

## **MINIMIZACION DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS AGUAS OLEOSAS MEDIANTE COLUMNA RELLENA CON BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR**

### **REDUCTION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF OLEAGINUS WATER BY MEANS OF A FIX BED COLUMN FILLED WITH SUGAR CANE BAGASSE**

*Pastora de la C. Martínez Nodal<sup>1\*</sup>, Elena R. Rosa Domínguez<sup>1</sup>,  
Iván L. Rodríguez Rico<sup>2</sup>, Jorge Leiva Mas<sup>2</sup> y Maira María Pérez Villar<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Centro de Estudios de Química Aplicada, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní Km 5 ½ Santa Clara. Villa Clara. Cuba.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní Km 5 ½ Santa Clara. Villa Clara. Cuba.

Recibido: Octubre 13, 2015; Revisado: Noviembre 18, 2015; Aceptado: Diciembre 9, 2015

#### **RESUMEN**

A partir del diagnóstico ambiental realizado en el proceso de centrifugación del combustible utilizado como materia prima para la generación de energía eléctrica en las Centrales Eléctricas (CE) que operan con diesel y la caracterización físico-química del agua residual oleosa (ARO) que se genera, se realizó la evaluación de impacto ambiental que estas aguas provocan si son vertidas el medio sin tratamiento alguno. Se confeccionó una matriz de importancia que permitió identificar las acciones y factores impactados por la actividad y los residuos generados. Partiendo de la caracterización físico-química del ARO se propone un tratamiento sustentable con la utilización de una columna de lecho fijo rellena con bagazo de caña de azúcar como material biosorbente, para minimizar el impacto ambiental provocado por las aguas oleosas en caso de derrame. Al bagazo de caña de azúcar natural (BN) se le realizó una caracterización físico-química: humedad, densidad aparente, porosidad y capacidad máxima de adsorción. Con los resultados obtenidos se definió la fracción de interés (+1 -2 mm), dado por el rendimiento en el tamizado (41%), la homogeneidad de dicha fracción y su capacidad de sorción (2g diesel/g BN). La curva de ruptura se obtuvo mediante un sistema de flujo continuo de 2 L/h de ARO a través de un lecho fijo de 59,997 g de BN y una concentración inicial de hidrocarburo de 1444,9 mg/L.

Copyright © 2016. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

\* Autor para la correspondencia: Pastora Martínez, Email: [pastoram@uclv.edu.cu](mailto:pastoram@uclv.edu.cu)

Los estudios demostraron que el bagazo de caña de azúcar tiene potencialidades como biosorbente de hidrocarburos, lográndose una remoción significativa del indicador hidrocarburo total, de un 65%.

**Palabras claves:** aguas oleosas, biosorbentes, bagazo de caña de azúcar, remoción de hidrocarburos.

## **ABSTRACT**

From the environmental assessment conducted in the centrifugation process fuel that is used as raw material for generating electricity in Power Plants (CE) operating with diesel and the physicochemical characterization of oleaginous water (ARO) that it generates, it was performed the environmental impact assessment of these waters if they are discharged without any treatment. A matrix of importance was made, which allowed us to identify the impact on the actions and factors by the activity and the generated waste. From the physico-chemical characterization of ARO, a sustainable treatment is proposed with the use of a fixed-bed column filled with sugar cane bagasse as biosorbent material to minimize the environmental impact caused by oleaginous water if spilled. A physicochemical characterization was made to the natural sugar cane bagasse in terms of moisture, density, porosity and high adsorption capacity. The results allowed to define the fraction of interest (+1 -2 mm), given by the performance in the screening (41%), the homogeneity of this fraction and sorption capacity (2g diesel/g BN). The breakthrough curve was obtained by a continuous flow system 2 l/h of ARO through a fixed bed of 59.997 g of BN and an initial concentration of hydrocarbon of 1444.9 mg/l. Studies showed that the sugarcane bagasse has potential as biosorbent oil, achieving a significant removal of the indicator total hydrocarbon, of 65%.

