curation:** C. Martínez, J. Martínez. **Formal Analysis:** C. Martínez, J. Martínez. **Investigation:** C. Martínez, J. Martínez, L. Reyes, M. Vazquez. **Methodology:** C. Martínez, J. Martínez. **Software:** C. Martínez. **Supervision:** C. Martínez, M. Vazquez. **Validation:** C. Martínez. **Visualization:** C. Martínez, J. Martínez, L. Reyes, M. Vazquez. **Writing - original draft:** C. Martínez, J. Martínez, L. Reyes, M. Vazquez. **Writing - review & editing:** C. Martínez, J. Martínez, L. Reyes, M. Vazquez.

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

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 mejorar la salud pública y calidad de vida de los habitantes de éstas zonas, incluso, se ha evidenciado su buen funcionamiento y el impacto positivo que generan este tipo de tecnologías.

En investigaciones recientes [Francesena \(2016\)](#); [Villareal \(2017\)](#); [Fabregat \(2019\)](#); [Llama \(2019\)](#); [Sánchez \(2020\)](#) y [Ramírez \(2021\)](#), se ha evaluado el método de filtración lenta en 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 que se vierten en lagunas de oxidación para posteriormente medir ciertos parámetros de los mismos y compararlos con las normativas cubanas [NC-855: 2011 \(2011\)](#); [NC-27: 2012 \(2012\)](#); [NC-1095-2015 \(2015\)](#) de aguas residuales.

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, termo tolerantes 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 tema 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 productores privados y estatales. Con estos antecedentes, se decidió llevar a cabo en la región central de Cuba (provincia de Villa Clara), la toma de muestras de efluentes del biodigestor del productor privado “Niosbany” para su estudio y valoración, por lo cual, los resultados obtenidos en esta investigación pudieran ser usados como base para el desarrollo de futuros proyectos de ingeniería que brinden soluciones a la problemática planteada, de ahí que se defina como objetivo de investigación el siguiente: Evaluar el efecto del tratamiento de residuales porcinos y su vinculación con lagunas de oxidación, para diferentes porcentos de dilución en agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Utilización del biofiltro de grava, arena, zeolita y carbón vegetal. Utilización de las lagunas de oxidación a escala reducida. Propuestas de plantas de tratamiento a escala real

[Fabregat \(2019\)](#), construyó un biofiltro a escala de laboratorio 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. Este biofiltro fue utilizado en la presente investigación.

Materiales

Los materiales usados son de adquisición propia y para ello se utilizó 1 tanque plástico de polietileno de alta densidad (PAD) a 5 L, el cual fue llenado formando capas o estratos con los siguientes materiales: grava, arena lavada, zeolita, grava y carbón vegetal. Las alturas de los medios filtrantes fueron: 8, 8, 6, 3 y 5 cm respectivamente.

Los volúmenes añadidos de los diferentes sustratos utilizados como material filtrante fueron: grava: 900 cm³; arena lavada: 2250 cm³; zeolita: 1125 cm³; grava: 450 cm³ y carbón vegetal: 900 cm³. La zeolita natural procede del yacimiento de San Juan de los Yeras, Ranchuelo, Villa Clara, presentando más de 61% de material zeolítico, con una granulometría entre 0,5 - 2,5 mm y diámetro medio de 1,1 mm. Los filtros lentos fueron construidos en recipientes de 5 L o 0,005 m³, como se muestra en la [Figura 1](#) con un área aproximada de 0.024 m², y un volumen de 0,0047 m³. En el tanque uno, se colocó el carbón vegetal y la grava; en el tanque dos, se colocó la zeolita y en el tanque tres se colocó la arena lavada. Los efluentes se pasaron en cascada por cada uno de los filtros.



FIGURA 1. Filtros lentos de arena confeccionados.

Fuente: (archivo del autor).

Las capas filtrantes están separadas en estratos, la grava no se tamizó, la arena, la zeolita y el carbón vegetal presentan una granulometría bastante regular, la zeolita posee una granulometría irregular por lo que se separó la fracción más pequeña para cumplir con los criterios obtenidos de la bibliografía consultada, por tal motivo se decidió realizar la separación granulométrica utilizando un tamiz 4. Los materiales antes descritos se sometieron a un proceso de maduración, para lo cual los diferentes filtros contenían agua común almacenada por más de 30 días. Los parámetros a controlar en la operación de filtración fueron: velocidad de operación, volumen de efluente, tiempo de la operación, % expansión, flujo de aire y efluente para el lavado; así como las características fisicoquímicas del afluente y efluente.

