



Tecnología Química

ISSN: 0041-8420

revista.tec.quimica@fiq.uo.edu.cu

Universidad de Oriente

Cuba

Nápoles Álvarez, Janet; Ábalos Rodríguez, Areli; Pérez Pompa, Norma; Marañón Reyes, Alina; Díaz Franco, Eleazar

IMPACTO AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA PETROLÍFERA DE SANTIAGO DE CUBA.
CARACTERIZACIÓN

Tecnología Química, vol. XXVII, núm. 2, mayo-agosto, 2007, pp. 83-91

Universidad de Oriente

Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543753013>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

IMPACTO AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA PETROLÍFERA DE SANTIAGO DE CUBA. CARACTERIZACIÓN

Janet Nápoles Álvarez¹, Areli Ábalos Rodríguez¹, Norma Pérez Pompa², Alina Marañón Reyes², Eleazar Díaz Franco³.

Centro de Estudios de Biotecnología Industrial (CEBI), Universidad de Oriente, ²Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente, ³Refinería de Petróleo "Hermanos Díaz", Santiago de Cuba

El proceso de refinación del petróleo incorpora a la atmósfera partículas y emisiones gaseosas, derrame de hidrocarburos al medio marino y al suelo, generando serios problemas de contaminación ambiental. En este trabajo se presenta la caracterización de los suelos contaminados con petróleo, así como de las aguas residuales del proceso de refinación y las características de las emisiones gaseosas. La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de la industria petrolífera en las condiciones actuales de operación también se refleja. El impacto fue estudiado mediante una matriz causa-efecto, resultando los factores del medio más agredidos el aire, salud e higiene, suelo y aguas superficiales y subterráneas; mientras que los impactos más agresivos son el funcionamiento del sistema de tratamiento de residuales líquidos y la emanación de gases. La caracterización de las aguas evidenció la presencia de aceites y grasas, DBO₅ y DQO mayores que los límites permisibles por la Norma Cubana de vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Los suelos poseen una baja aireación y alta contaminación. El contenido de nitrato y fosfato en suelo es bajo, aunque se detectó población heterótrofa. El principal contaminante gaseoso es el SO₂, cuyas emisiones a la atmósfera sobrepasan los límites permisibles según la Norma Cubana de Aire en la zona de trabajo, al igual que las partículas suspendidas.

Palabras clave: contaminación, impacto, petróleo

The process of refinement of the petroleum incorporates particles and gassy emissions to the atmosphere, spill of hydrocarbons to the marine means and the soil, generating serious problems of environmental contamination. The characterization of the polluted soils with petroleum, as well as of the waste waters of the refinement process, and the characteristics of the gassy emissions are presented in this work. The Evaluation of Environmental Impact (EIE) of the oil industry under the current operation conditions is also reflected. The impact has been studied using a cause-effect matrix, being the most affected factors the air, health and hygiene, soil and superficial and underground waters; while the most aggressive impacts are the operation of the liquid residual treatment system and the gas emanation. The characterization of the waters evidenced a considered content of oils, DBO₅ and DQO higher than the permissible limits of the Cuban Regulation (Norma Cubana de vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas). The soils show a low aeration and high contamination. The nitrate and phosphate content is low in the soil, although heterotrophy population was detected. The main gassy pollutant is the SO₂ whose emissions to the atmosphere exceed the permissible limits according to the Cuban Air Regulation (in the zone of work, so as the suspended particles).

Key words: contamination, impact, petroleum.

Introducción

En la actualidad, la creciente demanda energética ha incrementado la utilización del petróleo y sus derivados y con ello la aparición de zonas contaminadas, ya sea por derrames de buques petroleros u operaciones del proceso de extracción, refinación y transporte.

