

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



COMISIÓN III: IV SIMPOSIO INTERNACIONAL
“SEGURIDAD TECNOLÓGICA Y AMBIENTAL”

Título

Remoción de hidrocarburos mediante biosorción con bagazo de caña de azúcar y humedales horizontales subsuperficiales.

Title

Removal of hydrocarbons by biosorption with sugarcane bagasse and subsurface horizontal wetlands.

Dra.C. Pastora de la C. Martínez Nodal ⁽¹⁾. Dr.C. Iván Rodríguez Rico ⁽²⁾, Dra.C. Elena Rosa Domínguez ⁽¹⁾, Dra.C. Maira María Pérez Villar ⁽¹⁾.

⁽¹⁾. Departamento de Grados Científicos. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Cuba. Carretera a Camajuní Km. 5. Santa Clara. Cuba. CP: 54830. ⁽²⁾. Departamento Ingeniería Química. Facultad de Química – Farmacia Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Cuba. . Carretera a Camajuní Km. 5. Santa Clara. Cuba. CP: 54830. **E mail:** pastoramn@uclv.edu.cu

Resumen:

Existen métodos de remoción de hidrocarburos presentes en agua que presentan ciertas desventajas: mayor costo de instalación y arranque, costos de mantenimiento, etc. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la remoción de hidrocarburos mediante un sistema tratamiento utilizando bagazo natural de la caña de azúcar (BN) y la combinación con un humedal de flujo subsuperficial. Para la evaluación del sistema se utilizó una columna rellena con bagazo de caña de azúcar natural, con diámetro interior: 0,052 m, altura: 0,32 m y longitud de la cama: 0,31 m y el diámetro de partículas (entre +1 -2 mm), seguida de un humedal construido de flujo subsuperficial horizontal de 0.4 m de largo, 0.17 de ancho y 0,09 m de profundidad. La planta utilizada fue la especie

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



emergente *Cyperus alternifolius*. El sistema se alimentó con el residual líquido (contaminado con hidrocarburos). Una vez adaptada la planta (*Cyperus alternifolius*), se evaluó el sistema completo. El sistema trabajó con un caudal de 2L/h. Al efluente final del sistema de tratamiento, se le determinaron los parámetros: pH, color verdadero (CV), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD) e hidrocarburos totales (HCT). Se logró un porcentaje de remoción en los indicadores de la contaminación: DQO (91,05%) e HCT (98,9%) en el efluente final. Se propone un esquema tecnológico de baja complejidad tecnológica, bajo costo y sostenible para la remoción de hidrocarburos, basado en los elevados niveles de remoción obtenidos.

Abstract:

*Existing methods for removing hydrocarbons from industrial waters have as disadvantages its high installation, start-up and maintenance costs. The objective of this work is to remove hydrocarbons from industrial waters through the use of a treatment system with a natural bagasse from sugar cane (BN), in combination with a subsurface flow wetland. For the evaluation of the system, a column filled with natural sugar bagasse, inner diameter (D) 0.052 m, height 0.32 m, bed length 0.31 m and particle diameter between +1 -2 mm, connected to a wetland constructed of horizontal subsurface flow 0.4 m long, 0.17 wide and 0.09 m deep and vegetated with *Cyperus alternifolius*. Liquid waste (contaminated with hydrocarbons) is fed to the system. Once adapted to the plant (*Cyperus alternifolius*), the complete system was evaluated. The system worked with a flow rate of 2L / h. At the end of the treatment system, the parameters were determined: pH, true color (CV), chemical oxygen demand (COD), dissolved oxygen (DO) and total hydrocarbons (THC). A removal impulse is shown in the pollution indicators: COD (91.05%) and THC (98.9%) in the final effluent. A technological scheme of low technological complexity, low cost and sustainable for the removal of hydrocarbons is proposed, based on the high levels of removal obtained.*

Palabras Clave: Biosorbentes, Bagazo de caña de azúcar, Remoción de hidrocarburos, Humedales construidos.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Keywords: Biosorbents, sugarcane bagasse, hydrocarbon removal, constructed wetlands.

1. Introducción

Actualmente a nivel mundial la industria relacionada con la energía está generando residuos contaminantes a partir de sus actividades en la búsqueda, producción, transporte y procesamiento del petróleo. La evolución futura de los sistemas energéticos y de las emisiones provenientes de los mismos es el resultado de la interacción de muy complejos procesos que involucran fuerzas de gran dinamismo, como son los casos del desarrollo socioeconómico, las tendencias demográficas y el cambio tecnológico. (Pérez, 2012).