Como afluentes se consideraron las muestras puras de las respectivas lagunas de oxidación evaluadas; como efluentes se consideraron los afluentes diluidos filtrados y pasados por laguna de oxidación a escala reducida de los diferentes ensayos investigativos valorados. En cada una de estas lagunas se vierte 1000 ml de los efluentes con sus respectivas diluciones posterior al paso de estos por el biofiltro. Las lagunas de oxidación a pequeña escala se construyeron partiendo de botellones de agua de 5 L (5 000cm³) de capacidad, los cuales fueron seccionados, como se muestra en la [Figura 2](#), se utilizaron seis lagunas, una para cada tratamiento. En estas, se añadió suelo (795,8 g), efluente filtrado (1000 mL), piedra caliza (116,7 g) y lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) (16,5 g). Una vez en las lagunas de oxidación a escala reducida. Los efluentes se dejaron reposar cinco días en las lagunas. Finalmente se colectaron 1000 ml de cada uno de las lagunas y se llevaron al laboratorio ENAST para su valoración ([ENAST-Cuba, 2023](#)). En el laboratorio ENAST se entregaron 12 muestras: 2 sin filtrar (SF); 10 filtradas en biofiltro y pasadas por laguna de oxidación (FL), las cuales fueron codificadas y entregadas en diferentes fechas de la investigación ([ENAST-Cuba, 2023](#)). Fueron objeto de análisis las muestras de efluentes del biodigestor “Niosbany” (6). La [Figura 2](#) muestra detalles de las lagunas de oxidación construidas a escala reducida.

Toma de muestras iniciales

Se realizó en la Provincia de Villa Clara, en el biodigestor “Niosbany”, ubicado a la salida de Ranchuelo a 1 km de la autopista nacional. En todos los casos se colectaron 5000 ml/muestra.

En todas las muestras tomadas se efectuó el procedimiento de acuerdo a las especificaciones del laboratorio, siguiendo la debida cadena de custodia y conservación.

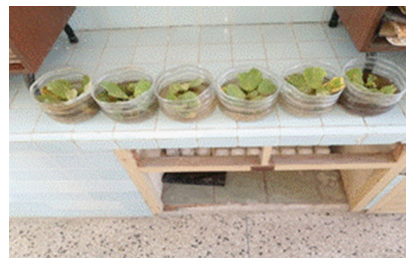


FIGURA 2. Lagunas de oxidación construidas a escala reducida. Fuente: (archivo del autor).

Cálculo del espesor de la capa filtrante en los filtros a escala reducida

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 homogénea) ([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 ([Sánchez, 2014](#)).

$$(H_1 - H_2) = \frac{v_f}{k} * L \quad \text{Ec.1}$$

donde:

L= grosor de la capa de arena;

K o K_f = coeficiente de permeabilidad

H₁ = pelo de agua cruda o a tratar;

H₂ = pelo de agua tratada;

v_f = velocidad de filtración en el lecho de arena.

Análisis físico - químico de los afluentes, efluentes

En los afluentes y efluentes que tributan a la laguna de oxidación investigada se determinaron los siguientes indicadores:

- conductividad eléctrica (C.E);
- Coliformes termo tolerantes y totales;
- Demanda biológica de oxígeno (DBO₅);
- Demanda química de oxígeno (DQO);
- Sólidos sedimentables (S sed);
- Nitrógeno total (Nt);
- Grasas y aceites (Ga);
- Fósforo total (Pt);
- Relación de absorción de sodio (RAS);
- Sales solubles totales (SST).

Todos estos análisis fueron realizados en los laboratorios de la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST) de Santa Clara. Villa Clara ([ENAST-Cuba, 2023](#)).

Permeabilidad de los materiales utilizados en los filtros lentos

La permeabilidad del filtro lento de arena fue determinada de forma real basado en los estudios efectuados por [Villareal \(2017\)](#); [Sánchez \(2020\)](#); [Ramírez \(2021\)](#). El procedimiento para ensayos de suelo se realizó según lo estipulado por la Sociedad Americana de Ensayo y Materiales ([ASTM D 2434, 1997](#)).

