



SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INDUSTRIAS
Evaluación de Humedales de Flujo Subsuperficial en el Tratamiento de
Residuales del Matadero Chichi Padrón
Assessment of Subsuperficial Flow Wetlands for Wastewaters Treatment at
Chichi Padrón Slaughterhouse

Guillermo Esperanza Pérez¹, Yamell Jiménez Prieto¹, María del C. Manrique Rasúa², Freddy Pérez Perera²

¹Centro de Estudios de Química Aplicada, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.

²UEB Matadero Chichí Padrón. Empresa Cárnica. VC, Cuba.

E-mail: guillermoep@uclv.edu.cu

Resumen

En el trabajo se realiza un estudio comparativo sobre la capacidad de remoción de materia orgánica y otros contaminantes, en sistemas de humedales de flujo subsuperficial horizontal, para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la UEB Matadero Chichí Padrón. Fueron caracterizadas las aguas generadas en el proceso productivo, y registrados además los valores del pH, DQO, DBO₅, conductividad, sólidos totales, grasas y aceites, nitrógeno total, y fósforo, en cuatro sistemas de humedales construidos a escala de laboratorio con relleno multicapa expandido, sembrados con *Cyperus Alternifolius spec.*, utilizando como sustratos combinaciones de suelo pardo, más grava de piedra caliza o de zeolita, y arena de río. Se empleó un diseño factorial de experimentos 2³ para evaluar la influencia del tiempo de retención hidráulico, la activación con microorganismos, y el tipo de sustrato sobre la eficiencia en la eliminación de los contaminantes. Los valores máximos de remoción se logran en los sistemas S2 bioactivados, para TRH entre 48 y 96 horas, i.e: 92-96 % para la DQO, 91.7-96.4 % para la DBO₅, y de 89-94 % para las Grasas y Aceites. Se obtuvieron los modelos matemáticos que describen la relación variable entrada-variable respuesta, con elevados coeficientes de correlación (0.95-0.99). El análisis de los resultados alcanzados permite afirmar que: el empleo de sistemas de humedales de flujo subsuperficial puede considerarse un método eficiente para el tratamiento de aguas residuales generadas en mataderos, lográndose niveles elevados de remoción de sus principales contaminantes, y un efluente compatible con las regulaciones ambientales de nuestro país.

Palabras Clave: Aguas residuales; Humedales; DBO₅; DQO; Mataderos.



Abstract

*In this work, a comparative study is carried out on the organic matter and other pollutants removal capacity, in horizontal subsurface flow wetland systems, for the treatment of wastewater from the UEB Matadero Chichí Padrón. The wastewaters generated in the production process were characterized, and the values of pH, COD, BOD₅, conductivity, total solids, fats and oils, total nitrogen, and phosphorus were also recorded, in four wetland systems built on a scale of laboratory with expanded multilayer filler, sown with *Cyperus Alternifolius spec.*, using combinations of brown soil, plus limestone or zeolite gravel, and river sand as substrates. A factorial design of experiments 2³ was used to evaluate the influence of hydraulic retention time, activation with microorganisms, and the type of substrate on the efficiency in the elimination of contaminants. The maximum removal values are achieved in S2 systems bioactivated with ME-50, for TRH between 48 and 96 hours, ie: 92-96% for COD, 91.7-96.4% for BOD₅, and 89-94% for Fats and Oils. The mathematical models, that describe the input variable-response variable relationship were also obtained, with high correlation coefficients (0.95-0.99). The analysis of the results obtained from the experiences developed at the laboratory scale allows us to affirm that: the use of subsurface flow wetland systems can be considered an efficient method for the treatment of wastewater generated in slaughterhouses, achieving high levels of removal of its main pollutants, and an effluent compatible with the environmental regulations of our country.*

Keywords: *Wastewaters; Wetlands; BOD₅; COD; Slaughterhouses.*

1. Introducción.

Los tratamientos llamados no convencionales, ecológicos, verdes o tecnologías blandas se muestran como una alternativa muy viable para la depuración de las aguas residuales en países considerados en vías de desarrollo, y en sistemas rurales, ya que no son costosos, tienen baja complejidad tecnológica, no requieren de altos consumos energéticos, alcanzan niveles de eficiencia razonables, además de que para su operación y mantenimiento no necesitan de personal especializado, siendo perfectamente compatibles con el medio ambiente (Garfi, 2017; Knebel, 2019; Matamoros, 2016; Nivala, 2020; Ji, 2020).

A nivel mundial se ha extendido cada vez más el uso de los humedales artificiales o wetlands, los cuales funcionan a partir de los mecanismos propios que usa la naturaleza para la depuración de las aguas residuales, en donde se combinan procesos físicos, químicos y biológicos entre el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, dando lugar a la ocurrencia de procesos de sedimentación, filtración, absorción, degradación biológica, fotosíntesis, foto-oxidación y toma de nutrientes por parte de la vegetación mediante el metabolismo (Colas, 2020; Farraji, 2019; Gholipour, 2020; Nakase, 2019).

Existen 2 tipos básicos de humedales artificiales, de acuerdo con el tipo de flujo: los de flujo superficial, en los que el agua fluye expuesta a la atmósfera, y los de flujo sub-superficial, en los que el agua fluye a través de un material de soporte, generalmente grava, suelo u otros minerales (Almeida, 2020; De la Varga, 2020).

