

Ada María Casal, Marino Fonseca, Elsa Bárbara Martín, Susana Guerra, Sara Derivet, Lourdes Gutiérrez,
Beatriz Spengler, Teresa Charlot, María T. Valdés, Amado E. Navarro
Aplicación de métodos no convencionales al saneamiento de la Bahía de La Habana
Ciencia Ergo Sum, vol. 11, núm. 3, noviembre, 2004, pp. 255-262,
Universidad Autónoma del Estado de México
México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10411305>



Ciencia Ergo Sum,
ISSN (Versión impresa): 1405-0269
ciencia.ergosum@yahoo.com.mx
Universidad Autónoma del Estado de México
México

¿Cómo citar?

Fascículo completo

Más información del artículo

Página de la revista

www.redalyc.org

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

Aplicación de métodos no convencionales al saneamiento de la Bahía de La Habana

Ada María Casal*, Marino Fonseca*, Elsa Bárbara Martín*, Susana Guerra*, Sara Derivet*, Lourdes Gutiérrez*, Beatriz Spengler*, Teresa Charlot*, María T. Valdés*, Amado E. Navarro**

Recepción: 21 de julio de 2003
Aceptación: 23 de octubre de 2003

* Centro de Investigaciones del Petróleo (Ceinpet).
Washington # 169 esq. a Churruca. Cerro. La Habana, Cuba. CP 12000.
Correo electrónico: casal@ceinpet.cupet.cu
** Universidad Tecnológica Izúcar de Matamoros. Puebla, México.

Resumen. Se presentan los resultados en el desarrollo de sistemas de tensoactivos y solventes, y su empleo en la limpieza de superficies impactadas por lodos del tipo hidrocarburos. Se desarrolló, además, una tecnología para la evaluación de los sistemas propuestos. Los resultados del tratamiento experimental aplicado en un área de muelles de la bahía fueron muy satisfactorios. Se adjuntan las consideraciones técnico-económicas aparejadas a la producción de dichos sistemas.

Palabras clave: contaminación por hidrocarburos, sistemas tensoactivos, química ambiental.

Application of No-conventional Methods in the Cleaning of Havana Bay

Abstract. It is exposed the results obtained in the development of tensides and solvents systems and its employ in the cleaning of surfaces impacted by sludge of hydrocarbon type. It was developed in addition a methodology for the evaluation of the proposed systems. The results of the experimental treatment applied in a dock area of the bay were successfully.

It were attached the technical-economic considerations related with the production of these systems.

Key words: hydrocarbon pollution, tensides systems, environmental chemistry.

Introducción

La premisa fundamental para un desarrollo sostenible es sin duda la preservación del ambiente, escenario básico para la actividad humana y la vida en general.

De manera especial, los recursos hídricos han sufrido un lamentable deterioro, producto de la propia actividad económica de la sociedad en el transcurso de los siglos.

La presencia de hidrocarburos petrogénicos en el agua de mar se debe a diversas fuentes antropogénicas y naturales, y generan cuantiosos daños a los ecosistemas. Entre ellos

podemos distinguir dos grandes fuentes: el transporte y los aportes terrestres (Gutiérrez *et al.*, 1988a: 219; Gutiérrez *et al.*, 1988b: 167), que contribuyeron en 1980 con 60% del petróleo total que se vierte en el mar.

En particular, la contaminación de la Bahía de La Habana, Cuba, se debe de manera importante a hidrocarburos que son vertidos por distintas fuentes, entre ellas el drenaje urbano, los ríos, efluentes industriales directos y puertos (Ramos *et al.*, 2001).

Tradicionalmente la refinería ha sido la causante principal de la contaminación petrogénica de la Bahía de La Habana,

por lo que se realizó un estudio anterior que trazó en sus objetivos la evaluación de los sistemas de tratamiento de la refinería. Se concluyó que la contaminación por hidrocarburos presente en la masa de agua de la bahía ha disminuido 10 veces, hecho debido a diversas medidas adoptadas por la empresa en cuanto a la limpieza del lodo de las piscinas del separador, la instalación de barreras flotantes y de *skimmer* en las piscinas, entre otros (Fuentes y Ramos, 1995).

No obstante estos esfuerzos, la refinería aporta diariamente a la bahía unas 2.3 toneladas de hidrocarburos y 110.5 toneladas de materia orgánica total, que si bien son los valores más bajos reportados desde la década de los ochenta del siglo pasado, demuestran la insuficiencia del tratamiento de la refinería para cumplir las regulaciones ambientales internacionales para este tipo de vertimiento (Fuentes y Ramos, 2001).