Caudal de diseño del filtro filtro lento

En este caso, con la velocidad de filtración de las muestras y el área del filtro se procedió a calcular el caudal de diseño mediante la [Ec. 2](#).

$$Q = A * v f \quad \text{Ec. 2}$$

donde:

Q = caudal, cm³/s (mL/s);

A= área de la sección transversal de salida del filtro, cm²;

vf= velocidad del fluido investigado, cm/s.

Eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)

Para este indicador se utilizó la [expresión 3](#)

$$EF = \left(\frac{DQO_e - DQO_s}{DQO_e} \right) * 100 \quad \text{Ec. 3}$$

donde:

DQO_e- en afluentes;

DQO_s- en efluentes.

Eficiencia de remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

Se utilizó la [expresión 4](#)

$$EF = \left(\frac{DBO5_e - DBO5_s}{DBO5_e} \right) * 100 \quad \text{Ec. 4}$$

donde:

DBO_e- DBO₅ en afluentes;

DBO_s- DBO₅ - en efluentes

Determinación de la carga microbiana en los efluentes

Una vez colectado los efluentes en pomos plásticos de 1500 ml, se llevaron rápidamente al laboratorio del [ENAST-Cuba \(2023\)](#), Santa Clara, Villa Clara, donde se determinarían coliformes totales y coliformes

termo tolerante. En este caso se repiten los análisis posteriores a su paso por el filtro lento (biofiltro) y las lagunas de oxidación. Con los valores obtenidos se analizó si los efluentes cumplen con las normas cubanas establecidas [NC-27: 2012 \(2012\)](#) y [NC-1095-2015 \(2015\)](#) respecto a *Coliformes totales* y *Coliformes termo tolerantes*.

Determinación de la cantidad de suelo y bioabonos a utilizar en los tratamientos

Determinación de la cantidad de suelo y bioabonos a utilizar en los tratamientos a escala de macetas. Para la realización de estos cálculos se partió del tipo de suelo objeto de análisis en el biodigestor “Niosbany” (suelo pardo mullido carbonatado). En este caso, conociendo la densidad aparente del suelo (1,28 g/cm³), se pasó a la determinación del peso de la ha-surco, mediante la [expresión 5](#).

- Área de una hectárea- 10 000 m² = 1,10⁸ cm²;
- Volumen de una hectárea- 1,10⁸.20 cm² = 2,10⁹ cm³ (20 cm de profundidad)

Entonces el peso de la ha-surco se determinó por regla de tres. Quedando:

$$1,28 \text{ g/cm}^3 - 2,1 \text{ cm}^3$$

$$X - 2.10^9 \quad \text{Ec.5}$$

$$X = 2,56.10^9 \text{ g/ha}$$

$$X = 2,56.10^6 \text{ kg/ha}$$

Norma de aplicación de bioabonos a escala real. Esto depende de las condiciones de fertilidad del suelo y del sistema de regadío (secano o con riego) donde se sustenta el cultivo.

En el caso de este estudio, para conocer la cantidad de bioabonos a aplicar en las diferentes bolsas por tratamiento, se tomó una dosis de aplicación a escala real de 20 t/ha. Entonces mediante regla de tres, según [expresión 6](#) se obtiene:

$$2,56.10^6 \text{ kg} - 20000 \text{ L}$$

$$(1)Kg - X \quad \text{Ec. 6}$$

$$X = 0,82.10^{-2} \text{ L}$$

$$X = 8,2 \text{ mL}$$

Experimentos en condiciones semi-controladas

Se montó un experimento en condiciones semi-controladas para determinar el efecto de los efluentes obtenidos en la laguna de oxidación del biodigestor porcino privado “Niosbany” como bioabonos. Se evaluaron estos efluentes en diferentes porcentos de dilución en agua común (de pozo). De tal manera, el experimento se ejecutó con 6 tratamientos y el control, en cada tratamiento se montaron tres réplicas, para un total de 21 bolsas de polietileno rellenas con 1 kg