Diversos estudios publicados sobre experiencias en Latinoamérica demuestran la capacidad de



los humedales de flujo sub-superficial para remover cantidades significativas de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, sólidos suspendidos, bacterias y metales pesados de las aguas residuales, tanto urbanas como industriales (Merino, 2018).

Sin embargo, para la adaptación de cualquier tecnología a las condiciones de un lugar se requiere de estudios específicos que conduzcan a la obtención de coeficientes propios para el diseño, o adaptaciones a la metodología de diseño utilizada en lugares en donde estos procesos ya han sido estudiados (Bernardes, 2019; Carballeira, 2017; Larriva, 2017; Morocho, 2019).

Los mataderos de reses son industrias que se caracterizan por generar una cantidad considerable de aguas residuales con una alta carga de materia orgánica, expresada como DQO y DBO₅ además de grasas, aceites, sólidos suspendidos, nutrientes, y otra grandiversidad de compuestos.

La Unidad Empresarial de Base "Matadero Chichí Padrón" ubicada en la ciudad de Santa Clara, provincia de Villa Clara, en el mismo centro de la isla de Cuba, es una entidad que actualmente no posee sistema de tratamiento propio, desechando sus aguas residuales directamente al alcantarillado, contaminando los suelos y cuerpos hídricos hacia los cuales estas aguas son conducidas y vertidas, provocando un impacto negativo sobre el medioambiente, debido no solo a la contaminación que provocan, sino por la degradación y pérdida de los ecosistemas presentes en estos sitios.

La propuesta de utilizar un humedal para la gestión de dichas aguas podría ser una alternativa viable y aplicable a esta entidad productiva, además de ser económicamente factible, autosustentable, contribuyendo al cumplimiento de la normativa ambiental cubana, y por lo tanto, protegiendo al medio ambiente y la salud de las personas.

Se define como objetivo general del trabajo: Evaluar la eficiencia del empleo de humedales de flujo subsuperficial horizontal, a escala de laboratorio, en la remoción de la DQO, la DBO₅ y otros contaminantes presentes en las aguas residuales del matadero Chichí Padrón.

2. Materiales y Métodos.

La UEB Matadero "Chichí Padrón", se localiza en una zona suburbana en el sector noroeste de la ciudad de Santa Clara, en el centro del país, limitando por el norte y noroeste con instalaciones del CAN, por el noreste con la empresa CUPET, por el este con el tallerautomotor que pertenece a la Empresa Cárnica y por el sur con la carretera a Subplanta (Fig. 1).



Figura 1. Localización de la UEB Chichí Padrón. Zona Industrial. Santa Clara.

- **Descripción de los sistemas experimentales.**

Para evaluar un método eficiente de gestión, expresado en la capacidad de remoción de materia orgánica, sales, nutrientes, sólidos suspendidos, grasas y aceites, como alternativa de tratamiento para estas aguas residuales, fueron estudiados a escala de laboratorio cuatro sistemas experimentales de humedales de flujo subsuperficial horizontal (en lo adelante **HFSSH**), diferenciándose básicamente entre sí en la composición del sustrato (**figura 2**).

Las dimensiones de los prototipos, construidos de polietileno de alta densidad (HDPE, 3 mm de espesor) fueron: 0,45 m de largo, 0,3 m de ancho y 0,25 m de profundidad.

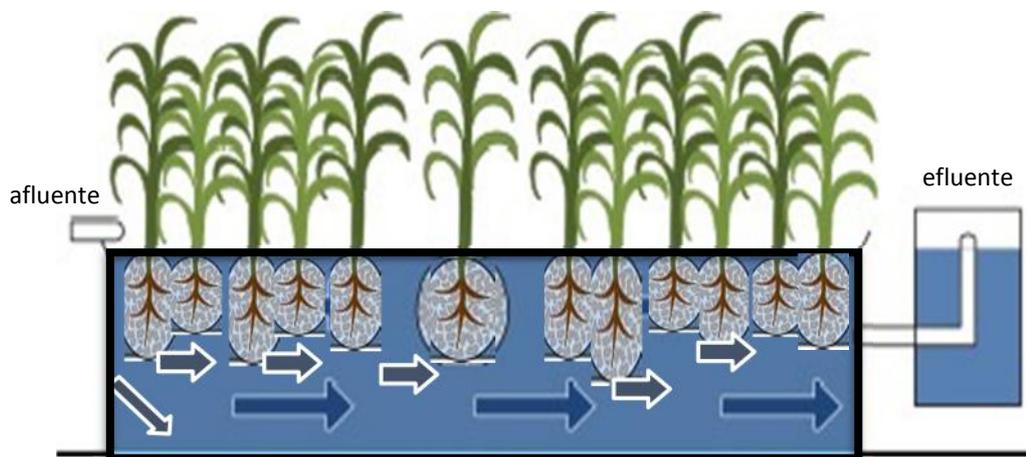


Figura 2. Representación gráfica de un humedal de flujo subsuperficial horizontal (HFSSH).

- **Sustrato.**

Los humedales construidos poseen en la superficie una capa de suelo pardo de 0,05 m de altura, luego una capa intermedia de arena fina de río (0,1 m), extraída de la cantera del Hoyo de Manicaragua, y en el fondo una capa de material grueso (0,1 m de altura), que puede ser gravilla de piedra caliza o zeolita con un diámetro equivalente entre 5 y 10 mm (fig. 3).

