

**EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE
HIDROCARBUROS EN SEDIMENTOS MARINOS, SU
POSIBLE ORIGEN Y EFECTOS SOBRE LA ACTIVIDAD
DE ACUICULTURA ENTRE PUNTA MORALES Y
COSTA DE PÁJAROS EN EL GOLFO DE NICOYA**

ASSESSMENT OF HYDROCARBON LEVELS IN
MARINE SEDIMENTS COLLECTED FROM THE GULF
OF NICOYA REGION LOCATED BETWEEN PUNTA
MORALES AND COSTA DE PAJAROS AND THEIR
POSSIBLE ORIGIN (BIOGENIC/ANTHROPOGENIC)

Daniela Rodríguez Chaves¹

Universidad de Ciencias Médicas, San José, Costa Rica

Ana Y. Saravia Arguedas²

Oscar Pacheco Urpí³

Gilberto Piedra Marín⁴

Universidad Nacional, Costa Rica

-
- 1 Licenciada, pertenece a la Universidad de Ciencias Médicas (UCIMED), San José, Costa Rica. Correo electrónico: danirodrigu@gmail.com
 - 2 M.Sc., pertenece a la Escuela de Química, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: ana.saravia.arguedas@una.cr
 - 3 Ph.D., pertenece a la Estación Nacional de Ciencias Marino Costeras (ECMAR), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: opachecou@gmail.com
 - 4 Ph.D., pertenece a la Escuela de Química, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: gilberto.piedra.marin@una.cr

Fecha de recepción: 6 de setiembre del 2013

Fecha de aceptación: 10 de abril del 2014



Daniela Rodríguez Chaves, Ana Y. Saravia Arguedas, Oscar Pacheco Urpi, Gilberto Piedra Marín.
Assessment of hydrocarbon levels in marine sediments collected from the Gulf of Nicoya region
located between Punta Morales and Costa de Pajaros and their possible origin (biogenic/anthropogenic)

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó una evaluación de los niveles de hidrocarburos en los sedimentos marinos de la región interna del Golfo de Nicoya, como insumo para determinar su posible efecto sobre las actividades de acuicultura que se pretenden desarrollar en la zona del golfo ubicada entre Punta Morales y Costa de Pájaros. Los hidrocarburos derivados del petróleo podrían interferir en las actividades de acuicultura, ya que la mayoría de los organismos marinos no tienen capacidad de degradar este tipo de sustancias. En consecuencia, para una mejor valoración del sitio en el desarrollo de actividades de maricultura, se consideró de gran relevancia generar información asociada con la presencia de hidrocarburos en los sedimentos de la zona. Para ello se realizaron actividades de muestreo en tres épocas del año 2009: seca, etapa de transición seca-lluviosa y estación lluviosa. Los hidrocarburos alifáticos fueron analizados mediante la técnica de cromatografía de gases (GC-FID) y los aromáticos mediante espectrometría de fluorescencia. Los niveles de hidrocarburos en todos los puntos de muestreo superaron los 100 µg/g, lo que sugiere contaminación *elevada* por hidrocarburos a lo largo de la zona de estudio. Las mayores concentraciones se observaron en las estaciones de muestreo ubicadas cerca de la terminal portuaria de la empresa LAICA, lo cual se asocia directamente a las acciones de carga y descarga de los barcos que atracan en el muelle de dicha compañía.

Palabras clave: hidrocarburos, sedimentos, contaminación, zona marino-costera, Golfo de Nicoya.

ABSTRACT

This paper presents an evaluation of the hydrocarbon levels in marine sediments of the inner region of the Gulf of Nicoya in order to determine their possible impact on aquaculture activities planned in the area between Punta Morales and Costa de Pájaros. Petroleum hydrocarbons could interfere with aquaculture activities since most marine organisms are unable to degrade these substances. Consequently, for a better assessment of the site for development of aquaculture activities it was important to gather information related to the presence of hydrocarbons in the sediments of the area. To accomplish this, sampling activities were undertaken in each of the three seasons of the year 2009: the dry season, the dry-rainy transition period and the rainy season. Aliphatic hydrocarbons were analyzed by using gas chromatography (GC-FID) and aromatic species by fluorescence spectrometry. Hydrocarbon levels were found to be above 100 µg/g, which suggest *high* hydrocarbon pollution throughout the study site. The highest hydrocarbon concentrations were detected in the sampling sites near LAICA's port, which is directly associated with the load/download activities carried out at the LAICA port.

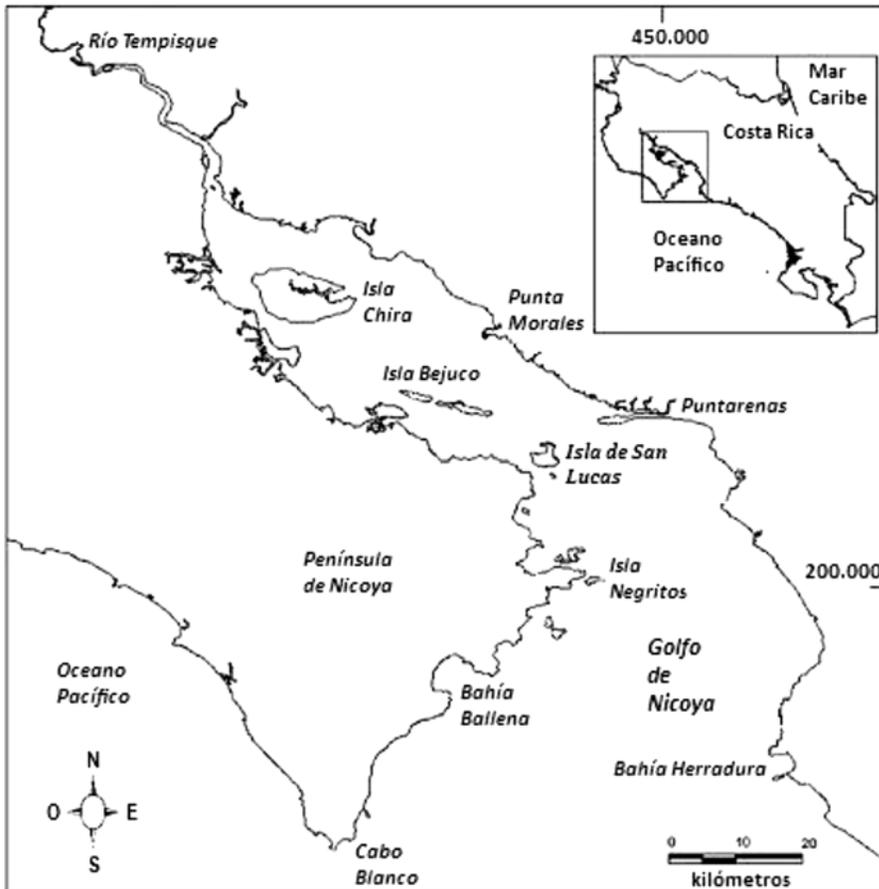
Keywords: hydrocarbons, sediments, pollution, marine-coastal zone, Gulf of Nicoya, Costa Rica