Por su parte, el grupo de Sanidad Marítima Portuaria (Samarp) ha desarrollado un trabajo sostenido en aras de contribuir al saneamiento de la bahía. Para ello se conformó una flotilla que realiza la limpieza sistemática de los contaminantes sólidos en las aguas. Esto es sólo una solución parcial del problema, pues no se elimina el hidrocarburo disuelto en el agua y sigue impactando e incrementando de lodos los muelles y arrecifes de la bahía, entre ellos el muelle de cruceros que tiene una importante actividad turística.

Si además consideramos el efecto de las mareas, por lo que el nivel del agua puede ser más alto o bajo según las horas del día, la zona impactada visible puede alcanzar en algunos lugares hasta un metro o más de altura, lo cual, además de ofrecer un paisaje deplorable, es muestra fehaciente de una alta contaminación no resuelta. En el marco de este trabajo pretendemos abordar la solución de este problema con el empleo de métodos no convencionales de limpieza y saneamiento.

Respecto a la limpieza de los muelles, el tratamiento mecánico se descarta por ineficiente, en primer lugar por el amplio perímetro del muelle y el tiempo y esfuerzo que implicaría; en segundo, por el espesor considerable de la costra depositada por varias décadas, que no puede ser removida con medios mecánicos solamente.

Con estos antecedentes, se concibió un plan experimental que contempla la combinación de un tratamiento químico previo a uno mecánico. Para el primero, consideramos como la opción más eficiente y práctica el empleo de sustancias tensoactivas que muestren una adecuada acción detergente-dispersante, de modo tal que puedan actuar sobre el lodo modificando su composición y estructura, así como en su posterior desprendimiento.

Al respecto no existen productos universales, debido a la propia naturaleza heterogénea del lodo, por lo tanto, aun productos comerciales de reconocido prestigio pueden resultar ineficientes en tratamientos específicos. Además de que el volumen requerido de estos tensoactivos y su alto costo han resultado un obstáculo para su empleo masivo, de ahí la necesidad de incursionar en la formulación de productos tensoactivos alternativos.

En tal sentido, el objetivo de este trabajo es introducir procedimientos de avanzada, tales como el uso de sustancias tensoactivas en el saneamiento de zonas impactadas por petróleo en la Bahía de La Habana y zonas aledañas.

Entre las tareas incluidas en la etapa se encuentran:

- a) Experimentar con productos químicos limpiadores de petróleo.
- b) Estudiar la factibilidad de aplicación de tensoactivos.
- c) Definir la tecnología de aplicación de tensoactivos con los *skimmers* de la empresa Samarpar.

1. Parte experimental

Se trazó un plan experimental que consistió en los siguientes trabajos:

- a) Estudio de la formulación de productos tensoactivos nacionales.
- b) Caracterización físico-química.
- c) Evaluación de su acción limpiadora.
- d) Ejecución de pruebas experimentales en superficies de muelles impactados por lodos.

1.1. Materiales y métodos

1.1.1. Selección de las materias primas

En lo fundamental se seleccionaron materias primas nacionales, subproductos y materias primas importadas de fácil adquisición.

Entre las materias primas evaluadas se encuentran:

- Oleorresina de pinos cubanos, fundamentalmente por tratarse de un producto natural, ecológico y de amplia disponibilidad que mediante procedimientos de síntesis relativamente simples se transforma en un tensoactivo de naturaleza aniónica de probada acción detergente dispersante.
- Ácido dodecilbenceno sulfónico (DBS), por sus elevadas cualidades detergentes dispersantes.
- Aceite de circulación ligero (LCO), subproducto de la refinación de petróleo.
- Solvente comercial AC-15, cuya composición se aproxima a una nafta desaromatizada.

1.1.2. Método experimental

El estudio se orientó a obtener formulaciones a partir de:

- Tensoactivos individuales.
- Sistemas de tensoactivos.
- Sistemas de tensoactivos en combinación con solventes.

Los productos obtenidos fueron caracterizados según: color, olor, viscosidad a 25 °C, densidad, PH de la solución al 10% y solubilidad en agua.

Como aspecto adicional, se procedió al análisis por espectroscopia infrarroja de los productos obtenidos y de un producto comercial tomado como referencia.