La configuración multicapa del sustrato, con un incremento de la conductividad hidráulica (K) desde la superficie hasta el fondo, incrementa significativamente la eficiencia hidráulica del



sistema con la minimización de zonas muertas y corto circuitos, se logra un mejor aprovechamiento de los espacios disponibles, mayor uniformidad en el flujo, se favorece el desarrollo de las biopelículas, y se evita la colmatación del lecho por sólidos sedimentables o suspendidos, aumentando la eficacia de los procesos de remoción de contaminantes si se comparan con los sistemas monocapas.

Para el estudio del suelo pardo utilizado como sustrato superficial en el humedal fue seleccionado un perfil representativo ubicado en áreas de influencia antrópica, el subtipo de suelo pardo mullido medianamente lavado, extraído de las cercanías de la entidad (área bajo pasto natural). Para obtener una muestra representativa se definió una red de muestreo de 80x 40 m, marcando puntos de muestreo en razón de 20 x 20 metros, para un área total de 3200 metros cuadrados.

Las muestras extraídas fueron llevadas al laboratorio provincial de suelos de VC y al laboratorio de suelos del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP-UCLV), secadas a temperatura ambiente y preparadas en función de los ensayos a efectuar.

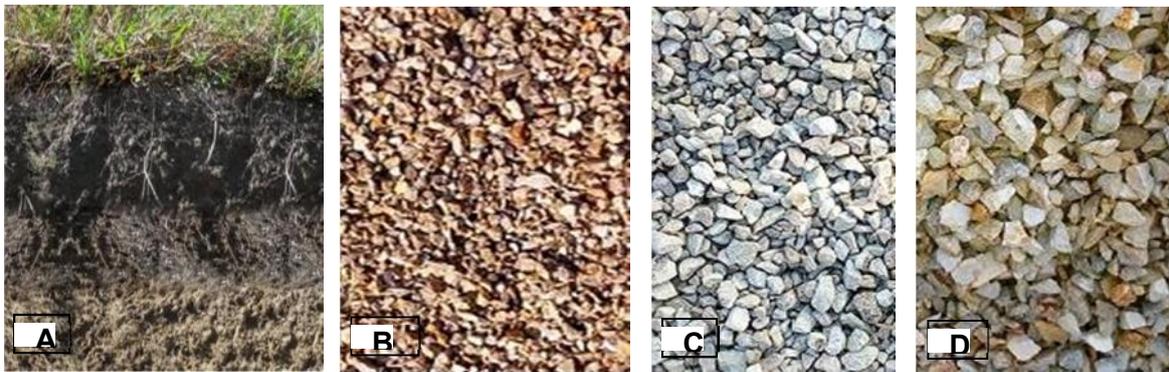


Figura. 3. Sustratos usados en los HFSSH a escala de laboratorio. A: suelo pardo, B: arena fina de río, C: gravilla de zeolita, D: gravilla de roca caliza.

Planta emergente seleccionada: *Cyperus Alternifolius*, es una especie perenne, herbácea y se desarrolla bien bajo condiciones de estrés siendo resistente a los excesos de contaminantes. Son plantas que pueden llegar a monopolizar ambientes determinados y logran alcanzar la madurez al cabo del año. Las plantas de dicha especie fueron tomadas en zonas aledañas a la entidad, en una planicie cubierta de pasto verde, en las orillas de un riachuelo. Se escogieron plantas jóvenes con raíces y rizomas en buen estado, realizándose la poda antes de la siembra.

Los prototipos de HFSSH fueron construidos en febrero del 2020, y colocados en un área cercana al foso colector de aguas residuales de la entidad, estando protegidos de la lluvia, pero expuestos a las variaciones naturales de la temperatura y la radiación solar. Los mismos fueron plantados con especies de la macrófita *Cyperus Alternifolius*, con una densidad poblacional de 12 plantas por metro cuadrado aproximadamente. La etapa de adaptación duró cerca de un mes. Los experimentos fueron realizados entre los meses de junio y noviembre de 2020, existiendo oscilaciones de la temperatura ambiental entre 21 y 26 °C en el horario nocturno, y entre 27 y 34 °C en horario diurno. La humedad relativa estuvo siempre por encima del 90 por ciento.



- **Microorganismos eficientes**

Como elemento bioestimulante de la flora microbiana autóctona existente en los humedales, y parámetro de posible influencia significativa en la remoción de la materia orgánica acompañante en las aguas residuales, se propone utilizar el bioproducto comercial **ME-50** (suspensión acuosa), fabricado por el Grupo Empresarial LABIOFAM - Plantas de Bioplaguicidas. MINAG, en varios de sus laboratorios que se encuentran distribuidos por todo nuestro país.

Descripción y contenido del producto: se presenta como una suspensión acuosa de color café, olor ligero a vino o fermento, y pH ácido (3.2 - 3.8). Es una mezcla de microorganismos eficientes autóctonos donde predominan los grupos siguientes: Hongos filamentosos y levaduras, Lactobacillus, Bacterias fotosintéticas, y Actinomicetos.

Dosis: Para tratamientos de residuales sólidos, acuosos, estiércoles y otros materiales orgánicos a compostar, se recomienda asperjar una solución que contenga entre 100 y 250 ml de ME-50 por litro de agua no clorada, dos veces por semana. En nuestros estudios se preparó una solución acuosa de ME-50, 1:10, la cual se dosificó gradualmente a razón de 1 litro por día en cada sistema ya plantado, por espacio de tres días, luego se dejó en reposo una semana, y se comienza nuevamente la alimentación del agua residual.