**Keywords:** oleaginous water, biosorbents, sugar cane bagasse, hydrocarbons removal.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las aguas oleosas provienen de diversas fuentes y varían ampliamente en la composición y propiedades físicas. Un factor común en ellas, es que contienen tanto aceite como impurezas, gruesas y finas que forman una emulsión estable y un alto contenido de hidrocarburos. Según (Teas et al., 2002), Brito (2006) y (Ortiz et al., 2006), el tratamiento del agua oleosa es por tanto una tarea difícil, la sedimentación en el campo gravitatorio en algunos casos es lenta y frecuentemente una operación inefectiva que requiere mucho espacio y algunas veces requiere de cantidades excesivas de productos químicos, por lo que se debe tener en cuenta su procedencia y calidad para proponer una solución propia y viable desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Investigaciones recientes han demostrado que diferentes materiales pueden ser empleados como biosorbentes de hidrocarburos. Tal es el caso de fibras de palma, coco, caña de azúcar, algunas algas (buchón de agua), tallos de flores, cabellos humanos, plumas de pollos, cáscara de guayaba, entre otros. Estudios realizados por Reyes (2003), (Knight et al., 2000), (Ortiz y col., 2006); Salazar (2012) sobre biomateriales lignocelulósicos han aportado resultados significativos en la remoción de hidrocarburos. Entre ellos se destaca el bagazo de caña

de azúcar por ser este un residuo de la industria azucarera de bajo costo, buena capacidad de biosorción y que una vez utilizado aumenta su poder calórico y puede ser reutilizado para la generación de energía, en diferentes procesos. El presente trabajo tiene como objetivo proponer tratamiento sustentable que permitan reducir el poder contaminante de las ARO mediante la utilización de una columna de lecho fijo rellena con bagazo de caña de azúcar como biosorbente.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Diagnóstico ambiental.

Se identificaron los impactos generados por la actividad y los residuos. Se elaboró una relación de acciones impactantes y factores impactados que se tuvieron en cuenta para la identificación, valoración y características de los impactos ambientales provocados. **Acciones impactantes:** A<sub>2</sub> – Generación y emisión de residuos líquidos. **Factores impactados:** F<sub>1</sub> – Fauna, F<sub>2</sub>–Aguas subterráneas, F<sub>3</sub> – Suelo, F<sub>4</sub> – Flora, F<sub>5</sub>– Factor humano. Para la evaluación de los impactos asociados a residuos se tuvo en cuenta los parámetros matriciales de acuerdo a la matriz de importancia que propone Conessa (2000).

### 2.2. Caracterización y clasificación de los residuos.

La caracterización físico - química del ARO se realiza según el "Procedimiento para la caracterización de aguas oleosas generadas en el proceso de lavado del diesel" desarrollado. La clasificación del ARO se realiza teniendo en cuenta los resultados de la caracterización realizada y lo establecido en la Resolución (136/2009) "Reglamento para el manejo integral de desechos peligrosos". Para realizar la caracterización físico - química se tomaron 6 muestras de ARO. A las muestras tomadas se le realizó una separación física y se tomo la fase agua oleosa (FAO), a la cual se les determinaron los contaminantes más relevantes: Demanda Química de Oxígeno (DQO), grasa y aceites e hidrocarburos, según lo establecido en APHA (2005). Los procedimientos analíticos y fundamentos de los métodos utilizados, son reportados en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Procedimientos analíticos utilizados en la caracterización físico - química

<i>Ensayo realizado</i>	<i>UM</i>	<i>Método utilizado</i>
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	Dicromato. Reflujo abierto y cuantificación
Índice de Hidrocarburos (IHC)	mg/L	Cromatografía de gases

### 2.3. Evaluación de la calidad de la fase agua oleosa.

La evaluación de la calidad del efluente se realizó de acuerdo con la legislación vigente, en la que se reportan los Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) establecidos en la norma cubana: (NC 27:2012), para las descargas de aguas residuales, según la clasificación del cuerpo receptor.