La actividad petrolífera impacta directamente sobre el medio ambiente, teniendo significación especial las emisiones atmosféricas, los desechos sólidos y los efluentes líquidos, los cuales arrastran cantidades apreciables de hidrocarburos, materia orgánica y metales pesados. Los efluentes líquidos inciden fuertemente sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres, provocando en muchos

casos la ruptura del equilibrio natural del ecosistema afectado. Por tal razón, en los últimos años las empresas petroleras han comenzado a ocuparse y preocuparse de los problemas ambientales, a partir del diseño de una correcta política ambiental y la búsqueda de soluciones que minimicen la contaminación ambiental. /1,2/

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es uno de los instrumentos para materializar la política ambiental. Tiene un carácter fundamentalmente preventivo, porque se propone, desde los primeros momentos, una actividad económica que modifique el medio ambiente. La información que brinda la EIA permite analizar las consecuencias medioambientales de un proyecto, lo que unido a una valoración social y económica definen las decisiones sobre la viabilidad del mismo /3, 4, 5/. Uno de los métodos para realizar la EIA son las matrices causa-efecto o de interacción, donde se cruzan las acciones humanas con los indicadores de impacto ambiental, y son muy útiles para identificar el origen de diferentes impactos. /6, 7, 8/

En la zona costera de Santiago de Cuba se encuentra la refinería de petróleo, la cual, además de las plantas de refinación y facilidades auxiliares (tratamiento de agua, calderas, nitrógeno), cuenta con un área de Movimiento y Almacenaje de Productos (MAP), que abarca toda la deposición de materias primas, productos intermedios y terminados y tratamiento de residuales.

En este trabajo se valora el impacto ambiental de la refinería en las condiciones actuales de explotación, así como la caracterización de los suelos contaminados con hidrocarburos, aguas residuales del proceso y emisiones gaseosas.

Materiales y métodos

Evaluación de impacto ambiental en condiciones actuales de operación

La EIA se realizó en tres etapas: 1) identificación de los impactos y los factores del medio afectados por ellos; 2) valoración de los impactos y 3) cálculo de la importancia de los impactos. /4/

Caracterización de las aguas residuales

Origen y toma de la muestra

Las muestras se tomaron a la salida del sistema de tratamiento biológico, durante cuatro meses, por triplicado y en el horario de la mañana, a una profundidad de 1 m.

Se analizaron los parámetros pH (electrométrico), temperatura (físico), DQO (espectrofotométrico), DBO₅ (microbiológico), aceites y grasas (gravimétrico, previa extracción líquido-líquido), fósforo (espectrofotométrico) y nitrógeno, según se describe en el Standard Methods /9/. La selección de los parámetros de contaminación se realizó sobre la base de las regulaciones de vertido en ecosistemas marinos. /10/

Caracterización de los suelos

Origen y toma de la muestra

Las muestras proceden de suelos contaminados con petróleo del área MAP de la Refinería. Se tomaron a 0,05 m de profundidad en el levy o cubeto del tanque, y se tamizaron hasta 0,42 mm para eliminar las piedras y fracciones más gruesas.

Caracterización física, química y microbiológica del suelo

La determinación de los parámetros sólidos totales, totales fijos y totales volátiles (gravimétrico), pH (electrométrico), conductividad eléctrica (conductimétrico), aireación, NO₃⁻ y PO₄³⁻ (espectrofotométrico), así como la granulometría, se realizaron según describe Jackson /11/. El contenido de hidrocarburos se determinó como Materia Orgánica Extraíble (MOE) mediante extracción continua en Soxhlet con n-hexano. Una vez eliminado el solvente se calculó la MOE como:

$$\% \text{ MOE} = (P_2 - P_1) / 100$$

donde: P₂ peso (g) del balón con materia orgánica luego de la eliminación del solvente;

P₁: peso (g) del balón vacío.

La determinación de población microbiana heterótrofa se determinó a partir 1 g de suelo, al que se añadió 9 mL de solución salina al 0,9 %; se agitó vigorosamente durante 2 min, y luego 1 mL de la fase acuosa se añadió a 9 mL de caldo nutriente, y se incubó 24 h. La aparición de turbidez respecto al tubo control es prueba positiva de existencia de población microbiana heterótrofa. El recuento de viables se realizó a partir de una solución salina del tubo que contiene 1 g de suelo. /12/

Caracterización de las emisiones gaseosas

La caracterización de las emisiones gaseosas se realizó utilizando un analizador de gases (Dräger MULTIWARN II SEP 8314060, ARRN – 5064), determinándose SO₂, NO_x, CO y partículas suspendidas.