3. Resultados y Discusión.

- **Caracterización de las aguas residuales.**

Los mataderos como industria básica de todas las cárnicas, son sin duda, la más contaminante por el volumen de efluentes, su carga de materia orgánica y sus efectos sobre el medio ambiente dentro de este sector. Entre los aspectos medioambientales negativos más significativos de los mataderos está el de la contaminación de aguas superficiales, eutrofización de estanques, contaminación del mantofreático, emisión de malos olores, y contaminación del aire. Los productos contenidos en los vertidos son del tipo no metálico y su composición principal la constituyen amoniacos, aceites y grasas, siendo el sangrado y escalado los puntos críticos desde el punto de vista de carga contaminante.

Los parámetros ambientales más significativos que se relacionan con las aguas residuales generadas en los mataderos de reses son los siguientes:

- los sólidos en suspensión (SS), la carga orgánica expresada como demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO₅), los aceites y grasas (A y G), el nitrógeno y fósforo totales (NT y PT), y las sales.

A continuación, se indican los valores promedios anuales correspondientes a la DQO y DBO₅, incorporados a la caracterización química realizada al menos dos veces en el año al agua residual que emana del proceso industrial del matadero, registrados durante los últimos 10 años.



Tabla 1. Registro histórico de la demanda química de oxígeno (DQO) y la demandabioquímica de oxígeno (DBO5), de las AR del matadero Chichí Padrón (2011-2020).

	u/m	Años										NC27
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
DQO	mg/l	971	924	997	1008	953	850	810	860	905	894	700
DBO5	mg/l	448	480	357	464	357	420	325	430	363	405	300

Como se puede observar en la tabla 1, los valores de estos parámetros en ese período han estado siempre por encima del valor máximo permisible exigido por la normativa cubana, lo que ha generado impactos negativos sistemáticos sobre el medioambiente.

El **índice de biodegradabilidad**, expresado como la relación entre la DBO5 y la DQO, no es más que una medida del grado de biodegradabilidad que posee el agua residual. Valores elevados de este indicador son idóneos para el empleo de métodos biológicos en su gestión. En la tabla 2 (fig. 4) se muestran los valores del mismo calculado para las aguas residuales del matadero en el período 2011-2020, clasificándose en el rango entre biodegradables (B) y “muy biodegradables” (MB).

Tabla 2. Índice de biodegradabilidad promedio de las aguas residuales del matadero Chichí Padrón. 2011-2020.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DBO5/DQO	0,46	0,52	0,36	0,46	0,37	0,49	0,40	0,50	0,40	0,45
clasificación	MB	MB	B	MB	B	MB	MB	MB	MB	MB

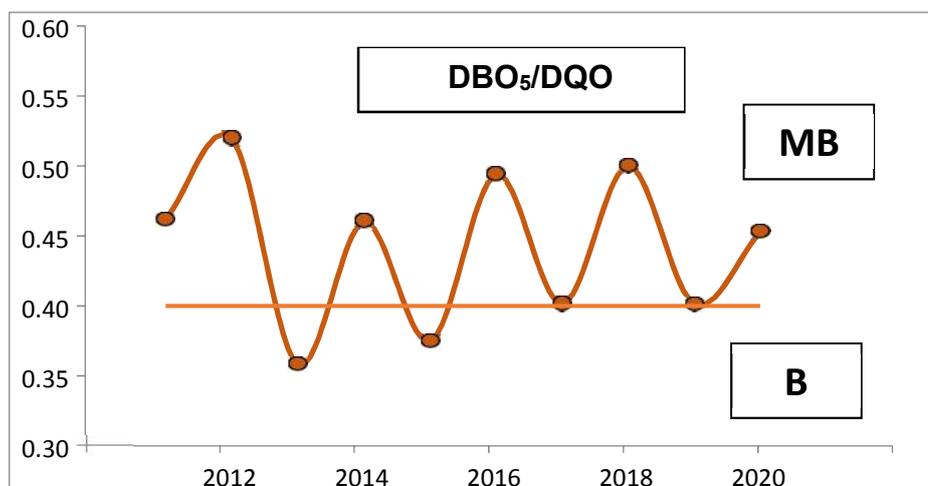


Figura. 4. Variación del Índice de biodegradabilidad promedio de las aguas residuales del matadero Chichí Padrón desde el año 2011 hasta el 2020.



Los datos obtenidos en los ensayos analíticos, tanto históricos como actuales (tabla 3), muestran que los valores de la DQO, DBO5, los sólidos sedimentables, y las grasas y aceites, han superado regularmente los límites máximos de vertimiento admitidos por la norma cubana NC 27-2012, motivo por el cual queda justificada la necesidad de llevar a cabo la implementación de un tratamiento de depuración, preferentemente de tipo biológico, para la gestión de las aguas residuales de esta industria.

Tabla 3. Caracterización química del agua residual a la salida del matadero, marzo 2020.