de suelo del biodigestor porcino privado “Niosbany”. El suelo utilizado como sustrato fue pasado por tamiz de 4 mm y como planta indicadora se utilizó el maíz (*Zea mays* L.). Posteriormente se procedió a sembrar cinco semillas de maíz, por bolsa. El maíz posee un porcentaje de germinación en placa Petri de (90,00%), a continuación, se añadió 10 ml de los efluentes con el grado de dilución objeto de investigación, filtrados y pasados por las lagunas de oxidación a escala reducida a razón de 2 mL por semilla. En cada bolsa, se añadió 200 ml de agua destilada por bolsa, para lograr que la humedad del suelo fuera de 80% de su capacidad de campo. Se aplicaron dos riegos (200 ml de agua destilada/bolsa) cada 6 días, durante el período de investigación. Las bolsas recibieron iluminación natural y al cabo de doce días se cosecharon las plantas y se determinó el porcentaje de germinación; así como los parámetros morfo fisiológicos del cultivo indicador en los tratamientos y control de acuerdo al grado de dilución investigado.

Las diluciones objeto de investigación fueron asumidas teniendo en cuenta lo que establece la norma [NC-855: 2011 \(2011\)](#). La norma señala que: las mezclas del efluente (vinaza + agua) deben estar en los rangos de 1:6 y 1:10 (residual de alcohol, residual de crudo u otra agua), y que estas diluciones son las adecuadas para regar y fertilizar la caña de azúcar. Esta metodología fue utilizada también con los efluentes del biodigestor porcino privado “Niosbany”. Se utilizaron los siguientes tratamientos:

T0-Efluente no diluido (1000 mL); 1-T1-Efluente diluido 1/6 (166 mL + 834 mL agua); 2-T2-Efluente diluido 1/7 (143 mL + 857 mL agua); 3-T3-Efluente diluido 1/8 (125 mL + 875 mL agua); 4-T4-Efluente diluido 1/9 (111 mL + 889 mL agua); 5-T5-Efluente diluido 1/10 (100 mL + 900 mL agua); T0c. Control (suelo sin aplicación de efluentes).

Posterior al paso de los efluentes diluidos por el filtro lento de arena, se toman los efluentes de la laguna de oxidación (a pequeña escala) pacificados durante cinco días de acuerdo con las diluciones preparadas por tratamientos. Los frascos se sellaron herméticamente y se mantuvieron a una temperatura ambiente en el laboratorio protegidos de la incidencia de los rayos del sol. En el control solo se aplicó agua destilada. En cada una de las bolsas con suelo y cultivo indicador (maíz) se aplicó la dosis establecida por tratamiento y réplicas, para observar los resultados obtenidos en las características morfo fisiológicos del cultivo indicador.

Indicadores morfo fisiológicos de las plantas indicadoras

- **Altura de las Plantas (AP) y Longitud de la Raíz (LR):** se midieron con una cinta métrica, en cm.
- **Peso Fresco de Follaje y Raíz por separado (PFF y PFR):** recién cosechada se pesan en una balanza analítica, en gramos.

- **Peso Seco de Follaje y Raíz por separado (PSF y PSR):** las muestras fueron puestas en la estufa a 65 °C durante 48 horas y luego fueron pesadas en una balanza analítica, en gramos.

Para lo anterior, se siguieron los protocolos y procedimientos establecidos en las normas cubanas NC.

Análisis estadístico

Para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete de programas profesional *STATISTICA*, Versión 7 sobre Windows XP. Se aplicó Análisis de Varianza de clasificación simple con la prueba de comparación de medias de Tukey HSD, verificando la homogeneidad de la varianza, para tratamientos con igual número de repeticiones para la determinación de las diferencias estadísticas entre los diferentes tratamientos evaluados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cálculo del espesor de la capa filtrante: Sustituyendo en la ecuación de Darcy ([Ec.1](#)) adaptada a un filtro.

El espesor de la capa filtrante arrojó un valor igual a $L=5$ cm, sin embargo, se asumió $L=8$ cm, prácticamente un 62,5% superior a lo determinado por cálculo, con el objeto de obtener un buen filtrado de los efluentes porcinos, al ser estos un fluido con alto valor de contaminación.

Caudal de diseño del filtro lento

Utilizando la [expresión 2](#).

Se obtuvo un valor de $Q=0,02 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$. Se aclara que para la determinación del caudal de diseño del filtro se utilizó agua común como fluido, no obstante, también se determinó con todos los efluentes con sus diferentes grados de dilución investigados.

Eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)

Utilizando la [expresión 3](#)

Eficiencia de remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

Utilizando la [expresión 4](#)

De la metodología se obtuvieron los resultados que se muestran la [Tabla 1](#).

Del análisis de la [Tabla 1](#), se pudo apreciar que los efluentes procedentes de todos los tratamientos de la laguna de oxidación del “Biodigestor Niosbany” evaluados, cumplen con la norma [NC-27: 2012 \(2012\)](#) en ambas muestras evaluadas (No.1759 y No.1764) una vez que estos efluentes son filtrados y pasados por las respectivas lagunas de oxidación se pudo apreciar una reducción de esta variable a medida

que disminuye el grado de dilución, mostrando un buen efecto de los filtros lentos al reducir el valor de la DQO, lo cual concuerda con investigaciones anteriores reportadas por [Ramírez \(2021\)](#). Según [Torres \(2015\)](#) en los reactores biológicos el control de la cantidad de oxígeno disuelto es uno de los valores críticos a controlar.

En la [Tabla 2](#). Se muestran los resultados de la eficiencia de remoción del DBO₅.

En los efluentes del “Biodigestor Niosbany” ([Tabla 2](#)), se pudo apreciar que todos los tratamientos de la muestra (No 1759), cumplen con lo establecido por la norma cubana [NC-27: 2012 \(2012\)](#). Sin embargo, al pasar por el biofiltro (No.1764), en todos los tratamientos, se presentó una reducción del valor de esta variable, al igual que con la variable anterior, lo cual reafirma el buen trabajo del filtro lento.

Determinación de la carga microbiana en los efluentes

Del análisis de los diferentes tratamientos en el Laboratorio del ENAST, se obtuvo los resultados que muestra la [Tabla 3](#). Se presenta una comparación entre las muestras 1759 SF (sin filtrar) y 1764 FL (filtrados y pasados por lagunas).

Los resultados obtenidos en los *Coliformes totales* anterior al proceso de filtración en los tratamientos analizados, muestran contaminación (por encima de lo estipulado en la [NC-1095-2015 \(2015\)](#)). En el caso de los *Coliformes termos tolerantes*, se pudo observar una baja contaminación; sin embargo, posterior al proceso de bio-filtración, tanto en los *Coliformes totales* como en los *Coliformes termo tolerantes* se pudo observar que fue capaz de bajar la carga contaminante en todos los tratamientos

TABLA 1. Eficiencia de remoción del DQO

Tratamientos Efluentes diluidos (%)	DQO (mg L ⁻¹)		% Eficiencia de remoción del DQO
	Anterior. No. 1759 SF	Posterior. No. 1764	
T0- (n. d)	424	N.e	
T1- (16, 66 %)	424	300	70,75
T2- (14, 28 %)	424	150	35,37
T3- (12,5 %)	424	100	23,58
T4- (11,11%)	424	64	15,09
T5- (10 %)	424	56	13,20

N.e- no evaluado; No de informes: 1759 SF (sin filtrar) y 1764 FL (filtrados y pasados por lagunas).

TABLA 2. Eficiencia de remoción del DBO₅

Tratamientos Efluentes diluidos (%)	DBO ₅ (mg L ⁻¹)		% Eficiencia de remoción DBO ₅
	Anterior. No. 1759 SF	Posterior. No. 1764 FL	
T0- (n. d)	200	N.e	
T1- (16, 66 %)	200	170	85,00
T2- (14, 28 %)	200	150	75,00
T3- (12, 5 %)	200	60	30,00
T4- (11, 11%)	200	30	15,00
T5- (10 %)	200	25	12,50

N.e- no evaluado; No de informes: 1759 SF (sin filtrar) y 1764 FL (filtrados y pasados por lagunas).