Introducción

En el presente trabajo se realizó una evaluación de los niveles de hidrocarburos en los sedimentos marinos de la región del Golfo de Nicoya que se extiende desde Punta Morales hasta Costa de Pájaros, como insumo para determinar su posible efecto sobre las actividades de acuicultura que se pretenden desarrollar en la zona.

Figura 1. Ubicación del Golfo de Nicoya



Fuente: Brugnoli y Morales, 2008.

El Golfo de Nicoya es un estuario tropical ubicado en la costa del Pacífico de Costa Rica (Brugnoli y Morales, 2008), se divide en dos zonas: externa e interna. La zona externa limita al sur con el Océano Pacífico y al

Daniela Rodríguez Chaves, Ana Y. Saravia Arguedas, Oscar Pacheco Urpi, Gilberto Piedra Marín.
Assessment of hydrocarbon levels in marine sediments collected from the Gulf of Nicoya region
located between Punta Morales and Costa de Pajaros and their possible origin (biogenic/anthropogenic)

noreste con la Isla de San Lucas, en tanto la segunda se extiende hacia la desembocadura del río Tempisque (figura 1). La zona interna es poco profunda (menos de 20 m) y está rodeada por manglares, playas de sustrato arenoso, áreas fangosas y cabos rocosos (Brenes, León y Chaves, 2001). Algunos autores delimitan una tercera región como la zona media, la cual se ve afectada por la mezcla de las aguas de ambos extremos del golfo (Gómez y Monge, 2008).

La profundidad del golfo aumenta muy gradualmente desde su cabecera (desembocadura del río Tempisque) hasta la boca (punto de encuentro con las aguas oceánicas); consecuentemente, los procesos de mezcla de sus aguas se llevan a cabo sin dificultad, provocando que el contenido de oxígeno y nutrientes en todos sus estratos sea lo suficientemente alto como para permitir una vida abundante en este cuerpo de agua (Brenes, León y Chaves, 2001), de ahí que exista una importante actividad pesquera y la presencia de gran variedad de especies de alto valor comercial.

Pacheco (2011) analizó las características técnico-ambientales y administrativas de la zona del Golfo de Nicoya ubicada entre Punta Morales y Costa de Pájaros, en la zona interna del golfo, con el fin de determinar su capacidad de uso para la maricultura. En dicho estudio se utilizaron algunas características físicas, químicas y biológicas del agua: temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, profundidad Secchi, turbidez, productividad primaria, análisis bacteriológicos, y las concentraciones de nitritos (N-NO_2^-), nitratos (N-NO_3^-), amonio (N-NH_4^+), ortofosfatos (P-PO_4^{3-}) y silicatos (SiO_2). Se determinaron las velocidades de las corrientes, la estructura del sedimento y el tiempo de exposición de éstos en la zona intermareal. El estudio se realizó tanto para la época seca como para la época lluviosa y a diferentes profundidades (superficial, 5, 10 y 15 m, según topografía del fondo marino) (Pacheco, 2011).

En términos generales, de acuerdo con Pacheco (2011), las estaciones ubicadas entre los 4,2 y 7,7 metros de profundidad en marea baja se identificaron como *favorables* para el desarrollo de cultivos de peces, moluscos y crustáceos; y las superiores a los 7,7 metros como *muy favorables*.

La ensenada de Costa de Pájaros y Punta Morales en su totalidad se considera un área *restringida* para la maricultura durante la época seca por la presencia de microorganismos de origen antropogénico en sus aguas, por lo que para comercializar los productos se deberían aplicar los debidos procesos



de desinfección previo a su comercialización. Adicionalmente, la presencia de sustancias antropogénicas (hidrocarburos derivados del petróleo, metales pesados, plaguicidas, fertilizantes, detergentes, lixiviados industriales, plásticos, entre otros) en las aguas y sedimentos de la zona podría interferir en las actividades de maricultura, ya que la mayoría de los organismos marinos no tienen capacidad de degradar este tipo de sustancias.

En el caso particular de los hidrocarburos derivados del petróleo, cuando estos son adsorbidos a la materia orgánica particulada o se adhieren a otros cuerpos, pueden formar partículas con densidad superior a la del agua y hundirse hasta el fondo por sedimentación. La descomposición de estos hidrocarburos puede ocurrir por biodegradación, pero es un proceso extremadamente lento y no todos los componentes de los hidrocarburos son degradados por los microorganismos (Echarri, 1998 y Viñas, 2005). En consecuencia, los sedimentos constituyen el más grande y estable depósito de hidrocarburos en el ambiente marino (Saravia, 2007), y podrían ser liberados al ambiente cuando ocurra algún cambio drástico en las condiciones del mismo.

En ese sentido, para una mejor valoración del sitio en el desarrollo de actividades de maricultura, se considera de gran relevancia el generar información asociada con la presencia de hidrocarburos en los sedimentos de la zona.

Marco teórico-conceptual

En los ecosistemas marinos se encuentran una gran variedad de componentes de origen antropogénico generados a partir de actividades humanas, como los productos refinados del petróleo, los hidrocarburos halogenados, los plásticos y los detergentes (Benavides *et al.*, 2006). En el caso de los hidrocarburos, éstos no forman una capa homogénea en el agua, sino que se generan manchas espesas y grupos entremezclados con finas capas oleosas, en donde el agua sirve como medio de transporte desde el lugar donde fueron descargados hasta el lugar donde sedimentan, se acumulan o se degradan (Chacón, 1997). Los componentes de baja densidad, como la gasolina o el fuel-oil ligero, se evaporan con gran rapidez, (entre una y dos terceras partes en unas pocas horas), mientras que los hidrocarburos más densos se disipan más lentamente y los hidrocarburos menos volátiles se pueden presentar como materiales disueltos o dispersos en la columna de agua (Botello, 1996).