Parámetro	Valor	LMPP NC-27	normativa
DQO (mg/l)	960	700	No cumple
DBO5 (mg/l)	450	300	No cumple
SS (mg/l)	27	10	No cumple
pH	7,2	6-9	Cumple
NTK (mg/l)	31-69	-	
Amonio (mg/l)	12-38	-	
Fósforo total (mg/l)	24-97	-	
Grasas (mg/l)	140	50	No cumple
Conductividad	1400	4000	Cumple

- **Determinación de los flujos de alimentación.**

Para el cálculo del flujo de agua residual (**Q**) que debe ser alimentado a los sistemas de humedales en función de los tiempos de retención hidráulica (**TRH**) que deben ser logrados (48 y 96 horas), se estimaron dos valores de flujo promedio para cada tipo de humedal. Estos datos serán empleados posteriormente en el desarrollo del diseño de experimentos, y se calculan utilizando la siguiente ecuación:

$$t = \frac{L * W * d * n}{Q} \quad (1)$$

Donde: L: Longitud, (m); W: Ancho, (m); d: profundidad, (m); n: porosidad; **Q: Flujo, (m³/d)**

Despejando Q, y sustituyendo en la ecuación (1) se obtienen los flujos de alimentación (tabla 4) necesarios para obtener los tiempos de retención hidráulica fijados en el diseño.

Este residual, previa entrada al sistema, es filtrado con el objetivo de minimizar la presencia de sólidos y posibles efectos de creación de zonas muertas o la colmatación del lecho granular.



Tabla 4. Flujos de alimentación calculados para cada sistema de HFSSH.

Humedal FSSH	S1A	S1B	S2A	S2B
TRH (horas)	48	96	48	96
Configuración del sustrato	Suelo, arena grava caliza	Suelo, arena grava caliza	Suelo, arena grava zeolita	Suelo, arena grava zeolita
Longitud (m)	0,45	0,45	0,45	0,45
Ancho (m)	0,3	0,3	0,3	0,3
Profundidad (m)	0,25	0,25	0,25	0,25
Porosidad	0,38	0,38	0,30	0,30
Flujo promedio (dm ³ /h)	0,267	0,133	0,211	0,105
Flujo promedio (dm ³ /día)	6,4	3,2	5	2,5

- **Diseño factorial de experimentos.**

El diseño tiene como objetivo principal evaluar a escala de laboratorio la influencia del tipo de sustrato, el tiempo de retención, y la activación microbiana, sobre la eficiencia del sistema escogido (**HFSSH**) en la remoción de la carga orgánica, sales, y nutrientes (nitrógeno y fósforo), presentes en las aguas residuales del matadero Chichí Padrón.

Se propone utilizar un diseño factorial de experimentos 2^3 , siendo consideradas como variables de entrada: el tipo de sustrato (**X1**), el tiempo de retención hidráulico TRH (**X2**), y la activación con microorganismos eficientes del tipo ME-50 (**X3**).

Los valores límites de estos parámetros fueron definidos en el siguiente rango:

X1	sustrato	Sistema híbrido: grav. caliza + arena + suelo	-1
X1	sustrato	Sistema híbrido: grav. zeolita + arena + suelo	1
X2	TRH	2 días (48 horas)	-1
X2	TRH	4 días (96 horas)	1
X3	ACT MOE	no	-1
X3	ACT MOE	si	1

Como variables respuestas fueron registrados los valores del por ciento de remoción (ecuación 2) alcanzado luego del paso del agua residual por el sistema en estudio, en condiciones previamente definidas (X1, X2, X3) a dos niveles, calculado para: **DQO**, **DBO5**, conductividad eléctrica (**CE**), nitrógeno total (**Nt**), fósforo (**Pt**) y grasas y aceites (**GA**), luego de que el sistema se encuentre operando en condiciones de equilibrio. Todas las determinaciones analíticas fueron realizadas por el laboratorio de la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos, ENAST, UEB Villa Clara.



$\Phi(i)$ – Por ciento de remoción alcanzado para la variable respuesta (i), y se calcula como:

$$\phi(i) = 100 * \left[1 - \frac{\text{concentración final (i)}}{\text{concentración inicial (i)}} \right] \quad (2)$$

La organización de los experimentos y los resultados obtenidos para cada una de las variables respuesta se muestran en la tabla 5.

- **Obtención de Modelos matemáticos por Regresión Múltiple.**

El análisis estadístico de los resultados del diseño factorial se realizó usando el paquete de procesamiento STATISTICA 7 (data analysis software system), versión 7.0.61.0, propiedad de Stat Soft. Inc. www.statsoft.com, mediante regresión múltiple, proponiendo como modelo de correlación entre entrada y salida el siguiente:

Modelo lineal general:

$$Y = a + b*X1 + c*X2 + d*X3 + e*X1X2 + f*X1X3 + g*X2X3 + h*X1X2X3$$

Tabla 5. Matriz del diseño factorial 2³.

exp	X1	X2	X3	DQO	DBO5	CE	Nt	P	Gr y Ac
1	-1	-1	-1	75,58	77,17	23,8	23,8	30	33,3
2	1	-1	-1	82,32	84,78	38,09	28,57	50	55,55
3	-1	1	-1	88,14	88,9	35,71	80,95	50	72,22
4	1	1	-1	91,39	93,04	50	85,7	70	88
5	-1	-1	1	88,4	87	33,3	85,71	60	83,33
6	1	-1	1	91,86	91,74	47,62	90,47	70	88,89
7	-1	1	1	90,7	91,74	41,43	90,47	70	88,89
8	1	1	1	95,58	96,09	60	95,24	70	94,4
11	-1	-1	-1	74,11	78,45	25,6	27,6	33	35,2
22	1	-1	-1	81,29	85,83	39,91	27,85	56	57,3
33	-1	1	-1	89,66	90,11	37,61	81,44	48	71,8
44	1	1	-1	92,05	94,75	52,38	87,22	74	86,1
55	-1	-1	1	89,3	89,2	35,6	84,86	60	83,33
66	1	-1	1	92,15	91,74	48,33	90,47	70	88,89
77	-1	1	1	91,1	92,36	42,11	92,97	70	88,89
88	1	1	1	96,38	96,75	54,93	95,24	70	94,4