En este tipo de industria se genera un residual líquido con un alto contenido de hidrocarburos, producto de la centrifugación del combustible utilizado como principal materia prima para eliminar las impurezas mecánicas, el agua y partículas que se incorporan en su traslado. El mismo es considerado como un residuo tóxico y peligroso que debe ser tratado de forma adecuada y segura para evitar posibles daños al suelo, a las aguas superficiales, subterráneas y a la población en general, en caso de derrames o vertimientos sin la calidad requerida. (EPA, 2000).

El principio de cualquier política de gestión de residuos es el de evitar su generación, dando impulso a las medidas de prevención y minimización antes que a las medidas de tratamiento o manejo al “final del tubo”. Sin embargo, generalmente no es posible lograr una generación “cero” ya que siempre existirá una determinada cantidad de residuos que debe manejarse en forma adecuada, de acuerdo al volumen generado y a la peligrosidad de los mismos. Resultado de esto, surge el concepto de Gestión Integral de Residuos (GIR): que no es más que un conjunto articulado de acciones desde su generación hasta la disposición final.

Como una adecuada GIR culmina en el tratamiento o disposición final de los residuos, es necesario tener en cuenta que la mayoría de los tratamientos convencionales

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



desarrollados para el tratamiento de efluentes requieren de altos costos de operación, de insumos y producirán otros residuos que requerirán de una gestión especial en función de sus características. Es por ello que para la selección del tratamiento aplicable a los residuos tóxicos y peligrosos se deben tener en cuenta además, los aspectos técnicos, económicos y la búsqueda de nuevas soluciones (Martínez, et al, 2005). Las alternativas de tratamientos no convencionales como: la biosorción y los humedales horizontales de flujo subsuperficial, se perfilan como soluciones tecnológicas de escasa complejidad, sustentables y novedosas, para la depuración de aguas residuales contaminadas con hidrocarburos, en países en vías de desarrollo (Tiez et al, 2007; Lakdawala, 2012). Establecer una tecnología no convencional de escasa complejidad tecnológica para el tratamiento de residuos tóxicos y peligrosos en el menor tiempo posible, es una necesidad para minimizar los impactos negativos ocasionados a la salud humana y al medio ambiente por estos residuos.

Es por todo lo anterior que el objetivo del trabajo es evaluar la remoción de hidrocarburos mediante un sistema tratamiento utilizando bagazo natural de la caña de azúcar (BN) como biosorbente y la combinación con un humedal de flujo subsuperficial.

2. Metodología

Descripción del sistema de tratamiento utilizado. Para evaluar la remoción de hidrocarburos en agua.

Para la evaluación del sistema de tratamiento propuesto a escala de laboratorio, se utilizó como tratamiento una columna rellena con bagazo de caña de azúcar natural, con un diámetro interior de (D) 0,052 m y una altura (H) 0,32 m. La longitud de la cama de bagazo de caña natural como biosorbente (L_0) de 0,31 m, el diámetro de partículas (d_p) entre +1 -2 mm y una relación diámetro interior de la columna/diámetro de partícula de $D/d_p=34.6$ y $H/D=6.15$ respectivamente. Como tratamiento posterior se utilizó un humedal construido de flujo subsuperficial horizontal de 0.4 m de largo, 0.17 de ancho

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

y 0,09 m de profundidad, altura recomendada para los sistemas horizontales, factor de gran importancia en este tratamiento, ya que los procesos depuradores ocurren horizontalmente en el lecho (Beom-Goo et al., 1999; Watson et al., 1989).

El agua a tratar (afluente): el sistema se alimentó con el agua oleosa generada en una Central Eléctrica (CE) que opera con diesel, después de una separación física (tratamiento primario) de la fase combustible (diesel).

Medio poroso: grava caliza 10-15 mm

Planta emergente: *Cyperus Alternifolius*, ya que la misma se desarrolla de forma natural en la zona estudiada y estudios realizados por Blanco, (2009) e Izquierdo, (2013) obtuvieron elevadas eficiencias de remoción con esta planta emergente.

El flujo: Se aplica el flujo intermitente, de (2 L/h), teniendo en cuenta estudios similares a pequeña escala, reportadas en la literatura, (García, 2005).

Evaluación la calidad del afluente y el efluente. Se realiza mediante los Límites Máximos Permisible Promedio (LMPP) establecidos las NC 27.2012. Ríos y Embalses. Una vez adaptada la planta (*Cyperus alternifolius*), se comenzó a evaluar el sistema completo. En la figura 1 se puede observar la estación experimental utilizada para el tratamiento de estos residuales y la adaptación progresiva de la de especie emergente (*Cyperus alternifolius*) al medio.