2. Evaluación a escala de laboratorio

Considerando la poca experiencia nacional en el desarrollo y aplicación de estos productos y en aras de poseer un criterio comparativo, cada formulación fue evaluada primeramente en el laboratorio según metodología elaborada al efecto, que consistió en aplicar petróleo crudo pesado sobre probetas de hormigón de superficie lisa y rugosa, las cuales se sometían a tratamientos térmicos en estufa de aire circulante a temperatura de 80 °C, durante 24 horas, y dejadas a temperatura ambiente por 24 horas.

Posteriormente el producto fue aplicado por aspersión sobre la superficie impactada, y se le dejó actuar por periodos de 15, 30, 45 y 60 minutos, después la superficie fue enjuagada con agua a temperatura de 60 a 70 °C.

Las muestras fueron fotografiadas antes y después del tratamiento.

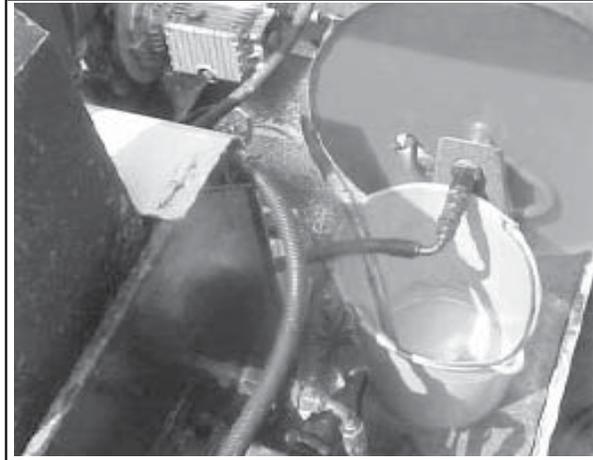
3. Prueba de uso

Los mejores productos fueron evaluados en condiciones reales, primeramente en el muelle de cruceros y con posterioridad en el muelle del incinerador de Casablanca.

Para su ejecución, el tratamiento requirió embarcaciones adecuadas, por lo cual se realizó en colaboración con el Grupo Samarp, que además tiene un equipo especialmente diseñado para la aplicación de productos limpiadores. Dicho equipo posee un recipiente interior, donde se deposita el producto para aplicar y que es succionado por una bomba, lo que permite su aspersión con presión a través de un dispositivo en forma de pistola (fotografías 1 y 2).

Terminada la aplicación del producto, en el mismo recipiente se deposita agua de mar, que puede ser calentada hasta temperaturas de 80 y 90 °C y que es aplicada con presión sobre la superficie tratada para terminar el procedimiento.

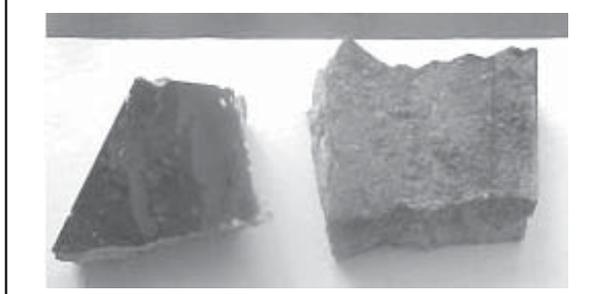
Fotografía 1. Equipo utilizado (vista interior).



Fotografía 2. Aplicación de los productos con pistola.



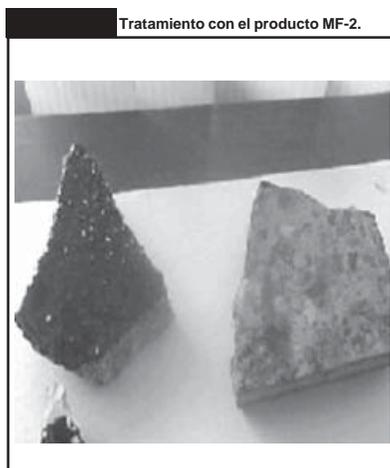
Fotografía 3. Tratamiento con el producto MF-1.



Para evidencia y constancia gráfica de la efectividad del tratamiento, se tomaron fotografías de la superficie del muelle antes y al final.

4. Resultados

Debido a la posible novedad de los productos desarrollados y su susceptibilidad de ser patentados, no se divulga su



Como se observa, los productos formulados exhiben características similares a los productos comerciales tomados como referencia, ambos recomendados para el control de derrames de petróleo.

En las figuras 1, 2 y 3 se muestra el espectro IR de los productos limpiadores formulados MF-1, MF-2 y MF-3 que manifiesta la presencia del sistema de tensoactivos en combinación con solventes, lo que comprueba que dichos solventes no aportan componentes aromáticos a la formulación.