La presencia de hidrocarburos en el mar puede provocar la disminución y hasta la pérdida de ciertas especies de peces, mariscos y otros organismos que no tienen la capacidad de degradarlos, utilizarlos o reciclarlos. En las zonas costeras o ambientes estuarinos existen gran diversidad y abundancia de especies, así como la presencia de estadios larvales y juveniles de muchas especies oceánicas, esta es la razón por la cual el daño biológico que produce el petróleo o sus componentes es muy severo (Saravia, 2007). Entre las especies más afectadas se pueden mencionar crustáceos, decápodos, langostas y bivalvos (Acuña, Vargas, Gómez y Gracia, 2004). Los hidrocarburos del petróleo se adhieren a las branquias de los peces, afectando su respiración, también se adhieren y destruyen las algas y el fitoplancton y afectan la alimentación y reproducción de la vida acuática en general (plantas, insectos y peces) (Olguín, Hernández y Sánchez, 2007). Se estima que alrededor del 70%–75% de la contaminación marina global es producto de las actividades humanas que tienen lugar en la superficie terrestre y que un 90% de los contaminantes es transportado por los ríos al mar (Escobar, 2002).

Los sedimentos constituyen el más grande y estable depósito de una amplia variedad de elementos orgánicos e inorgánicos en el ambiente marino; además de constituir el hábitat y la base alimentaria para muchos organismos, los sedimentos concentran los contaminantes por períodos largos (Saravia, 2007). En Costa Rica se han desarrollado diversos estudios para determinar las concentraciones de hidrocarburos en aguas marinas, uno de ellos es el desarrollado en la costa Caribe de Costa Rica entre 1981 y 1985, donde se generaron datos de hidrocarburos disueltos y dispersos, explicándose las diferencias encontradas en el área de muestreo (Mata, Acuña, Murillo y Cortés, 1987).

Entre los años 1984 y 1986 se realizó otro estudio de contaminación por hidrocarburos derivados del petróleo en la columna de agua en la Isla del Caño (Acuña y Murillo, 1987). Por otra parte entre el 2000 y 2002, se recolectaron alrededor de 130 muestras de agua de las costas de Costa Rica, para determinarles la concentración de hidrocarburos de petróleo disueltos y dispersos, de las cuales 42 muestras correspondieron al Puerto Moín en el Caribe y 81 a Bahía Culebra, Golfo Dulce, por su parte, se analizó la contaminación por hidrocarburos en el Golfo de Nicoya, obteniéndose, no obstante, un promedio de 0.04 µg/L, determinándose en este momento

que no se encontró una situación de contaminación por petróleo en los ecosistemas costeros estudiados (Acuña, Vargas, Gómez y Gracia, 2004).

Las zonas costeras y los estuarios marinos, en cuyas aguas se lleva a cabo una intensa actividad biológica son las zonas más afectadas por el agua continental, ya que reciben cargas directas a través de los ríos, de la lluvia y de la atmósfera. La contaminación por petróleo en la zona costera y en las playas de Costa Rica se origina por fuentes externas, caracterizadas por las descargas accidentales o intencionales que ocurren en las rutas de navegación marina y en el sistema de corrientes oceánicas superficiales en el Mar Caribe y el Océano Pacífico (Acuña, Vargas, Gómez y Gracia, 2004).

El Golfo de Nicoya se encuentra regulado por las descargas de los ríos Tempisque, Tárcoles, Barranca, Bebedero y otros afluentes litorales como las cuencas de los ríos Pánica, Morote, Lagarto, Guacimal, Jesús María, entre otros (Mata y Blanco, 1994). En investigaciones recientes se evidenció la degradación ambiental que experimenta este cuerpo de agua, producto del uso indiscriminado de recursos y de las descargas descontroladas de contaminantes por parte de los sectores productivos y de la sociedad en general, que tienen lugar en las cuencas que desembocan en este golfo (León, Rodríguez, Saravia, Arroyo y González, 2002).

La cuenca del río Tárcoles es la mayor contribuyente de desechos sólidos, aguas negras y efluentes de tipo industrial, seguida por la del río Tempisque, que descarga materiales producto de actividades agrícolas y agroindustriales. El aporte que viene de las cuencas se ve agudizado por la contaminación crónica proveniente del sector productivo, doméstico y de servicios que tiene lugar en el propio litoral (Charpantier, Porras, Vartania, y Herrera, 2006).

Por su parte, en el año 2002, Astorqui, Basaguren, Tinan, y Umaran, en el estudio denominado “Algunos aspectos sobre los nutrientes y metales pesados en el Estero de Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica”, analizaron el comportamiento de los nutrientes en Punta Morales, así como los factores físico-químicos en función de su aptitud para el cultivo de moluscos (específicamente piangüas y ostras), conjuntamente con el análisis en sedimentos de la concentración de metales pesados; en este estudio se concluyó que la zona era apropiada para el cultivo de estas especies, y que las concentraciones de metales pesados encontrados se califican en el rango de “no impacto” (Astorqui, Basaguren, Tinan y Umaran, 2002).



Actividades de acuicultura en el Golfo de Nicoya

La acuicultura costera consiste en una utilización productiva de las zonas litorales con el propósito de producir alimentos y generar beneficios que contribuyan al bienestar social y económico de los habitantes (Departamento Nacional de Planeación, 2008). Durante los últimos 15 años la acuicultura ha ido adquiriendo una importancia cada vez mayor en Costa Rica, debido a que funciona como alternativa para la producción de proteína de origen acuático y además permite la producción de especies “comerciales” en cantidades importantes. Así por ejemplo, en el año 2007 se produjeron más de 19000 toneladas de tilapia, destinadas tanto al mercado interno como al internacional, en tanto que, para este mismo año, la producción de trucha superó las 500 toneladas (destinadas al mercado interno). En lo referente a cultivos en aguas salobres es de importancia el cultivo del camarón del género *Litopenaeus*, alcanzándose una producción de más de 5000 toneladas en el año 2004 (Otárola, 2008).