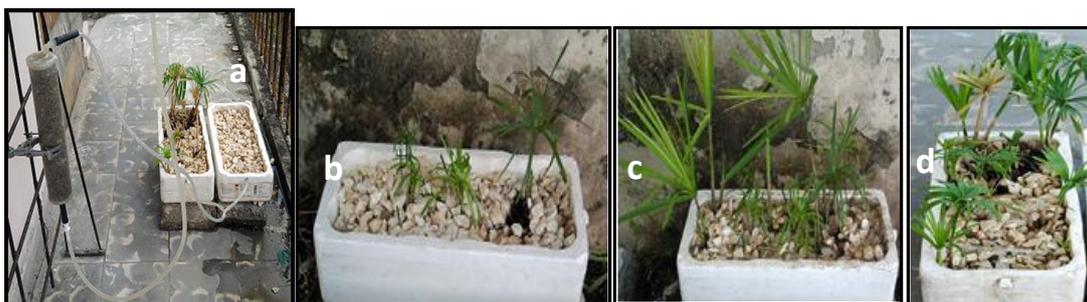


Fig. 1. a) Estación experimental utilizada. b) 9 días, c) 27 días y d) 45 días de adaptación al medio.

Al afluente de la columna se le determinaron los parámetros: pH, color verdadero (CV), e hidrocarburos totales (HCT), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales (ST), sólidos totales fijos y volátiles (STF, STV) y oxígeno disuelto (OD) y al efluente final del sistema de tratamiento, se le determinaron los parámetros: pH, CV, DQO, OD

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

e HCT con el objetivo de evaluar la calidad de los mismos para su vertimiento. Estos parámetros se determinaron de acuerdo a (APHA, 2000) y a estándares internacionales. Ver (Tabla 1). Para la determinación de estos parámetros el muestreo se realizó sobre la base del criterio de toma de muestras compuestas proporcionales al flujo, según Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH, 2004).

Parámetros	UM	Método Empleado.
Potencial de hidrógeno (pH)	u de pH	Método electrométrico
Color verdadero (CV)	mg/L. Pt	Método escala platino-cobalto
Sólidos totales (ST)	mg/L	Método gravimétrico.
Sólidos totales volátiles (STV)	mg/L	Método gravimétrico.
Sólidos totales fijos (STF)	mg/L	Método gravimétrico.
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	Método dicromato. Refluj. abierto
Oxígeno disuelto (OD)	mg O ₂ /L	Método electrométrico
Hidrocarburos totales (HCT)	mg/L	Extracción gravimétrica

Tabla 1. Parámetros de calidad y métodos analíticos empleados. Elaboración propia

3. Resultados y discusión

Resultados obtenidos en la caracterización y evaluación del afluente (agua oleosa) al sistema.

En la tabla 2 se muestran los valores promedios obtenidos de los parámetros determinados al agua oleosa utilizada (afluente), comparados con los Límites Máximos Permisible Promedio (LMPP) establecidos las NC 27.2012. Ríos y Embalses. Como se puede observar el agua residual oleosa no cumple con la norma de vertimiento en el indicador materia orgánica (DQO). En el caso del parámetro hidrocarburos totales (HCT), se prohíbe su vertimiento (PV) a cualquier cuerpo receptor.

Parámetros	UM	Afluente	LMPP NC 27.2012
Potencial de hidrógeno (pH)	u de pH	7,76	6 -10
Color verdadero (CV)	mg/L. Pt	250	-
Sólidos totales (ST)	mg/L	832	-
Sólidos totales volátiles (STV)	mg/L	832	-
Sólidos totales fijos (STF)	mg/L	562	-
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	695,5	250
Oxígeno disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0	2
Hidrocarburos totales (HCT)	mg/L	1444	PV

Tabla2. Valores de los parámetros analizados al afluente del sistema y LMPP. Elaboración propia

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Remoción de hidrocarburos en el efluente del sistema compuesto por una columna rellena con bagazo natural de caña de azúcar como biosorbente, seguida de un humedal horizontal de flujo subsuperficial.