#### 2.4. Caracterización del bagazo de caña de azúcar natural como biosorbente de hidrocarburos.

- **Preparación del biomaterial biosorbente.**

El bagazo de caña de azúcar natural (BN) fue sometido a las operaciones: secado, molienda y tamizado para obtener una biomasa uniforme. Posteriormente se seleccionó la granulometría (+1 -2 mm) porque proporciona mejores condiciones hidrodinámicas y por la importancia de sus porcentajes máxicos en la muestra (41 %), lo que resultaría operacional y económicamente ventajoso, de ser efectivas para el tratamiento de los residuales líquidos a tratar. Al bagazo de caña natural se le realizó una caracterización físico-química: humedad, densidad aparente, porosidad y capacidad máxima de adsorción, cuyos procedimientos se describen a continuación:

- **Determinación de humedad:** Se realizó en una balanza de humedad Sartorius modelo MC 40, a una temperatura de 105<sup>0</sup>C, de forma automática a la temperatura programada.
- **Determinación de la densidad real. (Método Picnométrico):** Se empleó un picnómetro de tipo Weld de 50 mL. La técnica consistió en pesar una masa determinada del material la cual se introduce en el picnómetro, luego se le adiciona el solvente (agua destilada), hasta el nivel de enrase.
- **Determinación de la densidad aparente:** Se utilizó una probeta seca y limpia. La técnica consistió en adicionar una masa del material hasta un determinado volumen (40 mL), luego se pesa la probeta con todo su contenido, y por diferencia se obtiene la masa del sólido.
- **Determinación de la porosidad:** La porosidad de la partícula de un sólido es una medida de la rugosidad y la capacidad de la superficie, se estimó a partir de su relación con la densidad, según la ecuación:

$$e = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{real}} = \frac{\rho_{real} - \rho_{ap}}{\rho_{real}} \quad (1)$$

Donde: ap = densidad aparente y real = densidad real del BN

- **Determinación de la capacidad de sorción.** Para determinar la capacidad de sorción, se adaptó la metodología aplicada en otros estudios realizados por (Ortiz y col. 2006) y Salazar (2012) basada en el protocolo canadiense "Oíl Sorbente: Testing Protocol and Certification Listing Program" y de la norma (ASTM F 726-99), en la cual se determina la masa de hidrocarburo sorbido por gramo de material sorbente, mediante la ecuación:

$$Ca = \frac{m_i - m_0}{m_0} \quad (2)$$

Donde: Ca = capacidad de sorción, mt = masa de material impregnado (peso del biosorbente e hidrocarburo sorbido) y m0 = masa del material biosorbente seco.

#### 2.5. Experimentos de biosorción de hidrocarburo en discontinuo usando bagazo de caña de azúcar natural como biosorbente. Curva de ruptura o quiebra.

Se empleó una columna de laboratorio (relación diámetro interior/diámetro de partícula: d/dp=34,6 y relación altura /diámetro interior: h/d=6,15) rellena con BN (diámetro de partículas (dp) entre +1 - 2 mm), a la cual se le hizo pasar agua oleosa (flujo continuo 2

L/h) y una concentración inicial de hidrocarburo de 1444,9 mg/L. A la salida se tomaron muestras cada 30 minutos y se les determinó: grasas, aceites (G, A) e hidrocarburos totales (HCT) como variables respuestas tal como lo aborda Lafuente (2010).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados obtenidos del diagnóstico ambiental.

Teniendo en cuenta los aspectos matriciales fundamentales evaluados se obtiene la siguiente matriz de importancia.

Acción Factores	A1	Imp. Absoluta	Imp. Relativa	Leyenda
F1	-25	-25	-1,9	
F2	-50	-50	-7,5	Moderado (25-50)
F3	-56	-56	-8,4	Compatible (<25)
F4	-28	-28	-2,8	
F5	-26	-26	-2,6	

Figura 1. Matriz de importancia obtenida

Como resultado de este análisis se puede apreciar que los factores mayormente impactados son: las aguas subterráneas y el suelo de forma severa, si estas ARO son vertidas al medio en caso de derrames o sin la calidad requerida.