- **Resultados estadísticos de la regresión múltiple.**

A continuación, se reportan las variables de entrada consideradas como estadísticamente significativas (p menor que 0,05) para cada respuesta y los valores de los coeficientes del modelo ajustado obtenidos por regresión.



	a	b (X1)	c (X2)	d (X3)	R² ajustado
DQO	88,126	2,252	3,75	3,81	0,986
DBO₅	89,353	2,487	3,614	2,724	0,956
CE	41,651	7,256	5,12	3,764	0,967
Nt	73,035	2,06	15,62	17,644	0,998
Pt	59,438	6,813	5,813	8,063	0,97

- Análisis de los resultados del diseño factorial.**

Se obtuvieron seis modelos matemáticos, uno para cada una de las variables respuestas estudiadas. En todos los casos, las tres variables de entrada evaluadas fueron significativas y positivas, con elevados coeficientes de correlación para el modelo ajustado, de lo que se puede inferir que el mismo describe adecuadamente la influencia de estas variables sobre la respuesta obtenida en el intervalo definido, y que la perturbación o cambio del valor en la entrada, provoca siempre un cambio directamente proporcional y estadísticamente significativo sobre la respuesta.

A continuación, se muestra un cuadro resumen (tabla 6) del nivel de significación de las variables en función de la respuesta. Estos resultados concuerdan con experiencias reportadas anteriormente por otros investigadores, demostrándose que la activación del HFSSH con la adición de MOE al sistema (bioestimulación + bioaumentación de la flora), y tiempos de retención superiores a las 24 horas, pueden incrementar significativamente la eliminación de los nutrientes (Nt y Pt) y de la carga orgánica que acompañan a las aguas residuales que ingresan al mismo. Por otra parte, el tipo de sustrato es la variable que, sin dejar de ser importante, influye preferentemente en la remoción de sales y sólidos, ya sean suspendidos o sedimentables.

Tabla 6. Niveles de significación de las variables del diseño en cada modelo.

Remoción de:	nivel de significación	Variable más significativa	R² ajustado
DQO	Activ. MOE TRH Sustrato	Activ. con MOE	0,9866
DBO₅	TRH Activ. MOE Sustrato	TRH	0,9563



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
TÍTULO

CE	Sustrato TRH Activ. MOE	Sustrato	0,9674
Nt	Activ. MOE TRH Sustrato	Activ. con MOE	0,9979
Pt	Activ. MOE Sustrato TRH	Activ. con MOE	0,9707
Grasas y Aceites	Activ. MOE TRH Sustrato	Activ. con MOE	0,9984

Los valores alcanzados en la eliminación de los contaminantes demuestran que: en los sistemas **S1 (A y B)**, que poseen un sustrato de roca caliza, para TRH entre 48 y 96 horas, se logran por cientos de remoción en el rango de 74-89 % para la DQO, 77-90 % para la DBO5, y de 33-72 % para las Grasas y Aceites. En los sistemas **S2 (A y B)**, cuyo sustrato base es gravilla de zeolita, para TRH entre 48 y 96 horas, se logran por cientos de remoción en el rango de 81-92 % para la DQO, 84-94 % para la DBO5, y de 55-88 % para las Grasas y Aceites, valores ligeramente superiores a los primeros.

La bioactivación de estos sistemas con el bioproducto ME-50 provoca una mejora adicional y significativa en la eficiencia de remoción de contaminantes. En los sistemas **S1 (A y B)**, para TRH entre 48 y 96 horas, se logran por cientos de remoción en el rango de 88-91 % para la DQO, 87-92 % para la DBO5, y de 83-89 % para las Grasas y Aceites.

Por otra parte, en los sistemas **S2 (A y B)**, para TRH entre 48 y 96 horas, se logran por cientos de remoción en el rango de 91-96 % para la DQO, 91-96 % para la DBO5, y de 89-94 % para las Grasas y Aceites. Estos últimos son los valores máximos de eficiencia logrados en nuestros ensayos.

En las figuras 5 y 6 se muestra de forma gráfica la variación de la remoción de la DQO y la DBO5 para las diferentes condiciones experimentales del diseño.

A modo de resumen, se puede afirmar que los mejores rendimientos en la remoción de los contaminantes fueron alcanzados en el prototipo de HFSSH que utilizó gravilla de zeolita en el sustrato, bioactivado con ME-50 y un tiempo de retención de 96 horas.

El análisis de los resultados alcanzados a partir de las experiencias desarrolladas a escala de laboratorio permite afirmar que, el empleo de sistemas de humedales del tipo **HFSSH** puede considerarse un método eficiente para el tratamiento de aguas residuales generadas en mataderos, lográndose niveles elevados de remoción de los contaminantes, y un efluente compatible con las regulaciones ambientales de nuestro país.