En Costa Rica, la acuicultura es predominantemente continental (de agua dulce), con énfasis en el cultivo tilapia y trucha. En relación al cultivo de especies marinas, el cultivo de camarones marinos en estanques es la actividad de acuicultura marina que ha alcanzado el mayor desarrollo en el país, la cual tuvo sus inicios en los años de 1977. En la actualidad, se cuenta con aproximadamente 1700 hectáreas de espejo de agua en producción, demandando un promedio de 800 millones de postlarvas por año para las respectivas siembras, y produciendo alrededor de 400 toneladas por año. De estas áreas, el mayor porcentaje se encuentra en la zona costera de las provincias de Puntarenas y Guanacaste, y específicamente en áreas aledañas al Golfo de Nicoya, en el Pacífico Central, y en el Pacífico Sur (Otárola, 2008).

El área del Golfo de Nicoya comprendida entre Punta Morales y Costa de Pájaros presenta condiciones apropiadas para el desarrollo de varios tipos de cultivos. Personal de la Estación de Ciencias Marino Costeras (ECMAR) de la Universidad Nacional en conjunto con dos organizaciones de la zona, han realizado diferentes pruebas de cultivo de camarones en jaulas flotantes y el cultivo de ostras en balsas y líneas flotantes en los alrededores de la Isla Pajarita, en Costa de Pájaros, en Punta Morales y los alrededores de las Islas Cortezas. Adicionalmente, se evaluó el crecimiento de varias especies de larvas de róbalo cultivadas en jaulas suspendidas dentro de un canal de abastecimiento de una finca camaronera.

Zona de estudio

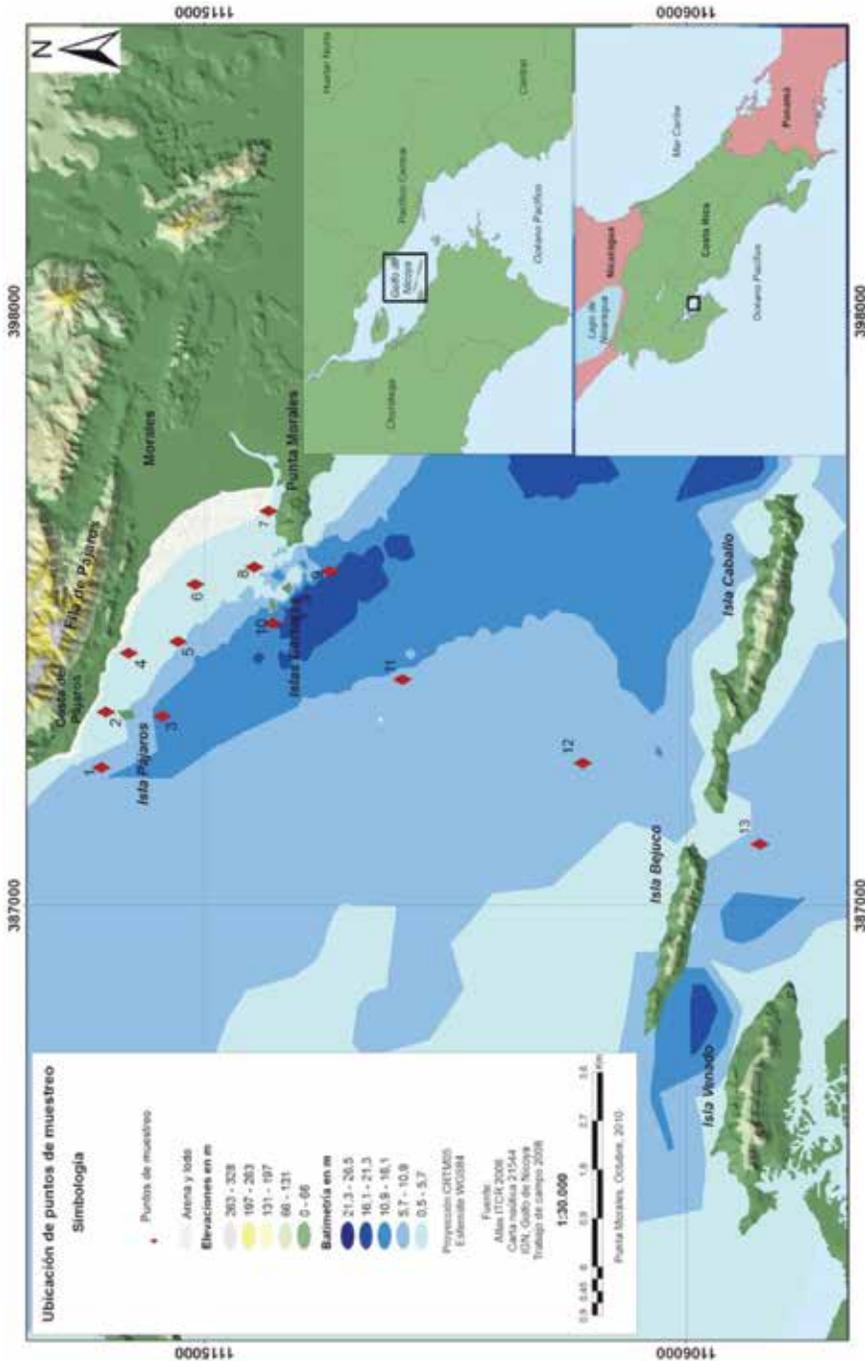
El golfo tiene una longitud de aproximadamente 80 km y un ancho máximo de 50 km, con un área de 1550 km²; existen a su alrededor un total de 22 comunidades pesqueras, con una población de aproximadamente 11000 pescadores (Pacheco, Salas y Sierra, 2013).

La zona de muestreo se ubica en la parte interna del Golfo de Nicoya, como se ilustra en la figura 2. Se eligieron trece estaciones de muestreo a partir del trabajo desarrollado por Pacheco (2011), cuyas ubicaciones se localizan en la figura 2 y sus coordenadas específicas en el cuadro 1. Diez de las estaciones de muestreo se ubican entre Punta Morales y Costa de Pájaros (puntos 1-10 de la figura 2), en tanto las otras tres (puntos 11-13) en el transepto perpendicular al área donde se ubicaron las estaciones 1-10.