#### 3.2. Resultados promedios obtenidos de la caracterización físico-química de la fase agua oleosa.

En la figura 2 se muestra el ARO antes de la separación física de la fase combustible (diesel) y después de la separación física (fase agua contaminada con hidrocarburo o fase agua oleosa)

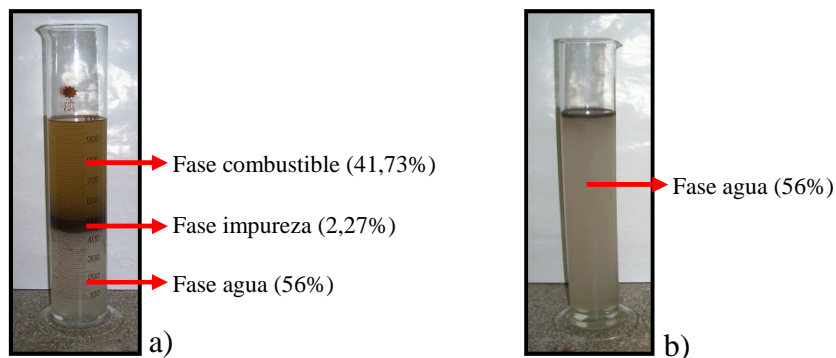


Figura2. Agua residual oleosa  
(a) Antes de la separación física (b) Después de la separación física

El valor promedio del análisis físico – químico realizado a las muestras (fase agua oleosa), son reportados en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Valores promedios de los resultados analíticos realizados a la fase agua oleosa

<i>Indicadores de la contaminación</i>	<i>Valor promedio</i>	<i>LMPP (NC 27: 2012)</i>	<i>LMPP (NC 521: 2007)</i>
DQO (mg/L)	501,32 ± 5.82	70-250	75-300
HCT (mg/L)	1444,00 ± 215,86	PV	5-20

PV. Prohibido el vertimiento

### **3.3. Evaluación de la calidad de la fase agua oleosa.**

De acuerdo a lo establecido en las Normas Cubanas Obligatorias (NC 27:2012), donde se establecen los límites máximos permisibles promedios (LMPP) para las descargas a los diferentes cuerpos receptores y teniendo en cuenta los resultados analíticos realizados; la fase agua oleosa (FAO) no cumple con la calidad requerida para su vertimiento a ningún cuerpo receptor, de la norma anteriormente mencionada.

### **3.4. Características fundamentales de la fase aguas oleosas. Clasificación.**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la caracterización físico - química realizada a la fase aguas oleosas después de la separación física, se pudo constatar que tienen un alto contenido de hidrocarburos (1444,00 mg/L) por lo que fueron clasificadas como residuos tóxicos y peligrosos según lo establecido en la legislación (Resolución 136/2009).

- **Desechos químicos peligrosos.**

Y 9. Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.

- **Características Peligrosas**

H6.1 Tóxicos (venenos) agudos. Sustancias o desechos que pueden causar la muerte o lesiones graves o daños a la salud humana, si se ingieren o inhalan o entran en contacto con la piel.

H11 Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos). Sustancias o desechos que, de ser aspirados o ingeridos, o de penetrar en la piel, pueden entrañar efectos retardados o crónicos, incluso la carcinogénesis.

H12 Ecotóxicos. Sustancias o desechos que, si se liberan, tienen o pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el medio ambiente, debido a la bioacumulación o los efectos tóxicos en los sistemas bióticos.

### **3.5. Tratamiento de la fase agua oleosa, utilizando bagazo de caña de azúcar como biosorbente en columnas de lecho fijo.**

Tomando en consideración los estudios realizados y las características de la fase agua oleosa (FAO) una vez realizada la separación física, se propone utilizar una columna rellena con bagazo de caña de azúcar natural como biosorbente, para la limpieza de las aguas contaminadas con hidrocarburos (aguas oleosas) y reducir el carácter tóxico y peligrosos de las mismas.

### 3.6. Características físico –químicas del bagazo de caña de azúcar natural utilizado.

En la tabla 3 se resumen las propiedades físicas del BN (+1 -2 mm) utilizado en los estudios realizados.