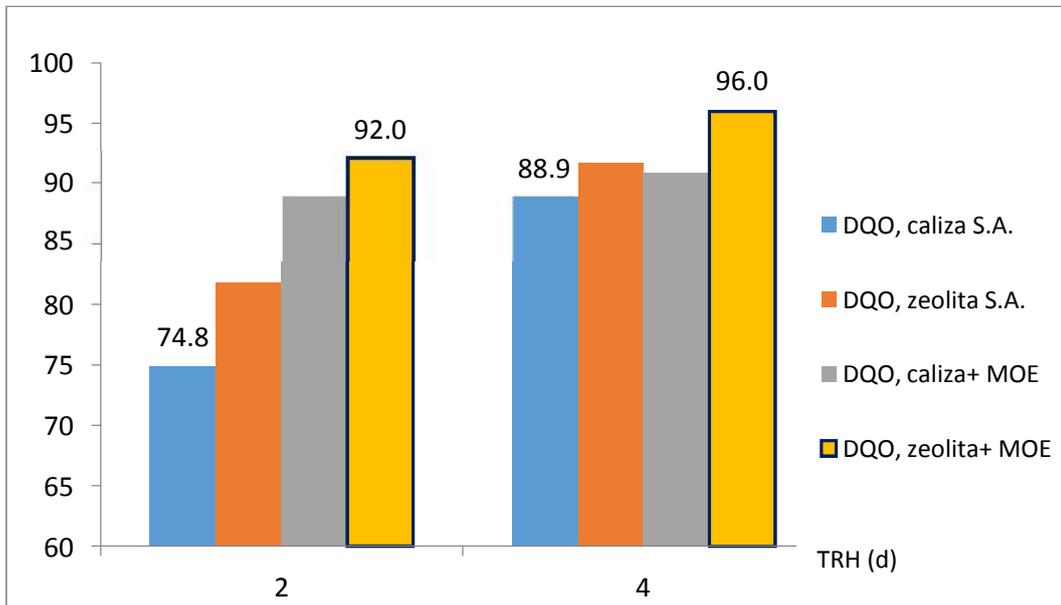


Fig. 5. Variación del por ciento de remoción de la DQO en HFSSH para TRH de 2 y 4 días, en dos tipos de sustrato, sin activación (SA) y bioactivados (+MOE).

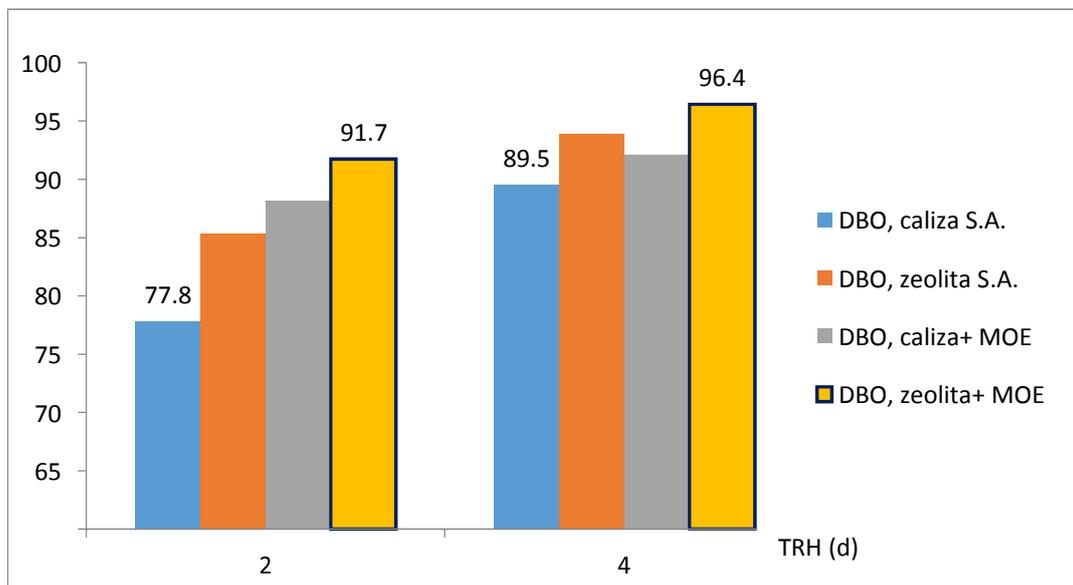


Fig. 6. Remoción de la DBO5 en HFSSH para TRH de 2 y 4 días, y dos tipos de sustrato.

Cabe una mención especial al uso de la macrófita *Cyperus Alternifolius*, cuya influencia no fue evaluada en esta ocasión, pero su papel ha sido esencial en los resultados obtenidos en esta investigación.