Daniela Rodríguez Chaves, Ana Y. Saravia Arguedas, Oscar Pacheco Urpi, Gilberto Piedra Marín.
Assessment of hydrocarbon levels in marine sediments collected from the Gulf of Nicoya region
located between Punta Morales and Costa de Pájaros and their possible origin (biogenic/anthropogenic)

Figura 2: Área de estudio entre Punta Morales y Costa de Pájaros, Golfo de Nicoya, Costa Rica.



Fuente: Pacheco, 2011.



Cuadro 1. Ubicación de los puntos de muestreo y sus respectivas profundidades

Nº	Longitud	Latitud	Profundidad (m)
1	-85,01111	10,10389	14,0
2	-84,99806	10,09611	6,0
3	-84,99806	10,09000	15,5
4	-84,98833	10,09500	5,1
5	-84,98667	10,09000	5,4
6	-84,97806	10,08556	6,0
7	-84,96361	10,06972	6,0
8	-84,97250	10,06944	8,6
9	-84,97444	10,06111	20,0
10	-84,98611	10,06917	23,6
11	-84,99500	10,05111	9,6
12	-85,01139	10,02056	9,5
13	-85,02028	9,98833	10,8

Fuente: Pacheco, 2011.

Marco Metodológico

Los sedimentos se recolectaron utilizando una draga tipo Eckman, los mismos se colocaron en recipientes de vidrio y se trasladaron al laboratorio en hielera, donde se almacenaron a temperaturas menores a -4° C, hasta el análisis respectivo.

Análisis de textura, humedad y contenido de materia orgánica

El sedimento húmedo se colocó en crisoles de porcelana previamente calcinados a 450° C, luego se calentaron a $105-110^{\circ}$ C por 48 horas, se pesaron hasta obtener masa constante y se calculó el porcentaje de humedad. Posteriormente, los crisoles y sedimento seco se calentaron a 450° C por cuatro horas y pesaron para obtener el porcentaje de materia orgánica.

A 50 g de sedimento, secado a temperatura ambiente se le agregó 5 mL de NaOH 1 N y 5 mL de oxalato de sodio al 3,5% m/V; posteriormente se le colocó el hidrómetro Bouyocos, se agitó, se leyó la temperatura y el nivel del hidrómetro a los 40 segundos y luego a las dos horas, con estos resultados se calcularon los porcentajes de arena, limo y arcilla en el sedimento.



Análisis de hidrocarburos

El análisis de hidrocarburos se llevó a cabo siguiendo el método descrito por la UNESCO (Saravia, 2007; UNESCO, 1982). Se realizó la digestión de 50 g de sedimento con una mezcla de 5 g de hidróxido de potasio en 100 mL de metanol en un equipo soxhlet, en reflujo, a baño maría por 4 horas; se dejó enfriar y se realizaron tres lavados con metanol al condensador y al sistema soxhlet. A las muestras digeridas se les realizaron tres extracciones con volúmenes de 50, 25 y 25 mL de hexano y se recolectó la capa orgánica en un frasco Erlenmeyer esmerilado, el cual contenía sulfato de sodio anhidro como desecante. Los extractos se filtraron utilizando algodón lavado con hexano y los filtrados se transfirieron a balones esmerilados. Los extractos se concentraron usando un evaporador rotatorio, a temperatura ambiente, hasta un volumen de aproximadamente 0.200 μ L. Luego de concentrarlos se transfirieron a viales, haciendo lavados del balón con cinco porciones de hexano, cada lavado se adicionó al vial correspondiente.

Los extractos se concentraron hasta a un volumen de aproximadamente 0.200 μ L empleando una corriente de 13.6 atm de nitrógeno, para evitar la pérdida de los hidrocarburos volátiles. La limpieza y el fraccionamiento de la muestra se realizó por medio de una columna Pasteur que contenía alúmina activada (Tipo WN-6; neutra). Se obtuvieron dos fracciones: la primera fracción contenía los hidrocarburos alifáticos y se obtuvo usando 9.6 mL de hexano como eluyente; la segunda fracción se obtuvo agregando primero 4.9 mL de una mezcla 7:3 de hexano: diclorometano y luego 4.9 mL de diclorometano puro, en esta segunda fracción se encuentran los hidrocarburos aromáticos. Para el análisis cromatográfico de los hidrocarburos alifáticos se evaporó la fracción correspondiente empleando una corriente de nitrógeno, pasando el extracto concentrado a un vial de 1 mL de capacidad y realizando lavados con hexano; se evaporó casi a sequedad y se llevó a un volumen de 0.50 mL de hexano a la muestra; se inyectó 1 μ L en un cromatógrafo de gases Perkin Elmer AutoSystem, con un detector de ionización de llama (FID) (Saravia, 2007). Para el análisis cuantitativo se prepararon curvas de calibración de los patrones correspondientes a los hidrocarburos alifáticos a cuantificar, que iban del n -C₁₁ al n -C₂₈, el n -C₃₀, fitano y pristano. La identificación de los compuestos se llevó a cabo comparando los tiempos de retención de cada hidrocarburo con los de los estándares.

La fracción que contenía los hidrocarburos aromáticos se evaporó con nitrógeno hasta un volumen aproximado de 0.5 mL y se trasladó a un balón de 5 mL, haciendo un mínimo 3 lavados con hexano. Para el análisis por espectrofotometría de fluorescencia se utilizaron patrones de criseno en un rango de concentración de 0,05 a 2.3 $\mu\text{g/mL}$. La lectura se realizó a una longitud de onda de excitación de 310 nm y de emisión de 360 nm. (Saravia, 2007)

Índices de evaluación y parámetros de comparación

Se aplicaron diversos parámetros reportados en la literatura (Colombo, Pelletier, Brochu, Khalil y Catoggio, 1989; Gil, Harvey, Commendatore, Colombo y Esteves, 1996; Saravia, 2007) para determinar el origen de los hidrocarburos y el grado relativo de degradación de los mismos.