Resultados y discusión

En la EIA en condiciones actuales de operación, la matriz causa–efecto (tabla 1) evidenció que los impactos más agresivos a los diferentes factores del medio en el funcionamiento de la

industria petrolífera fueron desbordamientos de tanques (I₁), roturas en tuberías y válvulas (I₂), ponche en tanques (I₃), limpieza de tanques (I₄), funcionamiento del sistema de residuales líquidos (I₅) y emanación de gases (I₆); mientras que los factores del medio agredidos fueron: suelo (M₁), calidad de las aguas superficiales y subterráneas (M₃), salud e higiene (M₄), calidad del aire (M₅), vegetación (M₂) y fauna (M₆). La valoración de los impactos (datos no mostrados) reveló que todos fueron de naturaleza negativa, lo cual significa que, además de perjudiciales, disminuyen la calidad de los factores analizados. Los atributos (intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, acumulación, probabilidad, efecto, periodicidad y percepción social) variaron en un rango de 1 a 8. Para el factor suelo, los impactos desbordamientos de tanques, roturas en tuberías y válvulas, ponche en tanques y limpieza de tanques resultaron moderados, determinados fundamentalmente por los atributos intensidad, momento y efecto. El 57 % de los impactos fueron irrelevantes, existiendo compatibilidad ambiental entre las acciones consideradas y los factores evaluados, mientras que el 31 % de los impactos fueron moderados, y sólo el 11 % se declararon severos.

Tabla 1
Matriz causa–efecto. Etapa de funcionamiento de la industria petrolífera

Impactos Factores	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆
M ₁	x	x	x	x		
M ₂					x	
M ₃	x	x	x		x	
M ₄	x	x	x			x
M ₅	x	x	x			x
M ₆					x	

La matriz de importancia (tabla 2) evidenció que el aire es el factor más frágil y vulnerable (-118) seguido del suelo (-112), salud e higiene (-110) y calidad de las aguas superficiales y subterráneas (-100). El funcionamiento del sis-

tema de tratamiento de residuales líquidos (-142) y la emanación de gases (-100) fueron los impactos más agresivos sobre el suelo, vegetación, aguas, salud e higiene, aire y fauna en la industria petrolífera.

Tabla 2
Matriz de importancia de los impactos. Etapa de funcionamiento de la industria petrolífera

Impactos Factores	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	Total
M ₁	-35	-27	-25	-25			-112
M ₂					-49		-49
M ₃	-15	-15	-15		-55		-100
M ₄	-15	-15	-15		-17	-48	-110
M ₅	-22	-22	-22			-52	-118
M ₆					-21		-21
Total	-87	-79	-77	-25	-142	-100	-510

La aplicación de medidas correctoras puede modificar las interacciones severas y moderadas observadas. En el caso del factor aguas superficiales y subterráneas, se ha de aplicar un correcto funcionamiento del sistema de tratamiento biológico de residuales líquidos /13/; los suelos pueden ser tratados aplicando biopilas fertilizadas con nutrientes /2/ o microorganismos, y a su vez calificar el sistema de instrumentación y control del proceso y tanques. La contaminación atmosférica puede disminuirse utilizando las tecnologías de tratamiento biológico de gases: biolavadores, filtros percoladores o biofiltros /14/. Sobre la base de este análisis los impactos severos tienden a desaparecer, y sólo el 33 % de ellos se mantendrían moderados. De igual modo, los impactos compatibles con el medio (irrelevantes) se incrementarían hasta un 66 % (tabla 3). Se mantendrían afectados los factores suelo (M1), aguas superficiales y subterráneas (M3), salud e higiene (M4) y aire (M5); la importancia de los atributos disminuiría (tabla 4).

El principal problema de la contaminación por hidrocarburos es la persistencia en el medio, debido fundamentalmente a la baja solubilidad en agua que poseen.