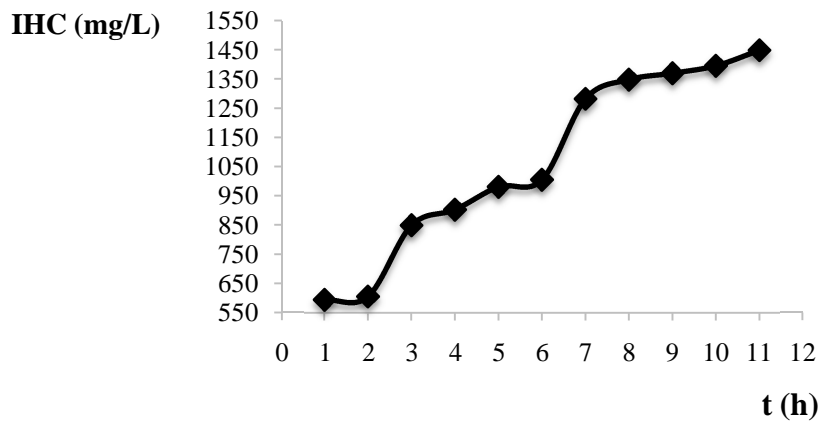
**Tabla 3.** Resultados estimados de algunas propiedades físicas del bagazo natural (BN)

<i>Propiedad física</i>	<i>Valor promedio</i>
Humedad a 105 °C (%)	7,57±0,19
Densidad aparente (g/mL)	0,07123±6,9·10 <sup>-6</sup>
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	0,165±9,9·10 <sup>-5</sup>
Porosidad	0,568±1,4·10 <sup>-5</sup>
Capacidad de adsorción (g HC/g de BN)	1,81±0,1

Las propiedades físicas de los adsorbentes son fundamentales como criterio para la selección de diferentes materiales y la aplicación que se les va a dar a los mismos, es por ello que los métodos utilizados para su caracterización deben ser confiables y reproducibles. Teniendo en cuenta lo reportado por (Elizalde-González y Hernández-Montoya, 2009) en su estudio con materiales orgánicos naturales, el bagazo de caña evaluado promete resultados prominentes como un biosorbente de hidrocarburos en agua, con características similares a los ofertados en el mercado internacional como el 3M<sup>TM</sup> microcordines T4, T8, T12, el PV 15 material vegetal particulado, entre otros (<http://multimedia.3m.com>). Además de su buen desempeño, la abundancia, disponibilidad y bajo costo de este subproducto de la industria azucarera y su biodegradabilidad, lo hacen un excelente material biosorbente para la remoción de hidrocarburos en aguas oleosas. Esto permite reducir considerablemente los costos adicionales de almacenamiento o disposición final que tienen los materiales adsorbentes sintéticos fabricados en su mayoría con polipropileno o poliuretano.

### 3.7. Resultados obtenidos en los experimentos de biosorción de hidrocarburo en discontinuo usando BN como biosorbente. Curva de ruptura o quiebra.

En la figura 3 se puede observar un punto crítico denominado punto de ruptura o de quiebra, a las 6 horas de operación, que representa el punto donde, para propósitos prácticos, la columna está en equilibrio con el influente y después del cual ocurre poca remoción adicional de soluto. En este punto se hace necesario reemplazar la columna. Estos resultados están en correspondencia con las características físico-química del material utilizado y la concentración inicial del hidrocarburo en el ARO. Lo anterior está en correspondencia con los resultados obtenidos por Danglad (2012), donde el punto de ruptura se obtiene a las 5 horas de operación, para concentraciones mayores de hidrocarburo.



**Figura 3.** Curva de ruptura para una columna (h/d=6,15) rellena con BN y una concentración inicial HCT de 1444 mg/L

### 3.8. Remoción de los contaminantes.

En la tabla 4 se reportan las concentraciones de hidrocarburos en el afluente y el efluente de la columna y el porcentaje de remoción que se logra con la utilización del biosorbente evaluado (BN): hidrocarburos totales (65%).

**Tabla 4.** Concentración de hidrocarburos en el afluente y efluente de la columna rellena con BN

<i>Contaminante</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Valor medio afluente</i>	<i>Valor medio efluente</i>	<i>Eficiencia %</i>
IHC	(mg/L)	1 444,00 ± 215,86	505,4±54,00	65,1

Una vez que el bagazo de caña de azúcar natural este agotado aumenta su valor calórico y puede ser utilizado para la generación de energía, en diferentes procesos. Esta acción permite reducir el consumo de combustible fósil (diesel o fuel oil) recurso no renovable de alto valor económico, que es necesario ahorrar. Además el uso de las fuentes renovables de energía debe incrementar su papel en el balance energético mundial. Dentro de las fuentes renovables, el bagazo de caña de azúcar tiene características que lo catalogan como un combustible natural para producir vapor y un efecto global positivo sobre el medio ambiente con respecto al uso de los combustibles fósiles (González y col., 2013).