Resultados y Discusión

En el cuadro 2 se muestran los valores promedio de la granulometría y el porcentaje de materia orgánica en los sedimentos recolectados en los trece puntos de muestreo. La granulometría mostró una predominancia de la fracción arenosa (67% en promedio) en todos los puntos de muestreo. En lo concerniente al porcentaje de materia orgánica, se observa que los valores promedio oscilan entre 2.69 y 4.82. El material orgánico puede proceder de la actividad de desembarque y lavado de productos pesqueros, como sangre y escamas, también a desechos producto de la descarga de los ríos y derivados de petróleo producto de los embarques pesqueros (Hernández, Franco y Herrera, 2008).

En el cuadro 3 se muestran los niveles de hidrocarburos totales (alifáticos totales + aromáticos totales) en las muestras de sedimento recolectadas. El valor más alto se detectó en el punto 9, en la estación seca, con una concentración cercana a los 60 000 $\mu\text{g/g}$, en tanto que el valor más bajo se obtuvo en el punto 7 de la estación seca cuya concentración fue de 0.7 $\mu\text{g/g}$.

Daniela Rodríguez Chaves, Ana Y. Saravia Arguedas, Oscar Pacheco Urpi, Gilberto Piedra Marín.
Assessment of hydrocarbon levels in marine sediments collected from the Gulf of Nicoya region
located between Punta Morales and Costa de Pajaros and their possible origin (biogenic/anthropogenic)

Cuadro 2. Valores promedio de la granulometría y el porcentaje de materia orgánica de los sedimentos del Golfo de Nicoya

Punto de Muestreo	Granulometría			% MO
	%Arena (± 1)	%Arcilla (± 1)	%Limo (± 1)	(± 0.01)
1	70	8	23	2.69
2	74	11	15	3.91
3	67	8	25	3.03
4	77	2	22	4.82
5	65	7	28	3.94
6	58	8	34	4.24
7	65	7	27	4.24
8	73	3	24	3.22
9	67	7	26	3.51
10	66	8	26	4.10
11	58	10	32	3.42
12	60	9	32	3.61
13	67	9	25	3.74
Promedios	67	7	26	3.73

Fuente: Rodríguez, 2011.

De acuerdo con Saravia (2007), el grado de contaminación en los sedimentos se puede establecer en función de la concentración de los hidrocarburos totales. Cuando la concentración es $\leq 10 \mu\text{g/g}$ se considera *sin contaminación*; si la concentración de hidrocarburos está en el rango $< 10 - 100 \mu\text{g/g}$ se cataloga contaminación *leve a moderada*. Finalmente, si los niveles de hidrocarburos totales son $\geq 100 \mu\text{g/g}$ el sistema se considera con *contaminación elevada*. Se observa en el cuadro 3 que las concentraciones de hidrocarburos totales superan los $100 \mu\text{g/g}$ en todos los puntos, lo cual sugiere una *contaminación elevada* en la zona, que se puede adjudicar a la influencia de los ríos, principalmente a la cuenca del río Tempisque que desemboca en la parte interna del golfo, a los derrames de combustible de las lanchas de pesca y a las grandes embarcaciones que ingresan a la zona para el transporte marítimo de azúcar granulado, almacenado en la



Terminal Portuaria de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA) para su exportación.

El cuadro 4 muestra el posible origen, biogénico o antropogénico, de los hidrocarburos detectados en los diferentes sitios de muestreo. El primer punto, el más cercano a la desembocadura del Río Tempisque, mostró contaminación antropogénica puntual que puede provenir de residuos aportados por el río Tempisque, además del aporte continuo de hidrocarburos de origen biogénico producto de la descomposición de plantas vasculares terrestres (Gil *et al.*, 1996) que puede ser producida cerca del río y arrastrado hacia el mar. En los puntos 2 y 3 se detectó la presencia de hidrocarburos de alto peso molecular provenientes de residuos de petróleo más pesados, sugiriendo una alta acción antropogénica continua, fortalecida con el hecho que se ubican en el frente de la comunidad de Costa de Pájaros, donde se concentra la mayor población de pescadores artesanales del golfo y donde pernoctan gran cantidad de embarcaciones de pesca a las que se les realizan mantenimiento y cambios de aceite en el sitio. En los puntos 4, 5, 6 y 7 se detectaron hidrocarburos de alto peso molecular de cadenas impares, sugiriendo contaminación por plantas vasculares terrestres. La existencia de hidrocarburos derivados del petróleo evidencia una actividad de tipo antropogénica constante que eleva las concentraciones de estos compuestos en la zona y paralelamente se desarrolla una clara actividad biogénica. Los puntos 4 y 5, presentan condición similar a la anterior por estar ubicados también frente al poblado de la comunidad de Costa de Pájaros. En el caso particular de los puntos 6 y 7, los cuales se ubicaron cerca del manglar y de la ECMAR, en donde se desarrollan tanto acciones antropogénicas, por la presencia de embarcaciones de pesca en la zona, como biogénicas en el manglar. Los puntos 8, 9 y 10 se ubican cerca de la terminal portuaria de LAICA, cuyo muelle recibe barcos de hasta 30000 toneladas métricas. En todos los puntos se detectó la presencia de hidrocarburos derivados del petróleo, lo que sugiere una contaminación de tipo antropogénica. En el punto 11 los hidrocarburos detectados provienen de algas marinas, sugiriendo aporte biogénico que se puede asociar con el hecho de que este punto se ubica en una zona influenciada por la parte externa del golfo y por la acción del mar. La estación 12 se ubicó en el centro del golfo, en una zona que experimenta la influencia del mar abierto y de la parte externa del Golfo de Nicoya. En este sitio hay un aporte significativo

Daniela Rodríguez Chaves, Ana Y. Saravia Arguedas, Oscar Pacheco Urpi, Gilberto Piedra Marín.
Assessment of hydrocarbon levels in marine sediments collected from the Gulf of Nicoya region
located between Punta Morales and Costa de Pajaros and their possible origin (biogenic/anthropogenic)

de hidrocarburos de alto peso molecular por lo que se ve la influencia de hidrocarburos de origen antropogénico.

El punto de muestreo 13 se ubicó en las inmediaciones de las Islas Bejuco y Caballo y mostró hidrocarburos procedentes de plantas vasculares terrestres, así como hidrocarburos derivados del petróleo asociados con la actividad pesquera que se desarrolla en esta región del golfo.