En la figura 4 puede observarse el espectro del producto comercial tomado como patrón de referencia. Se comprueba que se trata de un tensoactivo aniónico de cadena larga disuelto en un polialcohol.

En las fotografías 3 a la 5 pueden observarse las probetas tratadas con los productos evaluados. Como comparación, la fotografía 6 presenta el resultado obtenido con el producto comercial; esto comprueba que todos los productos muestran una adecuada acción como limpiadores de petróleo.

5. Resultados de la prueba de uso

5.1. Fórmula EM-2

Este producto fue evaluado en el muelle de cruceros. En esa ocasión, el equipo de aplicación mostró desperfectos en su funcionamiento, por lo que se realizó en forma manual, friccionando sobre la superficie. Transcurridos 30 minutos se aplicó a la superficie agua de mar a presión, y a temperatura ambiente; se observó que ésta queda totalmente limpia y que además el hidrocarburo disuelto en el agua se aglomeraba en forma de grumos gruesos que floculaban y dejaban limpia la superficie circundante al área de aplicación. Este comportamiento sólo había sido observado con el producto comercial, del cual sólo se dispone de una mínima cantidad.

composición exacta, por lo cual nos referiremos sólo a su base elemental.

Tensoactivo base oleoresina. Se observó eficiencia después de una hora de aplicado. Si bien el resultado fue mejor en las superficies lisas que en las rugosas, no se obtiene el nivel de remoción deseado de la suciedad.

Tensoactivo base DBS. Se observaron resultados favorables después de 30 minutos; pero no se obtuvo el efecto deseado ni aun prolongando el tiempo a una hora.

Los mejores resultados se lograron empleando el sistema de tensoactivos y solventes. De ellos fueron seleccionados cuatro productos para la prueba de uso. En la tabla 1 se presentan los resultados de la caracterización.

Tabla 1. Resultados de la caracterización.

	EM-2	MF-1	MF-2	MF-3	Producto comercial 1	Producto comercial 2
Color	Amarillo pardo	Amarillo ámbar	Amarillo ámbar	Amarillo ámbar	Ligeramente amarillo	Amarillo claro
Olor	Solvente	Solvente	Solvente	Solvente	Aceitoso	Solvente
Densidad (g/cm ³)	0.88	0.876	0.844	0.870	0.756-0.83	0.88
Viscosidad (Cp)	300	260	280	300	340	280
pH	7	7	7	7	-	5-6
Solubilidad	soluble	soluble	soluble	soluble	emulsión	soluble

La única objeción a este producto es que incluye LCO en su composición; pero consideramos que por la poca cantidad de producto que se aplica y el factor de dilución, considerando un volumen total de agua en la bahía de $4.7 \times 10^7 \text{ m}^3$, su aporte no es realmente importante, lo cual será objeto de comprobaciones posteriores.

5.2. Producto MF-1

Este producto fue aplicado en el muelle del incinerador de Casablanca con el equipo de aplicación descrito anteriormente.

En la fotografía 7 puede observarse el aspecto de la superficie antes de aplicar, y en la 8 después de un lavado ligero con agua caliente a presión.

5.3. Producto MF-2

La fotografía 9 ofrece la imagen de la superficie original, y la 10 después del tratamiento; como punto de referencia obsérvese el aspecto de la cadena antes y después. Si bien el producto no resultó tan efectivo como el anterior, debe señalarse que tiene buenas posibilidades como limpiador.

5.4. Producto MF-3

En las fotografías 11 y 12 se notan los tratamientos; en este caso no fue posible la limpieza final con agua caliente; pero aun así se percibe el efecto limpiador.

Si bien los cuatro productos evaluados mostraron una buena acción limpiadora, debe señalarse que el producto MF-1 se destacó sobre los demás por actuar con más rapidez y lograr una remoción más profunda de la costra depositada.

Como aspecto colateral se observó que todos los productos evaluados coagulan el hidrocarburo removido y el sobrenadante en el agua circundante (fotografías 13 y 14).