## 4. CONCLUSIONES

1. La evaluación realizada al bagazo de caña de azúcar natural demostró que el mismo tiene potencialidades como biosorbente de hidrocarburos, por lo que se recomienda como relleno en columnas de lecho fijo para la remoción de hidrocarburos en aguas residuales.
2. Con el tratamiento sustentable utilizando, se logra un 65% de remoción de los HCT presentes en la fase agua oleosa, se reduce el carácter tóxico y peligroso y se minimizan los impactos ambientales que pueden ocasionar las mismas, si son vertidas al medio sin tratamiento alguno.
3. En las condiciones experimentales estudiadas la columna puede operar 6 horas continuamente antes de ser remplazada.



## REFERENCIAS

- APHA, AWWA, WEF., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21<sup>th</sup> ed. Washington DC: American Public Health Association, 2000.
- Adsorbentes industriales 3M, (documento en pdf on-line). Consultado en Julio del 2013. Disponible en: <http://multimedia.3m.com/mws/mediawebsserver?6666660Zjcf6lVs6EVs66SylGCOrrrr Q>.
- Brito, J., Propuesta de una tecnología para obtener un biosorbente de Cr<sup>3+</sup> a partir del bagazo de caña. Escalado a nivel de planta piloto., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Máster en Análisis de Procesos en la Industria Química, en la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba, 2006.
- Conessa, V., Guía metodológica de Evaluación de impactos ambientales., España, 2000.
- Danglad, J.A., Uso de partículas hidrofobadas de bagazo de caña en el tratamiento de aguas aceitosas., Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito para optar al título de Ingeniero Químico, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Barcelona, España, 2010.
- Elizalde-González, M., and Hernández-Montoya, R., Guava seed as an adsorbent and as a precursor of carbon for the adsorption of acid dyes., *Bioresource Thechnology*, Vol. 100, No. 7, April 2009, pp. 2111-2117.
- González, F., Puestas, J., Cabreara, J., Método para determinar el calor específico de combustión del bagazo a partir de los principales factores agroindustriales en la industria de la caña de azúcar., Cuba, Visitado el 18 de Junio del 2013, disponible en: [www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar21/.../articulo02.htm](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar21/.../articulo02.htm).
- Knight, R., Borer, R., Clarke, J. and Pries, J., Constructed wetlands for treatment of hydrocarbons., *Ecological Engineering*, Vol. 15, No. 4, 2000, pp. 41-55.
- Lafuente, S., Método de separación física para el tratamiento de desechos de refinería., Cochabamba, Bolivia, 2010. Recuperado el 4 de Mayo de 2012. Disponible en: [www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/boltar008.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/boltar008.pdf)
- Norma Cubana, Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones., NC 27: 2012, Cuba.
- Ortiz, P, Fonseca, F, Rodríguez, G., Montenegro, L., Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua., *Ingeniería e Investigación*, Vol. 26, No. 2, 2006, pp. 20-27.
- Resolución 136, Reglamento para el manejo integral de desechos peligrosos., Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, 28 de Agosto, Cuba, 2009.
- Reyes, L., La biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental., *Revista Centro Azúcar*, Vol. 30, No. 2, pp. 14-20, abril-junio, 2003.
- Salazar, E., Remoción de hidrocarburos mediante biopolímeros naturales: efecto del tamaño de partícula., Tesis presentada en opción al grado científico de Master en Ciencias Ambientales, en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultades de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina, México, 2012.
- Teas, C.H., Zankos, F. K. S., Stoumas, S., Lois, E.I., Anastopoulos, G., Investigation of the effectiveness of absorbent materials in oil spill clean up. *Spill Science & Technology, Bulletin* 8, 2002, pp. 259 – 264.