Cuadro 3. Niveles de hidrocarburos totales (alifáticos totales + aromáticos totales), en mg/kg, en las muestras de sedimento recolectadas en el Golfo de Nicoya en las tres estaciones climáticas escogidas

Punto de muestreo	Estación seca	Transición	Estación lluviosa
1	368	2857	1767
2	24453	1556	331
3	629	4031	8137
4	3775	6208	10463
5	1394	1178	1328
6	3305	1043	1586
7	0.6	6164	2098
8	4456	2328	15441
9	59826	7498	2066
10	10942	2209	810
11	4599	192	1513
12	754	8627	1525
13	2203	3285	3084

Fuente: Rodríguez, 2011.



Cuadro 4. Origen de los hidrocarburos detectados en los diferentes sitios de muestreo

Estación de muestreo	Origen
1	Antropogénico/biogénico
2	Antropogénico
3	Antropogénico
4	Antropogénico/biogénico
5	Antropogénico/biogénico
6	Antropogénico/biogénico
7	Antropogénico/biogénico
8	Antropogénico
9	Antropogénico
10	Antropogénico
11	Biogénico
12	Antropogénico
13	Antropogénico/biogénico

Fuente: Rodríguez, 2011.

La bioacumulación puede causar, fundamentalmente, perturbaciones sobre los ecosistemas (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, 2014). Las alteraciones de la biología de las poblaciones y sus consecuencias demográficas, en último término, desembocan en cambios en la estructura de las comunidades ecológicas y, por lo tanto, en una alteración de la red de interrelaciones existentes. Entre los principales procesos afectados por la bioacumulación están las alteraciones del hábitat, los cambios en las relaciones entre predadores y presas, las modificaciones en las relaciones entre competidores, las alteraciones en los niveles de productividad y los cambios en las redes tróficas, constituyéndose probablemente en una de las claves para comprender los impactos en los ecosistemas a medio y largo plazo (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, 2014).

Conclusiones

Los niveles de hidrocarburos en todos los puntos de muestreo se encuentran por encima de 100 µg/g, lo que evidencia una contaminación elevada a lo largo de la zona de estudio. En consecuencia, las actividades



de acuicultura podrían verse afectadas por la presencia de hidrocarburos derivados del petróleo generados a partir de las actividades antrópicas que se desarrollan en las comunidades aledañas.

Las mayores concentraciones se observaron en los sitios de muestreo ubicados cerca de la terminal portuaria de la empresa LAICA, lo cual puede ser atribuido al flujo de los grandes barcos mercantes que ingresan a esta zona. La mecánica hidráulica de estas embarcaciones, en principio y en buenas condiciones, no permite que los hidrocarburos sean lanzados al mar; sin embargo, Costa Rica no tiene los controles adecuados para verificar si todo está operando eficientemente o están realizando mantenimientos no permitidos, por lo que sería de gran importancia establecer un protocolo de inspección por parte del MINAE o las autoridades portuarias del país, para garantizar que no se estén liberando aceites y lubricantes al medio. Asimismo, se recomienda la implementación de un plan de monitoreo y determinación de posibles fuentes de contaminación, con el fin de dar recomendaciones para disminuir los niveles de las áreas que están siendo impactadas por las diferentes actividades antropogénicas. Adicionalmente, se recomienda extremar las condiciones de carga y descarga de petróleo y sus derivados, para minimizar estos problemas.

Los puntos de muestreo 1, 4, 5, 6, 7 y 13 muestran aportes tanto antropogénicos como biogénicos en los sedimentos analizados. Los puntos 2, 3, 8, 9, 10 y 12 mostraron un origen mayoritariamente de tipo antropogénico que evidencia una acción directa del hombre: la contaminación del agua de mar por hidrocarburos ocurre principalmente producto de la mala disposición final que los pescadores dan al aceite quemado de los motores, así como a la contaminación proveniente de los ríos que desembocan en el mar. En el golfo se desarrolla una gran actividad pesquera, la cual se realiza sin ningún control, y ninguna conciencia de parte de los pescadores, sobre los efectos que pueden estar ocasionando el mal manejo de los combustibles y lubricantes en sus embarcaciones. Es recomendable por lo tanto, divulgar los riesgos de este tipo de contaminación y el impacto sobre la misma actividad pesquera, de la cual subsisten, de una manera sistemática, utilizando los medios de radio, televisión y prensa escrita, periódicamente, así como de panfletos y charlas de una manera más permanente para lograr inculcar las prácticas de manejo adecuado de los combustibles y lubricantes por los pescadores artesanales.

Las menores concentraciones se ubicaron en el punto de muestreo 11 que se ve influenciado tanto por la parte externa del golfo como por la acción del mar. Este sitio muestra una influencia de tipo biogénica, la cual se asocia primordialmente con la ubicación del punto que recibe la acción del mar abierto y los niveles de hidrocarburos asociados con actividades de origen humano tienden a bajar. Los puntos cercanos al manglar mostraron valores bastante significativos, atribuidos principalmente al tránsito de las embarcaciones pesqueras de los lugareños el cual es constante en su faena diaria entre Punta Morales y Costa de Pájaros, asociado probablemente a la tendencia de la acción de las mareas a acumular los hidrocarburos en los sedimentos del borde del manglar.

Los efectos de la bioacumulación tienen un impacto directo en la productividad y por ende, junto con la sobreexplotación de los recursos pesqueros, contribuye con el deterioro paulatino, social y económico de las comunidades costeras, por lo que debe dársele la atención pertinente por parte de las autoridades y las comunidades costeras.

Agradecimientos

Se le agradece al M.Sc. Benjamín Álvarez Garay, del Sistema de Información Regional del Pacífico Central (SIR-PC) en la Estación Nacional de Ciencias Marino-Costeras (ECMAR) de la Universidad Nacional en Punta Morales, por la confección del mapa con los puntos de muestreo, en Arc Gis 9.3.