Figura 1. Espectro IR del formulado MF-1

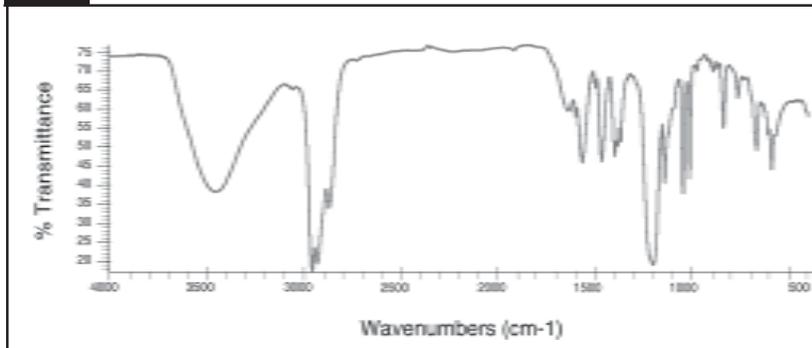


Figura 2. Espectro IR del formulado MF-2.

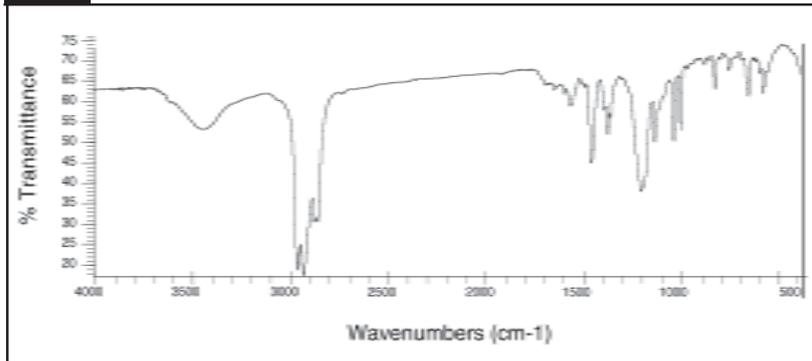


Figura 3. Espectro IR del formulado MF-3.

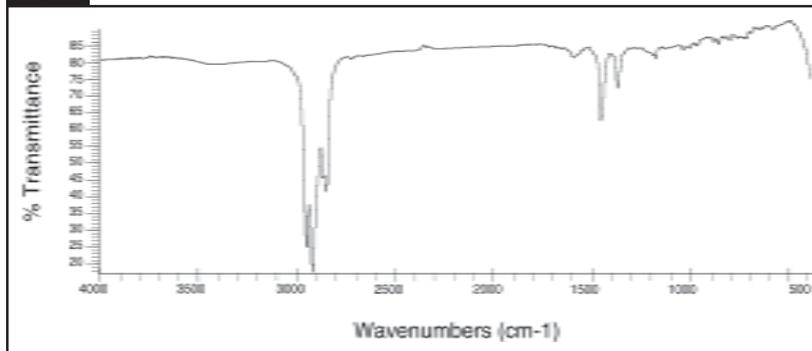
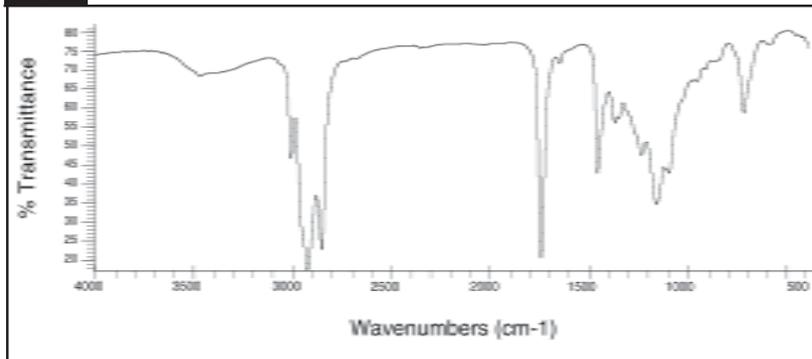


Figura 4. Espectro IR del producto comercial.



Fotografía 7. Aspecto del muelle antes de la limpieza.



Fotografía 8. Aspecto del muelle después de la limpieza (producto MF 1).



Este hecho posibilitaría aumentar la eficiencia de la limpieza colocando barreras flotantes en el área de la limpieza y extraer por aspiración todo el hidrocarburo coagulado en la superficie del agua.

6. Factibilidad de utilización de tensoactivos en la limpieza de superficies impactadas por hidrocarburos

Complementariamente se procedió a evaluar el costo estimado por tonelada de los productos desarrollados. En la tabla 2 se recogen los indicadores considerados para calcular estos costos y el total por tipo de producto.

Los costos resultan realmente moderados si consideramos que productos comerciales análogos se cotizan entre cinco mil y seis mil dólares por tonelada, precio CIF (cos-

te, seguro y flete; cost, insurance & freight, en inglés), La Habana.