En la tabla 3 se muestran una comparación de los resultados obtenidos en los muestreos realizados al afluente, efluente del sistema se muestran y los porciento de remoción obtenidos. Se puede observar un incremento significativo del oxígeno disuelto, corroborándose lo planteado por diferentes autores, (Blanco, 2008; Jia et al, 2010; Vasudevan et al, 2011; Fuchs et al, 2011; Langergraber et al, 2005) cuando se utilizan humedales horizontales como tratamientos terciarios. Se logra además un elevado porciento de remoción en los indicadores DQO (91,05%) e IHC (98,95%) en el efluente, superiores a los reportados por (Moreno et. al, 2003) de un 64% en la remoción de hidrocarburos para estos sistemas. Los autores atribuyen estos resultados a la capacidad de los componentes del humedal para remover compuestos hidrocarbonados a través de la adsorción y otros mecanismos existentes. Los resultados obtenidos evidencian el efecto de las macrófitas, la adsorción por el soporte y a la transferencia de oxígeno de las hojas hacia las raíces, favoreciendo un mayor desarrollo de la biomasa microbológica y la incidencia en la remoción del indicador IHC, según criterios de (Dietz and Schnoor, 2001).

Parámetros	UM	Afluente	Efluente	% R
Potencial de hidrógeno (pH)	u de pH	7,76	7,64	-
Color verdadero (CV)	mg/L Pt	250	45	82,0
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	695,5	62,24	91,05
Índice de hidrocarburos (IHC)	mg/L	1444	15,2	98,9
Oxígeno disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0	3,70	-

Tabla 3. Comparacion de los valores obtenidos al afluente y efluente del sistema. Elaboración propia

Para evaluar la calidad del efluente del sistema propuesto, se compararon los parámetros obtenidos en los muestreos realizados al efluente del sistema de tratamiento con los Límites Máximos Permisible Promedio (LMPP) establecidos las NC 27.2012. Ríos y Embalses para el cuerpo receptor C. En la tabla 4 se observa que excepto el índice de

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

hidrocarburos, los demás parámetros se encuentran por debajo del LMPP reportado en la misma.

Parámetros	UM	Efluente	LMPP NC 27.2012
Potencial de hidrógeno (pH)	u de pH	7,64	6 -10
Color verdadero (CV)	mg/L. Pt	45	
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	62,24	250
Oxígeno disuelto (OD)	mg O ₂ /L	3,70	
Índice de hidrocarburos (IHC)	mg/L	15,2	PV

Tabla 4. Valores de los parámetros analizados al efluente final del sistema de tratamiento con los normativos. Elaboración propia

Aunque la norma (NC 27.2012) prohíbe el vertimiento directo a la red de alcantarillado y cualquier cuerpo receptor de: gasolina, petróleo y aceites (minerales), se considera que por ser una concentración baja (15,2 mg/L), tener un oxígeno disuelto de 3.7 mg/L y ser el cuerpo receptor (suelo) de baja calidad e utilidad, pueden ser vertidos sin daños alguno, según estudios realizados por (Martínez, 2005; Zamora, 2012) que corroboran además lo planteado en (NC 1048:2014, Anexo C), donde se relacionan cultivos tolerantes a compuestos tóxico.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, en la figura 2 se muestra un esquema del sistema tecnológico propuesto para el tratamiento del agua oleosa después de la separación física (tratamiento primario). Compuesto por la combinación de tres columnas de lecho fijo rellenas con bagazo de caña de azúcar como biosorbente (tratamiento secundario) operando en paralelo y un humedal de flujo subsuperficial horizontal como tratamiento terciario.

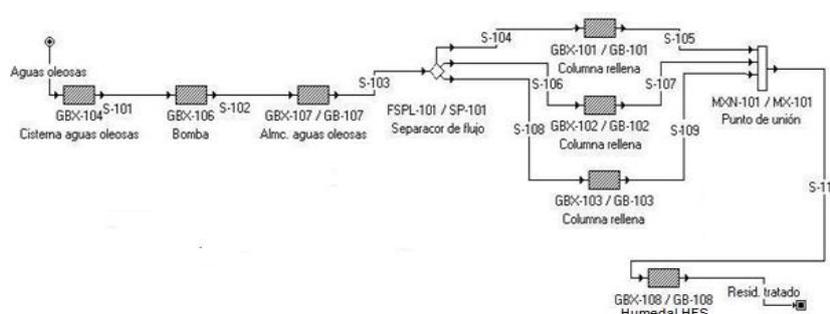


Fig.2. Esquema tecnológico del sistema no convencional de escasa complejidad tecnológica para el tratamiento del agua oleosa.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



4. Conclusiones

1. La tecnología de tratamiento no convencional, de baja complejidad tecnológica y de bajo costo, alcanza altas eficiencias de remoción de contaminantes presentes en las aguas oleosas.
2. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, de la revisión bibliográfica y de la búsqueda de patentes, se realiza una solicitud de Patente de Invención número 2016-0085 a la Oficina Cubana de la Propiedad (OCPI), la cual fue otorgada a la UCLV, en septiembre 2018.