Los hidrocarburos que mayores daños de contaminación producen son los aromáticos policíclicos (HAP), los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los hidrocarburos totales del petróleo (HTP). Los primeros tienen un alto potencial carcinogénico, mutagénico y teratogénico en organismos acuáticos, los segundos contribuyen al efecto invernadero y a la formación directa del ozono sobre el nivel del suelo e indirectamente de la lluvia ácida; y los últimos presentan diversos efectos sobre la flora y la fauna. /4, 14/

Caracterización de las aguas residuales del refinado de petróleo

La contaminación que se produce en las aguas interiores y marinas es el resultado del vertimiento de residuales sin tratamiento o con tratamiento

deficiente, debido a dificultades o inexistencia de redes de alcantarillado y lagunas de oxidación,

además del poco aprovechamiento y reúso de los residuales líquidos.

Tabla 3
Matriz causa–efecto. Etapa de funcionamiento luego de aplicar medidas correctoras

Impactos Factores	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆
M ₁		x	x	x		
M ₂						
M ₃		x	x			
M ₄		x	x			
M ₅		x	x			
M ₆						

Tabla 4
Matriz de importancia de los impactos. Etapa de funcionamiento luego de aplicar medidas correctoras

Impactos Factores	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	Total
M ₁		-27	-25	-25			-77
M ₂							
M ₃		-15	-15				-30
M ₄		-15	-15				-30
M ₅		-22	-22				-44
M ₆							
Total		-79	-77	-25			-181

Las aguas residuales de la refinería se descargan en el lóbulo interior de la bahía de Santiago de Cuba, y poseen un alto contenido de materia orgánica, sólo el pH y la temperatura (tabla 5) se encuentran dentro de los límites permisibles que exige la Norma Cubana de Vertido en ecosistemas marinos. /10/

La DQO y DBO₅ son parámetros que se utilizan para evaluar el contenido de materia orgánica en aguas naturales y residuales y es una medida de la calidad de éstas /7, 15/. Los altos valores observados en la tabla 5 reflejan la presencia de materia orgánica susceptible a la oxidación química (DQO) y como fuente de carbono y

energía para los microorganismos (DBO_5), en concentraciones muy superiores a la capacidad de autodepuración del cuerpo receptor. La relación DBO_5/DQO fue de 0,49, lo cual indica que las aguas residuales arrastran compuestos fácilmente biodegradables como los monoaromáticos, alquilbencenos y parafinas, y compuestos resistentes a la degradación biológica como los

poliaromáticos, naftenos, isoprenoides y cadenas de cuarenta o más átomos de carbono. El O_2 disuelto nulo puede ser atribuido a la cantidad de materia orgánica expresada como DBO_5 , pues al existir sustratos orgánicos disponibles para ser metabolizados por los microorganismos, se consume el oxígeno para degradar la materia orgánica. /7, 12/

Tabla 5
Caracterización de las aguas residuales de la refinación del petróleo que se vierten en aguas marinas

Parámetros	Valor	Norma NC 372: 2004
pH	6,8	7,5
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	33	40
Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L)	214	50
Demanda bioquímica de Oxígeno DBO_5 (mg/L)	106	20
Aceite y grasa A y G (mg/L)	10,2	5
Fósforo (mg/L)	0,09	2
Nitrógeno (mg/L)	3,13	10

Respecto al contenido de aceites y grasas (A y G) observado (tabla 5), las aguas residuales poseen dos veces más cantidad de hidrocarburos que lo que admite la Norma NC 372:2004; situación que sugiere un funcionamiento inadecuado de la trampa de grasa o desnatador y del sistema de tratamiento en general. Los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales están diseñados para alcanzar una reducción de la DBO_5 del 80–90 %. /15/

Otros parámetros evaluados fueron el fósforo, cuyo valor 0,09 mg/L está por debajo de la norma de vertido (2 mg/L), y el nitrógeno con 3,13 mg/L con un límite permisible de 10 mg/L (tabla 5).

Caracterización de los suelos impactados con hidrocarburos

El suelo es el componente del medio ambiente que ha sufrido el mayor deterioro en menor tiempo,

comparado con los factores aire y agua, los cuales han tenido mayor atención tanto desde el punto de vista legislativo como técnico. La contaminación del suelo ocurre por los aportes de materia orgánica e inorgánica que rompen el equilibrio normal entre el medio físico, químico y biológico, compatible con la vida (http://www.mejico.org/biorremediacion_de_suelos_y_aguas-contaminadas.html, marzo 2005; http://www.ceakumal.org/bcentro_de-manejo_integral_de_residuos_cemir.html, agosto 2005).