Conclusiones

a) Se lograron cuatro formulaciones de productos con acción limpiadora de superficie de hormigón impactada por hidrocarburos en el área de muelles de la Bahía de La Habana. El producto MF-1 fue el de mejor acción limpiadora.

b) La utilización de un sistema de tensoactivos, obtenidos a partir de oleoresina y DBS, origina un efecto sinérgico que supera la acción detergente dispersante de los componentes individuales, al mismo tiempo que incorpora a la formulación un componente nacional renovable y ecológico, reduce por demás el costo del formulado.

Tabla 2. Costo por tonelada estimado para los productos evaluados.

Costo de operación	MB 2		MF 1		MF 2		MF 3	
	MN*	USD**	MN	USD	MN	USD	MN	USD
Materias primas y materiales	218.40	147.50	-	1,888.49	-	2,083.96	-	2,190.50
Pérdidas 2%	4.37	2.95	-	37.77	-	41.68	-	43.81
Energía eléctrica		1.60	-	1.60	-	1.60	-	1.60
Subtotal costos variables	222.77	152.05	-	1,927.86	-	2,127.24	-	2,235.91
Alquiler de planta		50.00	-	50.00	-	50.00	-	50.00
Salario personal de operaciones	120.60	-	120.60	-	120.60	-	120.60	-
Seguridad social del personal de operaciones y mantenimiento	16.88	-	16.88	-	16.88	-	16.88	-
Subtotal de costos fijos	137.48	-	137.48	-	137.48	-	137.48	-
Costo total de producción	360.25	202.05	137.48	1,977.86	137.48	2,177.24	137.48	2,285.91

* Moneda nacional.

** Dólares estadounidenses.

Fotografía 9. Aspecto del muelle antes del tratamiento.



Fotografía 10. Aspecto del muelle después del tratamiento (producto MF 2).



Fotografía 11. Aspecto del muelle antes del tratamiento.



Fotografía 12. Aspecto del muelle después del tratamiento (producto MF3).



Fotografía 13. Hidrocarburo coagulado sobre la superficie del agua.



Fotografía 14. Hidrocarburo coagulado en el agua circundante a la aplicación.



ð El empleo de un sistema de tensoactivos en combinación con un solvente permite una remoción más profunda del contaminante, lo que aumenta la eficiencia del tratamiento.

đ El hecho de que el hidrocarburo removido se aglomere sobre la superficie del agua brinda la posibilidad de incrementar la eficiencia del tratamiento empleando en el área barreras flotantes y aspiración.

Comprobada la eficiencia del tratamiento de limpieza con productos desarrollados, se recomienda la extensión de estas pruebas a mayor escala con el empleo de barreras flotantes y aspiradores, a fin de obtener datos adicionales tales como rendimiento por m² de los productos, y realizar determinaciones de hidrocarburos en agua antes y después del tratamiento.

Bibliografía

Fuentes, E. e I. Ramos

_____ (1995). "Racionalización del sistema de tratamientos de residuales de la refinería Níco López", *Informe interno Ceinpet*. La Habana.

_____ (2001). "Proyecto 4304. Aplicación de métodos no convencionales al saneamiento de la Bahía de La Habana", *Informe de la etapa 01*. Ceinpet, La Habana.

Gutiérrez, O.

_____; I. Ramos; M. Fuentes; V. Martínez; L.

González y M. Ardavín (1988a). "Hidrocarburos y plaguicidas en la Bahía de Matanzas", *Memorias de Quimindustria '88*. Sección Química Aplicada. Tomo I, La Habana.

_____; F. Ruiz y V. González (1988b).

"Distribución de *n*-alcanos en sedimentos superficiales del litoral de ciudad de La Habana", *Memorias de Quimindustria '88*. Sección Química Aplicada. Tomo I, La Habana.

Ramos, I.; M. Fuentes; M. Ardavín; L. Díaz y E.

Artiles (1988). "Cuantificación de la biodegradación de hidrocarburos por microorganismos marinos", *Memorias de Quimindustria '88*. Sección Química Aplicada. Tomo I, La Habana.

Ramos, I.; E. Fuentes; E. Alderete; E. Ramos y J. A. Álvarez (2001). Proyecto 4304, "Aplicación de métodos no convencionales al saneamiento de la Bahía de La Habana", *Informe de la etapa 02* Ceinpet, La Habana.