TABLA 3. Análisis microbiológico de los efluentes analizados anterior y posterior al filtrado

Tratamientos Efluentes diluidos (%)	<i>Coliformes</i> totales (NMP/100)	<i>Coliformes</i> termo tolerantes (NMP/100)	<i>Coliformes</i> totales (NMP/100)	<i>Coliformes</i> termo tolerantes (NMP/100)
	anterior 1759 SF	anterior 1759 SF	posterior 1764 FL	posterior 1764 FL
T0- (n. d)	1,2x10 ³	170	N.e	N.e
T1- (16, 66 %)	1,2x10 ³	170	610	70
T2- (14, 28 %)	1,2x10 ³	170	390	130
T3- (12, 5 %)	1,2x10 ³	170	240	33
T4- (11, 11%)	1,2x10 ³	170	440	79
T5- (10 %)	1,2x10 ³	170	290	33

N.e- no evaluado; No de informes: 1759 SF (sin filtrar) y 1764 FL (filtrados y pasados por lagunas). [NC-1095-2015 \(2015\)](#). Límites permisibles: NMP: *Coliformes* totales < 1000 NMP/100 mL; *Coliformes* termo tolerantes < 1600 NMP/100 mL.

complimentando lo estipulado por la norma cubana [NC-1095-2015 \(2015\)](#). Reafirmando el buen trabajo conjunto del biofiltro y las lagunas de oxidación valoradas. Estas investigaciones contribuyen al **estudio del tema**, el cual había sido valorado en trabajos anteriores efectuados por [Martínez et al. \(2014\)](#); [Sosa \(2015\)](#); [Francesena \(2016\)](#); [Fabregat \(2019\)](#) en residuales porcinos y [Sánchez \(2020\)](#) en residuales de la industria azucarera. En este aspecto se debe destacar que los efluentes diluidos y filtrados y la utilización de la planta biorremediadora (*Pistia stratiotes*), en lagunas de oxidación a escala reducida no mostró efectos necrosantes en dicha planta, tampoco efecto inhibitorios de su crecimientos, como si fueron encontrados en el trabajo de [Francesena \(2016\)](#), utilizando efluentes porcinos con técnicas semejantes de bio-filtrado. Lo cual mostró que la virulencia o agresividad de estos efluentes una vez filtrados fue inferior a los efluentes de los

biodigestores investigados por [Francesena \(2016\)](#) y [Fabregat \(2019\)](#), los cuales utilizaron como planta bio-remediadora la lenteja de agua (*lemna minor*).

Resultados referidos al pH y la conductividad

Estos resultados se muestran en la [Tabla 4](#).

En la variable **conductividad**, los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 (se catalogan como buenos); TO (se cataloga como malo). En la variable **pH**, los tratamientos T3, T4, T5 (se catalogan como regulares), T1 y T2 (se catalogan como malo) y TO (no se puede utilizar).

Indicadores morfo fisiológicos de las plantas indicadoras

En la [Figura 3](#) se observa el comportamiento del porciento de germinación en los diferentes tratamientos evaluados.

TABLA 4. Resultados obtenidos de los residuales investigados contrastados con la [NC-855: 2011 \(2011\)](#)

*Criterios	Tratamientos evaluadas	Conductividad eléctrica (C.E) mmhos/cm	Sales solubles totales (SST) ppm	Relación de adsorción de sodio (RAS)	pH
Buena		< 1,50	< 960	< 4	6-7
Regular		1,50-1,80	960-1150	4-7	5-6 ó 7-7,8
Mala		1,80-2,40	1150-1530	7-10	4-5 ó 7,8-8,4
No se puede utilizar		> 2,4	> 1530	> 10	< 4 ó > 8,4
No.1759	T0- (n. d)	1,947	n.e	n.e	9,02
No.1760 FL	T1- (16,66 %)	0,821	n.e	n.e	8,11
No.1761 FL	T2- (14,28 %)	0,616	n.e	n.e	7,90
No.1762 FL	T3- (12,5 %)	0,556	n.e	n.e	7,43
No.1763 FL	T4- (11,11%)	0,937	n.e	n.e	7,20
No.1764 FL	T5- (10 %)	0,819	n.e	n.e	7,47

TO - efluente no diluido, no filtrado; n.e-no evaluados; No.1761....1764 FL- Efluentes diluidos, filtrados y pasados por lagunas de oxidación a pequeña escala. Entre paréntesis, porciento de dilución de los efluentes.