4. Conclusiones.

- La caracterización analítica sistemática de las aguas residuales del matadero demuestra que: los valores de la DQO, la DBO5, los SS, y las grasas y aceites, han estado superando los límites máximos permisibles admitidos por la norma cubana NC 27: 2012, motivo por el cual queda justificada la necesidad de implementar, para su gestión, un tratamiento de depuración, preferentemente de tipo biológico.
- La activación del HFSSH con la adición de ME-50, y tiempos de retención superiores a las 24 horas, incrementan significativamente la eliminación de los nutrientes y de la carga orgánica que acompañan a las aguas residuales que ingresan al mismo. Por otra parte, el tipo de sustrato influye preferentemente en la remoción de sales y sólidos sedimentables.
- Los valores máximos de eficiencia en la remoción de contaminantes se logran en los sistemas S2 (A y B) activados con ME-50, para TRH entre 48 y 96 horas, i.e: 92-96 % para la DQO, 91.4-96.7 % para la DBO5, y de 89-94 % para las Grasas y Aceites.
- Se obtuvieron, por regresión múltiple, los modelos matemáticos que describen la relación variable entrada-variable respuesta, con elevados coeficientes de correlación para los modelos ajustados, indicador de la adecuación de los mismos.
- En todos los casos estudiados, las tres variables de entrada evaluadas fueron estadísticamente significativas y positivas, de lo que se puede inferir que: una perturbación o cambio del valor en las mismas, en el rango estudiado, provoca siempre un cambio directamente proporcional y estadísticamente significativo sobre la respuesta.
- El análisis de los resultados alcanzados a partir de las experiencias desarrolladas a escala de laboratorio permite afirmar que: el empleo de sistemas de humedales del tipo **HFSSH** plantados con *Cyperus Alternifolius*, puede considerarse un método eficiente para el tratamiento de aguas residuales generadas en mataderos, lográndose niveles elevados de remoción de los contaminantes, y un efluente compatible con las regulaciones ambientales de nuestro país.

5. Referencias Bibliográficas.

1. Almeida, C.; Guachamin, G.; Guerrero, V.; Vilamar, C. (2020). "Heliconia stricta Huber Behavior on Hybrid Constructed Wetlands Fed with Synthetic Domestic Wastewater. *Water* **2020**, 12, 1373; doi:10.3390/w12051373.
2. Bernardes, F.S.; Herrera, P.G.; Chiquito, G.M.; Morales, M.F.; Castro, A.P.; Paulo, P.L. (2019). "Relationship between microbial community and environmental conditions in a constructed wetland system treating greywater. *Ecol. Eng.* **2019**, 139, 105581.
3. Carballeira T., Ruiz I., Soto M. (2017). "Aerobic and anaerobic biodegradability of accumulated solids in horizontal subsurface flow constructed wetlands". *Int. Biodeterior. Biodegr.* 2017; 119: pp. 396-404.



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
TÍTULO

4. Colás, A.; et al. (2020). "Caracterización de algunos indicadores morfológicos, físicos y químicos en subtipos de suelos Pardos antropizados en la provincia Villa Clara". *Centro Agrícola*. CIAP. UCLV. Vol. 47, No.3, julio-septiembre, pp. 75-79, 2020. CF: cag093202277.
5. De la Varga, D. *et al.* (2020) "Constructed Wetlands for Industrial Wastewater Treatment and Removal of Nutrients," in *In Waste Management: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. IGI global, pp. 559–587.
6. Farraji, Hossein. (2019). "Wastewater Treatment by Phytoremediation Methods". *Wastewater Engineering: Types, Characteristics and Treatment Technologies. Chapter 7. 2019, pp. 205-218. Available online at http://www.ijsrpub.com/books_IJSRPUB.*
7. Garfí, M., Flores, L. and Ferrer, I. (2017) "Life Cycle Assessment of wastewater treatment systems for small communities: Activated sludge, constructed wetlands and high rate algal ponds," *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.05.116.
8. Gholipour, A.; Zahabi, H.; Stefanakis, A.I. (2020). A novel pilot and full-scale constructed wetland study for glass industry wastewater treatment". *Chemosphere* **2020**, 247, 125966.
9. Ji, M.; Hu, Z.; Hou, C.; Liu, H.; Ngo, H.H.; Guo, W.; Lu, S.; Zhang, J. (2020). "New insights for enhancing the performance of constructed wetlands at low temperatures". *Bioresour. Technol.* **2020**, 301, 122722.
10. Knebel, N. (2019). "Crossing the Borders Between Teaching, Research and Practice: A University Project for a Zero-Energy Building in Oman". *KnE Soc. Sci.* **2019**.
11. Larriva, B et al. (2017) "Cinética de la remoción de DBO5 en humedales con flujo sub-superficial horizontal". *Ing. Hidráulica y Ambiental*, Vol. XXXVIII, No. 1, Ene-Abr 2017, p. 17-30, ISSN 1815–591X, RNPS 2066.
12. Matamoros, V., Rodríguez, Y. and Albaigés, J. (2016) "A comparative assessment of intensive and extensive wastewater treatment technologies for removing emerging contaminants in small communities," *Water Research*. doi: 10.1016/j.watres.2015.10.058.
13. Merino-Solis, M. (2018). "Mecanismos de remoción de materia orgánica y nutrientes en un sistema de tratamiento pasivo de aguas residuales municipales". Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias y Tecnología, especialidad: Ingeniería Ambiental. CIATEJ. Guadalajara, Jalisco, México.
14. Morocho, M.; Leiva, M (2019). "Efficient microorganisms, functional properties and agricultural applications". *Centro Agrícola*, Vol.46, No.2, abril-junio, 93-103, 2019, CE: 1887 CF: cag112192227, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001.
15. Nakase, C.; Zurita, F.; Nani, G.; Reyes, G.; Fernandez, G.; Cabrera, A. (2019). "Nitrogen Removal from Domestic Wastewater and the Development of Tropical Ornamental Plants in Partially Saturated Mesocosm-Scale Constructed Wetlands". *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, 16, 4800.
16. Nivala, J.; Murphy, C.; Freeman, A. (2020). "Recent Advances in the Application, Design, and Operations & Maintenance of Aerated Treatment Wetlands". *Water* **2020**, 12, 1188.