Los suelos analizados son predominantemente arenosos, alcalinos, con una alta conductividad, debido a los iones presentes, y además, poseen una aireación baja. La no correspondencia entre la aireación y la granulometría de los suelos /11, 16/ está muy relacionada con el impacto por petróleo que poseen, situación que impide la circulación de

aire y medio acuoso edáfico. La Materia Orgánica Extraíble (MOE) utilizando n-hexano como solvente, varió entre 4,8 y 11,6 % (tabla 6). El contenido de sólidos totales fue del 94 %, con una fracción inorgánica de 84 %; mientras que el contenido de sólidos volátiles fue del 10 %, y fundamentalmente compuesta por hidrocarburos (tabla 6). Se detectó población heterótrofa que se encuentra en el orden

10⁶ UFC/g de suelo, tanto para bacterias como para hongos. Estos grupos microbianos son muy ricos en géneros degradadores de hidrocarburos, destacándose los géneros bacterianos *Pseudomonas*, *Acitenobacter*, *Bacillus*, *Arthrobacter* y *Nocardia* /17/, mientras que en los hongos figuran *Aspergillus*, *Rizopus*, *Phanerochaete* y *Pleurotus* /18/. Los contenidos de nitrato y fosfato fueron bajos (tabla 6).

Tabla 6
Caracterización de suelos contaminados con petróleo

Parámetros	Valores
Sólidos totales (%)	91,0
Sólidos totales fijos (%)	89,9
Sólidos volátiles (%)	5,7
pH	7,8
Conductividad (μS)	127
Materia Orgánica Extraíble MOE (%)	4,8
Nitrato (mg/L)	2,94
Fosfato x 10 ⁻⁵ (mg/L)	3,7

Caracterización de las emisiones gaseosas

La contaminación atmosférica se identificó entre los problemas globales que se recogen en la estrategia ambiental nacional, y la actividad petrolera es una de las actividades industriales que mayores emisiones gaseosas provoca. El conocimiento de los niveles de contaminación atmosférica es una exigencia fundamental en la industria del petróleo para garantizar la calidad del entorno. De los contaminantes atmosféricos primarios, el dióxido de azufre (SO₂) fue el de mayor concentración, con valores entre 328 y 2 444 mg/m³ (tabla 7), encontrándose el valor máximo muy por encima del normado para evaluar el aire en la zona de

trabajo /19/. La presencia en la atmósfera de SO₂ condiciona la aparición de lluvia ácida debido a la formación de ácido sulfúrico al solubilizarse el SO₂. Similar comportamiento tuvieron las partículas suspendidas, mientras que los óxidos de nitrógeno (NO_x) se mantuvieron dentro de los valores normados (tabla 7), por debajo de 460 ppm. Los óxidos de nitrógeno, además de favorecer la formación de lluvia ácida, especialmente el NO, contribuyen al efecto invernadero. El CO, consecuencia de la combustión incompleta del carbono que contienen los energéticos, produce daños a la salud humana al reducir el suministro de oxígeno a los órganos y tejidos del cuerpo, sin embargo, la norma no refleja ningún valor para este parámetro.

Tabla 7
Emisiones gaseosas que aportan las chimeneas a la atmósfera

Valores	SO ₂ (mg/m ³)	NOx (mg/m ³)	CO (ppm)	Partículas suspendidas (mg/m ³)
Mínimo	328	18	15	1,8
Máximo	2 444	45	50	122
NC 19/01/03	2 000	460	*	100

* No existe en la norma un valor límite para este parámetro

Conclusiones

De todos los factores del medio evaluados, el suelo es el más vulnerable a la actividad petrolífera, ya que posee una contaminación muy alta por hidrocarburos. Las aguas residuales del proceso arrastran gran cantidad de materia orgánica y el SO₂ es el principal contaminante atmosférico.