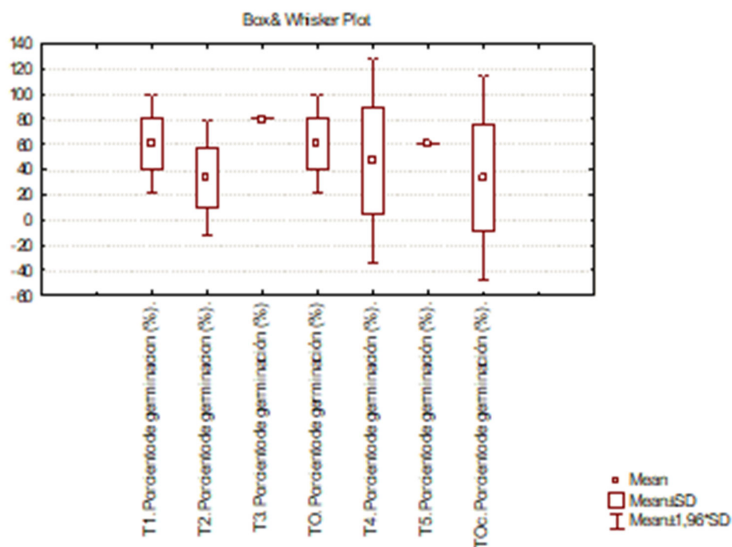


FIGURA 3. Efecto de los tratamientos sobre la germinación del cultivo indicador (maíz). TOc, TO, T1, T2, T3, T4 y T5. (Efluentes Biodigestor “Niosbany”).

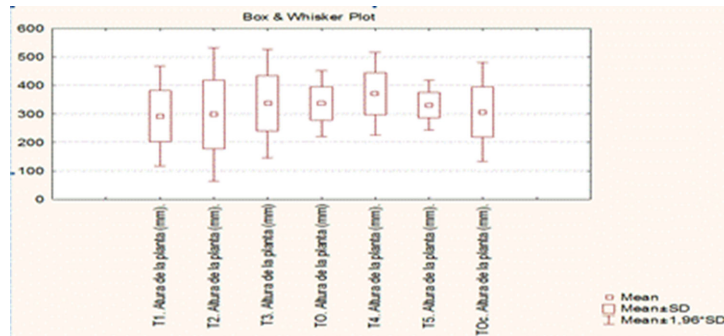


FIGURA 4. Efecto de los tratamientos sobre la altura de la planta indicadora. TOc, TO, T1, T2, T3, T4 y T5. (Efluentes Biodigestor “Niosbany”).

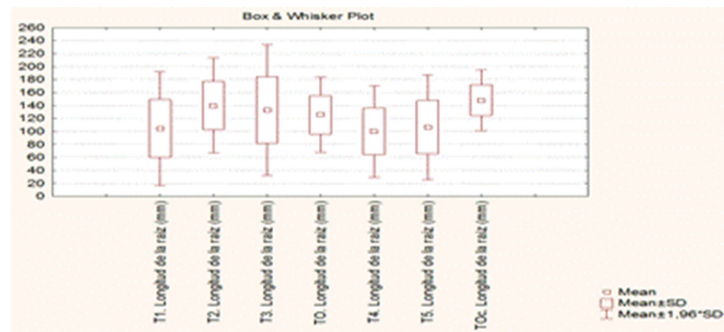


FIGURA 5. Efecto de los tratamientos sobre la longitud de la raíz de la planta indicadora. TOc, TO, T1, T2, T3, T4 y T5. (Efluentes Biodigestor “Niosbany”).

Del análisis de la [Figura 3](#), se observó que excepto el tratamiento T2, los otros tratamientos superan al control (TOc) en este indicador en la variable porcentaje de germinación (valor medio), incluido el efluente no diluido del “Biodigestor Niosbany”. Este resultado contrasta favorablemente con los resultados obtenidos por [Francesena \(2016\)](#) en residuales porcinos procedentes de biodigestores y por [Sánchez \(2020\)](#) en residuales azucareros del CAI “Carlos Baliño” los cuales no obtuvieron resultados tan satisfactorios con respecto al porcentaje de germinación, utilizando metodologías semejantes a las empleadas en esta investigación.

En la [Figura 4](#), se muestra el efecto de los tratamientos de los efluentes sobre la altura de la planta (AP).

Se pudo observar que el mejor comportamiento se obtuvo con T4 (371,42 mm), siendo el peor el tratamiento T1 (292,22 mm) respecto al control TOc (306,42 mm). Esto demuestra que la dilución y filtrado de los efluentes influyó positivamente en esta variable.

En la [Figura 5](#), se muestran los resultados relativos a la longitud de la raíz.

Se pudo observar que el mejor comportamiento se obtuvo con T2 (140,00 mm), siendo el peor el tratamiento T4 (100,00 mm) respecto al control TOc (147,85 mm). En este caso ningún tratamiento superó al control. Otras propiedades morfo fisiológicas no

se presentan en este trabajo por cuestión de espacio disponible en esta publicación.

CONCLUSIONES

- Se confirmó el buen trabajo conjunto del biofiltro y la laguna de oxidación a escala reducida.
- El paso de los efluentes por el biofiltro y laguna de oxidación, permitió reducir los valores de pH, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO₅), permitiendo el uso de los efluentes en el fertirriego.
- El porcentaje de germinación, excepto en el tratamiento T2, superan al control (TOc), lo que reafirma que el paso de estos efluentes por el sistema (filtro lento de arena y laguna de oxidación) provocó la disminución de la agresividad de estos efluentes.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio sobre la eficiencia en la descontaminación de las aguas residuales de las lagunas de oxidación en complejos agroindustriales.
- Ejecutar la propuesta del biofiltro lento a escala real con el fin de correlacionar los resultados obtenidos a pequeña escala

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].
- ENAST-CUBA: Informe final de resultados de ensayo, Inst. Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST)., Informe final, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2023.
- FABREGAT, J.: Tratamiento y uso de efluentes de biodigestores porcinos como abonos orgánicos, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba, Trabajo de Diploma (en opción al título de Ing. Agrícola), Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 70 p., 2019.
- FRANCESENA: Impacto ambiental provocado por efluentes de instalaciones de biogas de pequeña y mediana escala en las provincias de la región central de Cuba, Universidad Central de las Villas (UCLV), Trabajo de Diploma (en opción al título de Ing. Agrícola), Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 73 p., 2016.
- LETTERMAN, R.D.: Water quality and treatment: A Handbook of Community Water Supplie, Ed. 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, C.; MARAÑÓN, E.; GARCÍA, Y.; CUPULL, R.; DELGADO, D.C.: "Studies atthe biogas plant called "Niña Bonita"", En: AGROCENTRO, 2014 (VI th Edition of Agricultural Engineering Symposium), Ed. AGROCENTRO, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, p. 8, 2014, ISBN: 978-959-250-973-3.
- NC-27: 2012: 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: 2011: 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, norma cubana, La Habana, Cuba, 13 p., 2011.
- NC-1095-2015: Microbiología del agua. Detección y enumeración de coliformes. Técnicas del número más probable (NMP), Inst. Oficina Nacional de Normalización (NC), norma cubana, La Habana, Cuba, 23 p., 2015.
- RAMÍREZ, J.L.M.: Análisis del efluente del CAI "George Washington" para su posible uso como abono orgánico, Universidad Central de las Villas (UCLV), Trabajo de Diploma (en opción al título de Ing. Agrícola), Santa Rosa, Argentina, 97 p., 2021.
- SÁNCHEZ, J.: Ley de Darcy, [en línea], Inst. Dpto de Geología. Universidad de Salamanca, Salamanca. España, 12 p., 2014, Disponible en:<http://www.google.com>.
- SÁNCHEZ, J.: Uso de efluentes de laguna de oxidación del CAI "Carlos Baliño" como abonos orgánicos, Universidad Central de las Villas (UCLV), Trabajo de Diploma (en opción al título de Ing. Agrícola), Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 91 p., 2020.
- SOSA, 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 Ing. Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 80 p., 2015.
- TORRES, A.: Analisis de aguas residuales, [en línea], Inst. Laboratorio Medio Ambiente. Diputacion Provincial de Granada, Granada, España, 2015, Disponible en:<http://www.google.com>.
- VILLAREAL, V.M.: 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, Dr.C. 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.

José A. Martínez-Olea, Ing. Agrícola, 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: joseangelmartinezolea@gmail.com

Luis Reyes-Hernández, Msc. Lic. Ciencias Biológicas. Facultad de Cultura Física, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, e-mail: lrhernandez@uclv.cu.

Manuel Vázquez-Arrellano, Dr., CROP Production Robotics. Wollgrassweg 49. 70599. Stuttgart. Alemania. e-mail: mvazquez@crop-robotics.com.

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.