Referencias

- Acuña, J. y Murillo, M. (1987). Contaminación por hidrocarburos de Petróleo en la Costa del Caño. *Ingeniería y Ciencia Química*, 11, pp 95-98.
- Acuña, J., Vargas, J., Gómez, A. y Gracia, J. (2004). Hidrocarburos de petróleo, disueltos y dispersos, en cuatro ambientes costeros del Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 52, pp 43-50.
- Astorqui, F., Basaguren, I., Tinan, N. y Umaran, R. (2002). Algunos aspectos sobre los nutrientes y metales pesados en el Estero de Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Estudio para Tesis de Grado de la Universidad de Hogesschool Zeeland, Holland. Mimeografiado. 69 pp.
- Benavides, J., Quintero, G., Guevara, A., Jaimes, D., Gutierrérrez, S. y Miranda, J. (2006). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Nova-Publicación Científica*, 4(5), 82-90.



Daniela Rodríguez Chaves, Ana Y. Saravia Arguedas, Oscar Pacheco Urpi, Gilberto Piedra Marín.
Assessment of hydrocarbon levels in marine sediments collected from the Gulf of Nicoya region
located between Punta Morales and Costa de Pajaros and their possible origin (biogenic/anthropogenic)

- Botello, A.V. 1996. "Características, composición y propiedades fisicoquímicas del petróleo", pp. 203–210, en Botello, A., Rojas-Galavíz, J., Benítez, J., y Zárata-Lomelí, D. (editores). *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX Serie Científica 5.
- Brenes, C., León, S. y Chaves, J. (2001). Variación de las propiedades termohalinas en el Golfo de Nicoya. *Revista Biología Tropical*, 49(2), 145-152.
- Brugnoli, E. y Morales, A. (2008). Trophic planktonic dynamics in tropical estuary, Gulf of Nicoya, Pacific coast of Costa Rica during El Niño 1997 event. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43, 75-89.
- Chacón, J.A. (1997). Evaluación de la presencia de hidrocarburos de petróleo en sitios de captación de agua para consumo humano en las provincias de Heredia y Limón. Tesis de Licenciatura en Química, Escuela de Química, Universidad de Costa Rica, San José de Costa Rica, p. 35.
- Charpantier, C., Porras, A., Vartania, D. y Herrera, A. (2006). La necesidad de una agenda marino costera en el marco de un manejo integrado. Costa Rica: Parque Marino del Pacífico.
- Colombo, J., Pelletier, E., Brochu, C., Khalil, M. y Catoggio, J. (1989). Determination of hydrocarbon sources using n-alkane and polyaromatic hydrocarbons distribution indexes. Case Study: Río de La Plata Estuary, Argentina. *Environmental Science & Technology*, 23, 888-894.
- Departamento Nacional de Planeación. Dirección de Desarrollo Territorial Sostenible. (2008). Elementos básicos para el Manejo Integrado de Zonas Costeras. Bogotá: Editorial Gente Nueva, pp 30-16.
- Echarri, L. (1998). *Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente*. España: Teide.
- Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. Chile: CEPAL, Naciones Unidas.
- Gil, M., Harvey, M., Commendatore, M., Colombo, J. y Esteves, J. (1996). Evaluación de la contaminación por hidrocarburos y metales en la zona costera de la Patagonia. Fundación Patagonia Natural. Informes Técnicos del Plan de Manejo Integrado de la Zona Costera Patagónica (Puerto Madryn, Argentina), (21), 1-47.



- Gómez, P. y Monge, J. (2008). La Biodiversidad marina en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Posgrado y Sociedad*, 8, 1-19.
- Hernández, S., Franco, C. y Herrera, C. (2008). Carbono orgánico y materia orgánica en sedimentos superficiales de la Bahía Concepción. *Ciencia Ahora*, 21, 1.
- León, S., Rodríguez, G., Saravia, A., Arroyo, G. y González, A. (2002). Estado de situación por la contaminación por hidrocarburos en el Estero de Puntarenas. Golfo de Nicoya. Universidad Nacional.
- Mata, A. y Blanco, O. (1994). La cuenca del Golfo de Nicoya, un reto al desarrollo sostenible. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Mata, A., Acuña, J., Murillo, M. y Cortés, J. (1987). Estudio de la contaminación por petróleo en la costa Caribe de Costa Rica 1981-1985. *Caribbean Journal of Science*, 23, 41-49.
- Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente de España. (2014). Impacto ambiental de los hidrocarburos y recuperación de los ecosistemas. Recuperado de: http://www.magrama.gob.es/es/costas/temas/proteccion-del-medio-marino/la-contaminacion-marina/impacto_ambiental.aspx. Accesado el día 30 de julio de 2014.
- Olguín, E., Hernández, M. y Sánchez, G. (2007). Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* (Online), 23, 139-154.
- Otárola, A. (2008). Producción acuícola continental en Costa Rica. *AMBIENTICO*, 179, 3-6.
- Pacheco, O. (2011). Análisis de las características técnico-ambientales y administrativas del área marino-costera comprendida entre Punta Morales y Costa de Pájaros (Golfo de Nicoya, Costa Rica) para su uso en maricultura. (Tesis de Maestría inédita) Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Pacheco, O., Salas, S. y Sierra, L. (2013). Modelo de gestión para la sostenibilidad de los recursos pesqueros del Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 50, 165-193.
- Rodríguez, D. (2011). Determinación de los niveles de hidrocarburos de origen biogénico y antropogénico en sedimentos marinos, recolectados en la región del Golfo de Nicoya ubicada entre Punta Morales y Costa de Pájaros, por medio de las técnicas de cromatografía de

Daniela Rodríguez Chaves, Ana Y. Saravia Arguedas, Oscar Pacheco Urpi, Gilberto Piedra Marín.
Assessment of hydrocarbon levels in marine sediments collected from the Gulf of Nicoya region
located between Punta Morales and Costa de Pajaros and their possible origin (biogenic/anthropogenic)

gases y fluorescencia. (Tesis de Licenciatura inédita) Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

Saravia, A. Y. (2007). Adaptación de un Método Analítico para el Análisis de Hidrocarburos Antropogénicos y Biogénicos en Sedimentos. Estero de Puntarenas, Costa Rica. (Tesis de Licenciatura inédita) Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

UNESCO. (1982). The Determination of petroleum hydrocarbons in sediments. Manuals and guides, 11, 38.

Viñas Canals, M. (2005). Biorremediación de los suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica. (Tesis doctoral inédita) Universidad de Barcelona. Barcelona, España.