Nomenclatura

- I₁ desbordamiento de los tanques
- I₂ roturas en tuberías y válvulas
- I₃ ponche en los tanques
- I₄ limpieza de tanques
- I₅ funcionamiento del sistema de tratamiento de residuales líquidos
- I₆ emanación de gases
- M₁ suelos
- M₂ vegetación
- M₃ calidad de aguas superficiales y subterráneas
- M₄ salud e higiene
- M₅ calidad del aire
- M₆ fauna

Bibliografía

1. Guédez, C. y col., "Los sistemas de gestión ambiental en la industria petrolera internacional", *Interciencia*, vol. XXVIII, No. 9, págs. 528-533.
2. Viñas, M.; Sabaté, J.; Grifoll, M.; Solanas, A.M., "Ensayos de tratabilidad en la recuperación de suelos contaminados por la tecnología de la biorremediación. Residuos", *Revista Técnica*. 59:78 – 82, 2001.
3. Wilkins, H., The Need for Subjectivity in EIA: Discourse as a Tool for Sustainable Development", *Environmental Impact Assessment Review* 23: 401-404, 2003.
4. García-Cuellar, J. A.; Arreguin-Sánchez, F.; Hernández, S.; LLuch-Cota, D., "Impacto económico de la industria petrolera en la sonda de Campeche, México, tras tres décadas de actividad: una revisión", *Interciencia*, vol. XXIX, No. 6, 2004, págs. 311-319.
5. Ramakrishna, D.; Viraraghavan, T., "Environmental Impact of Chemical Deicers – a review", *Water, Air and Soil Pollution*, 166:49-63, 2005.
6. Barker, A.; Wood, C., An Evaluation of EIA System Performance in Eight EU Countries", *Environmental Impact Assessment Review*, 19: 387-404, 1999.
7. Orozco, C.; Pérez, A.; González, M. N.; Rodríguez, F.; Alfayate, J. M., *Contaminación ambiental: una visión desde la química*, Primera edición, Madrid, España, Thomson, 2004, págs. 453-450.
8. Nápoles, J.; Marañón, A.; Cumbá, F.; Anllo, Y.; Abalos, A., "Tratabilidad de suelos contaminados aplicando microcosmos", *Revista Cubana de Química*, vol. XVII, No. 1, 2005, págs. 179-188.
9. APHA, *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, 20th edition, USA, American Public Health Association, 1998.
10. Norma NC 372:2004 Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas, Especificaciones.
11. Jackson, M. L., *Análisis químico de los suelos*, La Habana, Edición Revolucionaria, 1979, págs. 70-81.
12. Madigan, M.; Martinko, J.; Parker, J., *Brock. Biología de los microorganismos*, octava edición revisada, Madrid, Prentice Hall Iberia, pág. 986.
13. Pérez, N.; Marañón, A.; Bermúdez, R.; Aguilera, I.; Cumbá, F.; Ábalos, A., "Caracterización de las aguas residuales de la Refinería Hermanos Díaz",

-
- Revista Cubana de Química, vol. XVI, 2004, págs. 53 – 60.
14. Thalasso, F.; Pineda, R., "Biofiltración: tratamiento biológico de aire contaminado", *Avance y Perspectiva*", vol. XXI, 2002, págs. 325 - 327.
 15. Atlas, R.; Bartha, R., *Ecología microbiana y microbiología ambiental*, Madrid, Pearson Education, SA., 2002, pág. 696.
 16. Domènech, X., *Química del suelo. El impacto de los contaminantes*, 3^{ra} edición, Madrid, Miraguano, S. A., 2000, pág. 190.
 17. Olivera, N.; Commendatore, M.; Morán, A.; Estévez, I., "Biosurfactant Enhanced Degradation of Residual Hydrocarbons from Ship Bilge Waste", *J. Industrial Microbiology and Biotechnology*, 25:70 – 73, 2000.
 18. Rodríguez, S., Decoloración de los residuales de la pasteurización de la pulpa de café y la vinaza por *Pleurotus sp*, Tesis doctoral, Universidad de Oriente, 2006, págs. 13-17.
 19. Norma NC 19/01/03 Aire de la zona de trabajo.