5. Referencias bibliográficas

1. APHA, AWWA, WEF (2000). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th ed. Washington DC: American Public Health Association.
2. Beom-Goo, L; Han, J; Rowell, R. (1999), Oil sorption by lignocellulosic fibers. In: Kenaf Properties, Processing and Products; Mississippi State University, Ag & Bio Engineering, 423-433, ISBN 0-9670559-0-3.
3. Blanco, E. (2008). Tratamiento de aguas de producción con humedales construidos de tipo subsuperficial. Trabajo de grado presentado ante la ilustre Universidad del Zulia para optar al grado académico de: Magíster Scientiarum en Ingeniería Ambiental. Tutor: Prof. Edixon Gutiérrez. Co-tutor: Ing. Marisel Núñez Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería, División de Postgrado Programa de postgrado en Ciencias Ambientales Tratamiento. Maracaibo.
4. Dietz, A, and Schnoor, J. (2001). Advances in Phytoremediation. Environmental Health Perspectives. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Iowa, Iowa City, Iowa, USA. Vol. 109.
5. EPA. 832-F-00-023(2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial. Washington, D.C.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



6. Fuchs, V.; Mihelcic, J.; James, R.; Gierke, J. S.(2011). Life cycle assessment of vertical and horizontal flow constructed wetlands for wastewater treatment considering nitrogen and carbon greenhouse gas emissions. *Water Research*. 45 (5) 2073–2081.
7. García, T; Rodríguez, M. (2005). Diseño, construcción y evaluación preliminar de un humedal de flujo subsuperficial. Tesis de Maestría Ingeniero Civil. Bogotá DC.: Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería Civil.
8. Jia, W.; Zhang, J.; Wu, J.; Xie, H.; Zhang, B.(2010). Effect of intermittent operation on contaminant removal and plant growth in vertical flow constructed wetlands: A microcosm experiment. *Desalination*. 262 (1–3) 202–208.
9. Lakdawala, M; Pate, Y. (2012). The effect of low cost material Bagasse Fly ash to the removal of COD Contributing component of combined waste water of Sugar Industry. *Scholars Research Library Archives of Applied Science Research*, 4 (2):852-857. ISSN 0975-508X CODEN (USA) AASRC9.
10. Langergraber, G.; Simunek, J. (2005). Modeling variably saturated water flow and multi component reactive transport in constructed wetlands. *Vadoze Zone Journal*. 4 (4), 924-938.
11. Martínez, J; Mallo, M; Lucas R; Álvarez J; Salvarrey, A; Gristo, P. (2005). Guía para la gestión de residuos tóxicos y peligrosos. Fundamentos Tomo I. Centro coordinador del convenio de Basilea para América Latina y el Caribe. Montevideo, Uruguay.
12. Martínez, V. (2001). Efecto de hidrocarburos en propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Terra Vol 19*: 9-17. No 1.
13. Moreno, L; Fernández, F; Rubio, A; Calaforra, Y; López J. M, Torroba, B; Alcain, G; Murillo, J; Gómez, J. (2003). La Depuración de Aguas Residuales Urbanas de Pequeñas Poblaciones Mediante Infiltración Directa en el Terreno Fundamentos y Casos Prácticos.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

14. ONN: 1048/2014. (2014). Calidad del agua para preservar el suelo. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización. La Habana.
15. ONN: NC27/2012. (2012). Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización. La Habana.
16. Pérez, M. (2012). Evaluación del comportamiento de humedales subsuperficiales de flujo vertical en la depuración de aguas residuales domésticas. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Tutores: Dra. Elena Rosa Domínguez. Dr. Prof. Filip Tack. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba.
17. Tietz, A.; Kirschner, A.; Langergraber, G.; Sleytr, K.; Haberl, R., (2007). Characterisation of microbial biocoenosis in vertical subsurface flow constructed wetlands. *Science of the Total Environment*. 380 (1-3).
18. Vasudevan, P.; Griffin, P.; Warren, A.; Thaphiyal, A.; Tandon M., (2011). Localized domestic wastewater treatment: part I Constructed wetlands (an overview). *Journal of Scientific and Industrial Research*. 70 583-594
19. Watson, J. T.; Reed, S. C.; Kadlec, R. H.; Knight, R. L.; Whitehouse, A. E. (1989). Performance expectations and loading rates for constructed wetlands. En Hammer D.A. (ed) *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Municipal, Industrial and Agricultural*. Lewis Publishers. Chelsea.
20. Zamora, A. (2012). Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades química y microbiológica en suelo de sabana. *BIOAGRO* 24(1): 5-12.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu