

CONTAMINACION POR HIDROCARBUROS EN LAS LAGUNAS TACARIGUA, UNARE Y PIRITU, VENEZUELA

GILBERTO CEDEÑO F. & JAIME BONILLA R.

Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela

RESUMEN: Se determinaron hidrocarburos saturados para establecer la línea base sobre la contaminación por hidrocarburos de origen petrogénico en las lagunas de Tacarigua, Unare y Píritu. El grado de contaminación se estableció en base a la distribución de n-alcenos, la complejidad de la mezcla de compuestos no resueltos y la presencia de los isoprenoides fitano y pristano. De acuerdo a estos criterios, en todas las aguas se presentó mayor contaminación que en los sedimentos. La laguna de Tacarigua presentó un mayor grado de contaminación por hidrocarburos de origen antropogénico (corroborado especialmente por la presencia de fitano), debido al mayor uso y aprovechamiento que ofrece este cuerpo de agua y al aporte que introduce el río Guapo en la región Oeste.

ABSTRACT: Hydrocarbons were studied in order to establish the base line of petroleum pollution in the lagoons of Tacarigua, Unare and Píritu, Venezuela. The results showed that the waters were more polluted by anthropogenic hydrocarbon than the sediments, in all the lagoons. The Tacarigua lagoon was the most polluted perhaps due to the intensive use as a place for fisheries and tourism. In this case the antropogenic hydrocarbons were carried by Guapo river, by boats and by exchange of seawater.

INTRODUCCION

Venezuela posee un importante sistema lagunar litoral en la región centro-oriental, conformado por las lagunas de Tacarigua, Unare y Píritu. Las condiciones hidrográficas, químicas y geológicas de estas lagunas han sido estudiadas entre otros por OKUDA *et al.*, (1964) OKUDA (1968), OKUDA Y BENÍTEZ (1985), GAMBOA *et al.*, (1971), ROA Y BAY (1981) y ROA (1987). Las lagunas costeras poseen altos valores de productividad comparables con los arrecifes coralinos y los lechos de hierbas marinas. Estos valores de productividad primaria varían de acuerdo a los productores primarios, época del año, aportes críticos y limitantes de carácter físico y químico que entran al ecosistema lagunar. En este sentido, es muy importante el aporte de agua dulce y marina en el suministro y renovación de nutrientes, material orgánico y oxígeno disuelto. Igualmente, la mezcla de las aguas juega un gran papel en el intercambio de oxígeno, circulación de nutrientes y eliminación de desechos.

La salinidad también es un factor crítico en las aguas costeras donde generalmente se observan valores más altos que en el mar. El amplio gradiente de salinidad regula la vida de muchos organismos que se adaptan a estos cambios bruscos mientras que algunos peces no sobreviven a estos gradientes. Otras especies requieren diversos niveles de salinidad en las diferentes fases de la vida.

En este sentido, el flujo de agua que mantienen las cuencas hidrográficas es muy importante por que regula los niveles de estas lagunas y en la estacionalidad del período de lluvia puede reducir a una tercera parte el volumen de agua (SNEADAKER Y GETTER, 1985).

Debido a la naturaleza semicerrada y la alta productividad de las lagunas, estos cuerpos de agua han sustentado el aprovechamiento por parte del hombre. En adición, las lagunas sirven para la navegación, maricultura como reservorio de desperdicios y también se las emplea con fines recreacionales y para desarrollos residenciales.

Actualmente las lagunas costeras reciben demandas para su uso y se han generado una serie de impactos ambientales que han conducido a la pérdida económica.

La continua degradación de las lagunas por las constantes adiciones de contaminantes, provenientes de poblaciones costeras e introducidas por los ríos, aguas de impactos ambientales con la consecuente reducción de los recursos pesqueros que a mediado plazo reinciden negativamente en la economía regional. La contaminación persistente por productos tóxicos produce la desaparición gradual de peces y mariscos y/o merma en la productividad del ecosistema lagunar, creando condiciones adversas para la reproducción y cría de especies de organismos dulceacuícolas. En este sentido, el incremento de produc-

tos químicos, como hidrocarburos en estos ambientes de circulación restringida, puede a muy corto plazo impactar al ambiente lagunar reduciendo el número de especies, y causando efectos impredecibles. La demanda indiscriminada del uso de las lagunas litorales y la vulnerabilidad a los derivados del petróleo, ha conducido a establecer un estudio preliminar del estado actual de la contaminación por hidrocarburos de origen antropogénico en las lagunas de importancia económica en la región centro-oriental de Venezuela.

Los hidrocarburos en el medio ambiente han sido extensamente estudiados para diferenciar los de origen biogénico y los provenientes del petróleo. Se han establecido muchos parámetros que permiten dilucidar algunas diferencias, las principales incluyen la mezcla de compuestos no resuelta (UCM), el índice preferencial de carbono (CPI), la presencia de los isoprenoides pristano (Pr) y fitano (Ph) y su relación con los hidrocarburos saturados heptadecano (C_{17}) y octadecano (C_{18}). Otros métodos están basados en la identificación de las olefinas las cuales son de origen biogénico; en las razones UCM/THC, Pr/Ph, CPI $n-C_{15}$ - $n-C_{20}$, CPI $n-C_{23}$ - $n-C_{33}$, C impar/C par, alcanos mas abundantes, etc. Sin embargo, no hay un método único para establecer la contaminación ambiental.

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende las lagunas de Tacarigua, Unare y Píritu, situadas en la región centro-oriental de Venezuela. (Fig. 1).

La laguna de Tacarigua está situada en el Estado Miranda y es una albufera separada del mar por una barra que tiene entre 300 y 1.000 m de ancho (GAMBOA *et al*, 1971). Las dimensiones de la laguna son de 28 km en dirección Noreste-Sureste, y 5 km en dirección Norte-Sur. Mantiene comunicación directa con el mar por la parte occidental y tiene una profundidad promedio de 1 a 1,4 m y un área de 78 km². La laguna posee abundante vegetación de manglares que la subdividen en tres regiones: Oeste, Central y Este. Los aportes fluviales del río el Guapo, Cúpira, Machurucuto y otros arroyos menores influyen notables en las condiciones ambientales de la laguna, propiciando abundante material orgánico y cambios en las condiciones hidroquímicas (OKUDA *et al*, 1964 y GAMBOA *et al*, 1971).

La laguna de Unare, situada en la costa Noreste del

Edo. Anzoátegui, tiene una extensión de 22 km en sentido Este-Oeste, y 5,5 km de ancho. Está separada del mar por una barra arenosa de 300 a 600 m de ancho y tiene una comunicación a través de un canal entre la laguna y la desembocadura del río Unare, que se cierra durante el período de sequía. La profundidad media de la laguna es de 0,3 a 0,5 m en la época seca y de 1,5 a 1,7 m en el período de lluvias. El río Unare aporta un gran volumen de agua a la laguna incrementando su área de 40 a 60 km² aproximadamente durante la época de lluvia. Otros aportes intermitentes se reciben a través de los ríos Chávez y Cautaro.

La laguna de Píritu está adyacente a la laguna de Unare, tiene una longitud máxima de 16,5 km en dirección Este-Oeste y 5 km de ancho, y una superficie de 37 km² (ROA y COLOMINE, 1988); está separada del mar por una barra arenosa de 100 a 300 m de ancho y se comunica por un canal de 200 m de ancho. La profundidad de la laguna es de 0,5 m en época de lluvias, mientras que en la zona Oriental se encuentran profundidades de 3,5 m. El único aporte fluvial proviene del río Unare.

METODOLOGIA

Las muestras de agua de 2 l de la superficie de las lagunas fueron tomadas durante los meses de Noviembre de 1988, Abril y Diciembre de 1989. Los sedimentos captados en la superficie durante Abril de 1989 fueron tamizados y secados a 60 ± 5 °C. Los hidrocarburos alifáticos fueron aislados, separados y analizados mediante cromatografía, de acuerdo al diagrama de la Fig. 2, usando la metodología recomendada por CARIPOL (1980) para los países del Caribe. Los n-alcanos se separaron en un cromatógrafo. Varía modelo 3.700, acoplado a un integrador Hewlett Packard modelo 3390 A, de acuerdo a las siguientes condiciones: Columna de OV-101, sílica fundida de 50 m x 0,053 mm; temp: 100 a 280 °C a 6 °C/min, detector: ionización a la llama, 280 °C; inyector: 270 °C; modo "splitless"; gas de arrastre: nitrógeno (3 ml/min). Tanto para agua como sedimento se usaron los mismos volúmenes y pesos, diluciones y cantidades inyectadas al cromatógrafo a los fines de estimar rápidamente la presencia de hidrocarburos en un gran número de muestras ambientales.

RESULTADOS Y DISCUSION

DISTRIBUCIÓN DE HIDROCARBUROS EN AGUAS SUPERFICIALES

LAGUNA DE TACARIGUA:

Se analizó la distribución de hidrocarburos de cadena

Contaminación por hidrocarburos en las lagunas de Tacarigua, Unare y Píritu, Venezuela

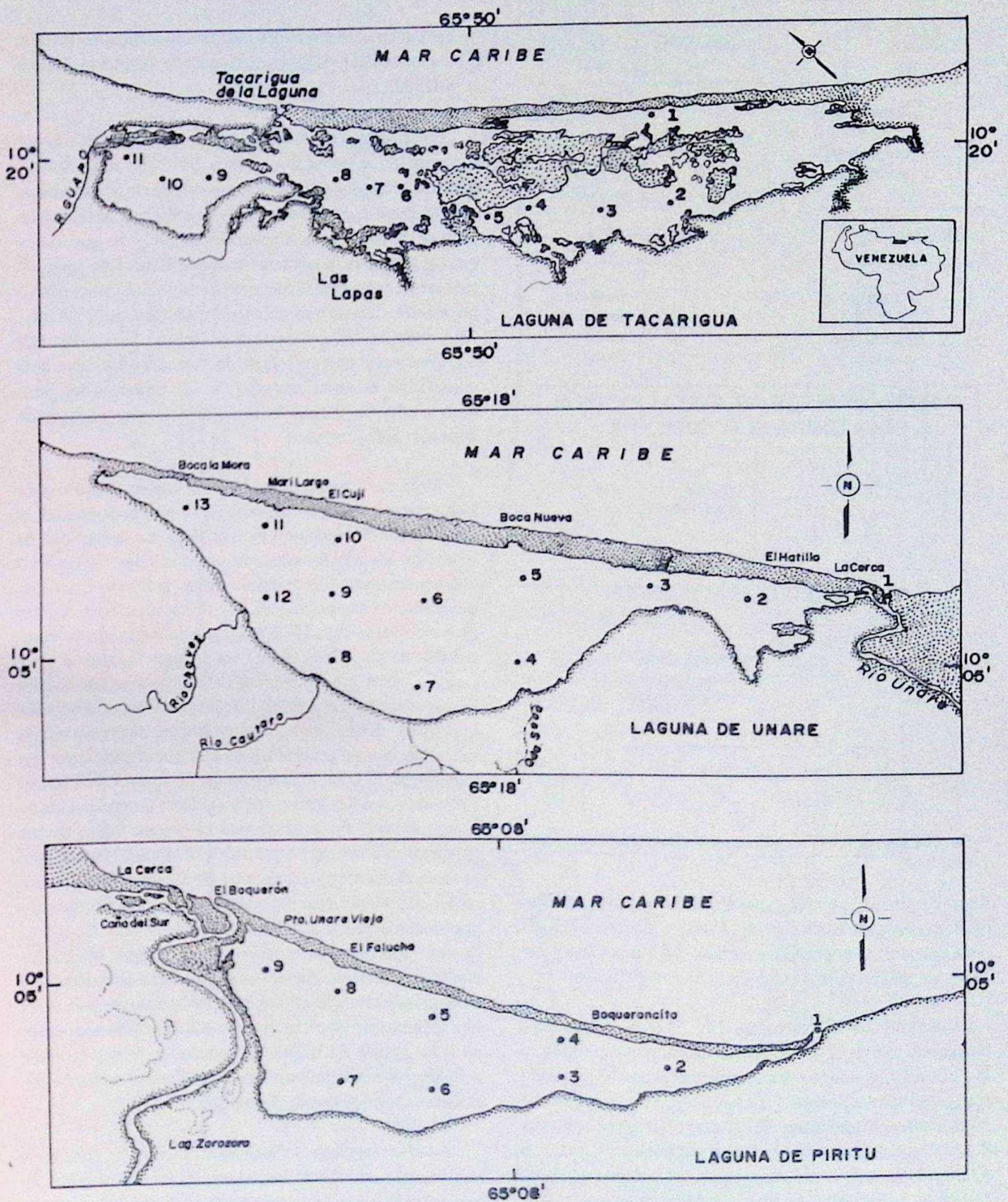


Fig. 1. Situación de estaciones en las lagunas de Tacarigua, Unare y Píritu.

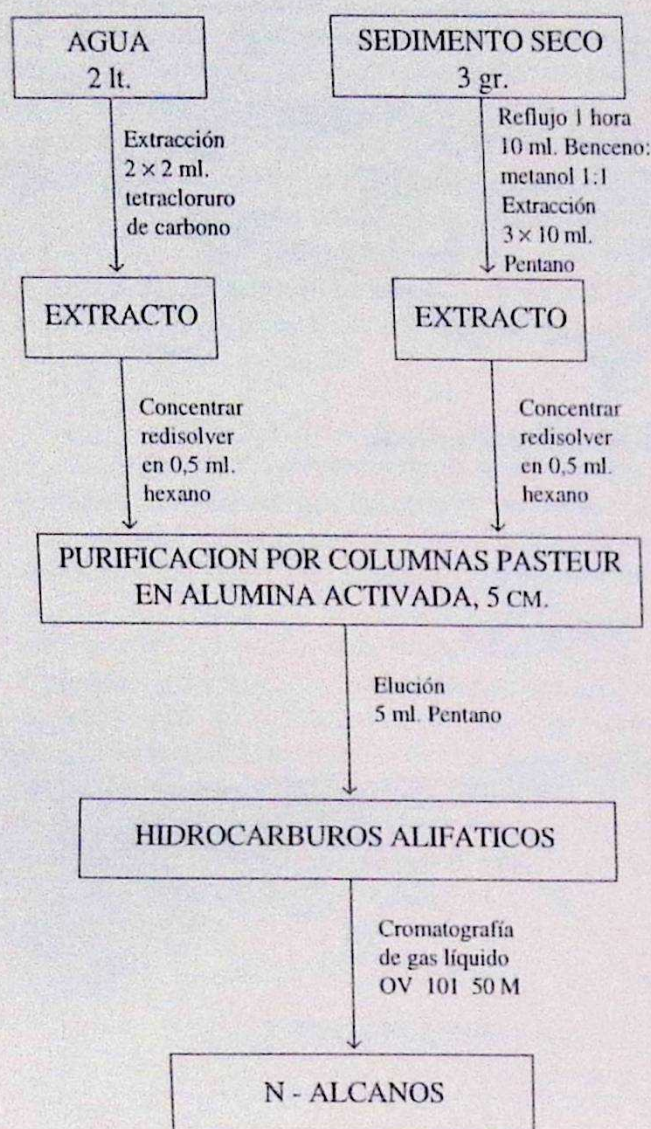


Fig. 2. Diagrama de flujo para la separación de hidrocarburos en aguas y sedimentos.

lineal desde $n-C_{15}$ a $n-C_{32}$ y se aplicaron algunos criterios establecidos por BURNS *et al.*, (1982) y ZSOLNAY (1972), para determinar el grado de contaminación por hidrocarburos de origen petrogénico en aguas superficiales.

En la laguna de Tacarigua (Fig. 3) la distribución de n -alcanos indicó la presencia de hidrocarburos desde $n-C_{15}$ hasta $n-C_{31}$ y de los isoprenoides pristano (2, 6, 10, 14 tetrametil pentadecano) y fitano (2, 6, 10, 14 tetrametil hexadecano). El pristano (Pr) formó un doblete con el $n-C_{17}$ en los cromatogramas y es un componente del petróleo y también es sintetizado por algunos organismos marinos, mientras que el fitano (Ph) se encuentra con el $n-C_{18}$ formando otro doblete en los cromatogramas y su presen-

cia en muestras ambientales indica contaminación porque los organismos de la biota marina no lo sintetizan (BURNS *et al.*, 1982).

En la laguna de Tacarigua la zona este acusó menor contaminación por hidrocarburos derivados del petróleo, los cromatogramas no mostraron subida de la línea base, la distribución de n -alcanos es sencilla con ausencia de alcanos de peso molecular menor de $n-C_{21}$, lo que indica que las muestras han sufrido intemperismo. Las aguas de este sector presentaron menor contenido de hidrocarburos no resueltos, como es señalado en las estaciones 2 y 4 (Fig. 3), y reflejan los procesos degradativos que sufren los hidrocarburos en ese sector, la forma aislada del área contribuye al estancamiento de las aguas, a su poca renovación y a la proliferación de bacterias capaces de degradar hidrocarburos.

El sector Central (Fig. 3) de la laguna acusó mayor impacto por los hidrocarburos de origen petrogénico, la distribución de n -alcanos es compleja por la cantidad de isómeros adyacentes a los alcanos normales. Se observó alta concentración de pristano, fitano, $n-C_{15}$ y $n-C_{17}$, especialmente en las estaciones 6 y 8. La línea base mostró gran elevación causada por la mezcla compleja de compuestos no resueltos (UCM) que se hace máxima a nivel de $n-C_{20}$ y $n-C_{21}$. La presencia de los compuestos de bajo peso molecular $n-C_{15}$ y $n-C_{17}$, de mayor concentración que los otros n -alcanos, indicó hidrocarburos de origen biogénico, los cuales generalmente son sintetizados por las algas como ha sido señalado por otros autores. Los hidrocarburos naturales y los antropogénicos determinados en estas muestras de agua, indica el origen mixto de los hidrocarburos del sector central de la laguna. Aún cuando no debe descartarse la presencia de alcanos de bajo peso molecular proveniente del petróleo, la forma del cromatograma donde solamente sobresalen los alcanos C_{15} y C_{17} , es muy típico de hidrocarburos de las algas, las cuales sintetizan estos compuestos en abundancia. Esta zona está en comunicación directa con el agua de mar que podría ser una vía para introducir hidrocarburos de origen petrogénico a la laguna. El tráfico de lanchas a motor también contribuye grandemente a este origen mixto de los hidrocarburos de la laguna de Tacarigua.

En el sector Oeste de la laguna (Est. 9 y 10), en la zona más cercana a la desembocadura del río, se observó en menor grado una mezcla no resuelta de hidrocarburos, con abundante concentración de pristano y fitano, alta concen-

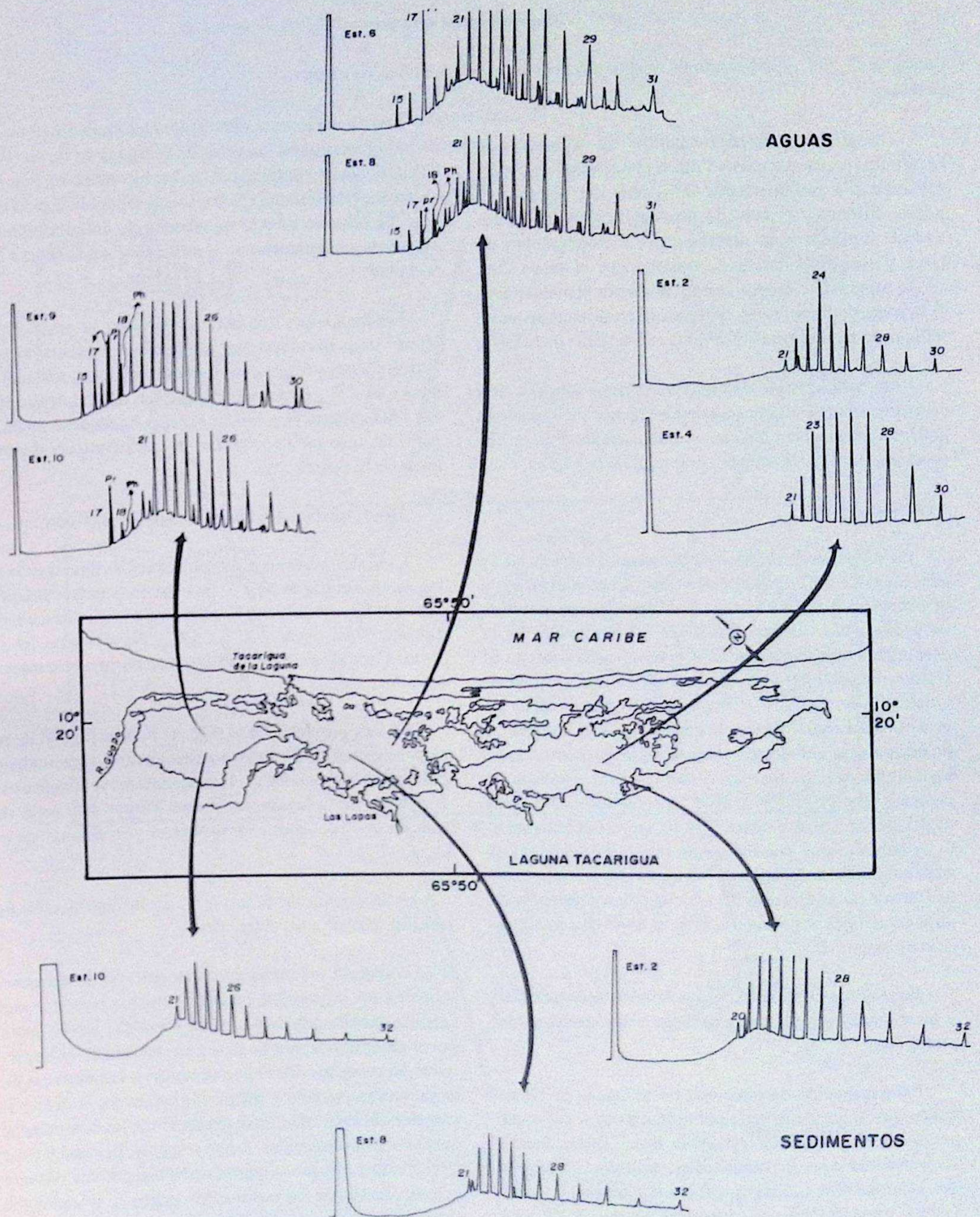


Fig. 3. Distribución de hidrocarburos en aguas y sedimentos de la Laguna de Tacarigua.

tración de C_{15} y C_{17} , indicando un origen mixto de hidrocarburos.

Un análisis global del «status» de la laguna de Tacarigua indica que existen diferentes grados de contaminación por hidrocarburos derivados del petróleo, y quizás diferentes grados de biodegradación. El sector central acusó un gran deterioro por el intercambio de aguas y el tráfico marítimo, mientras que el sector Este indicó un impacto menos significativo por el aislamiento de la zona, por la baja concentración de hidrocarburos que reflejan en menor grado el levantamiento de la línea base.

Los resultados indican que la continua introducción de hidrocarburos en el ecosistema lagunar de Tacarigua podría a corto plazo causar un daño irreversible en las especies marinas de interés comercial de la laguna.

LAGUNA DE UNARE:

En la laguna de Unare se determinaron hidrocarburos desde $n-C_{17}$ a $n-C_{31}$, y las principales características en la distribución de los *n*-alcanos en el área Este fue la subida de la línea base en las estaciones 1 y 3 situadas en la desembocadura del río Unare y en el área cercana al Hatillo, respectivamente. En la parte central, a nivel de Quebrada Seca (Est. 4), los *n*-alcanos presentaron las mismas características que los cromatogramas anteriores; no obstante, se notó la presencia de fitano en la mezcla de los compuestos, lo cual junto con la UCM, confiere un carácter antropogénico a esos hidrocarburos. En otras estaciones del mismo sector (Est. 6), se notó abundante $n-C_{17}$ y pristano que pueden ser de origen biogénico. Los cromatogramas señalados en la Fig. 4 (Est. 8 y 9) presentan menor concentración de *n*-alcanos y a diferencia de otras estaciones del mismo sector, el nivel de concentración es menor.

En el sector Oeste la UCM nuevamente se incrementó y presentó características similares a las muestras del sector Este.

La distribución de *n*-alcanos en la laguna de Unare indica que la parte afectada por hidrocarburos de origen petrogénico es el área de influencia del río Unare, lo cual sería explicable por los desechos que transporta, mientras que la zona Oeste quizás estaría bajo la influencia de los vientos prevalecientes en la zona en sentido E-NE, que podría acumular la materia contentiva de hidrocarburos.

LAGUNA DE PÍRITU:

Las características más resaltantes en la distribución de hidrocarburos en las aguas de la laguna de Píritu (Fig. 5) es la mayor complejidad de los hidrocarburos en las estaciones inmediatas a la barra que separa la laguna del mar. Se observó mezcla no resuelta de hidrocarburos y abundantes compuestos no identificados adyacentes a los *n*-alcanos.

Las estaciones que bordean la costa suroeste de la laguna no presentaron contaminación por derivados del petróleo y no se detectaron compuestos de peso molecular menor de $n-C_{20}$, lo que indica procesos degradativos para esa zona en particular, quizás por la poca renovación de la masa de agua para ese sector en contraposición a otras áreas de la laguna.

DISTRIBUCIÓN DE HIDROCARBUROS EN SEDIMENTOS

La distribución de *n*-alcanos en los sedimentos de la laguna de Tacarigua (Fig. 3) muestra características similares para el sector Este y Central, con una distribución de hidrocarburos desde $n-C_{20}$ a $n-C_{32}$. No obstante, en el sector Central se observaron hidrocarburos adyacentes a los *n*-alcanos.

En la laguna de Unare (Fig. 4) la distribución de *n*-alcanos es similar en todos los sedimentos, representado por las estaciones 3, 9 y 11. Únicamente los sedimentos de la entrada de la laguna mostraron mayor profusión de compuestos diferentes a los *n*-alcanos y en el rango de $n-C_{19}$ y $n-C_{26}$.

En la laguna de Píritu (Fig. 5) la distribución es sencilla, similar a las anteriores.

En general, los análisis cromatográficos de hidrocarburos en los sedimentos mostró el mismo patrón y una sencilla distribución de *n*-alcanos (de $n-C_{21}$ a $n-C_{31}$) con pocos compuestos ramificados y sin mezcla de hidrocarburos no resueltos. Tampoco se observó la presencia de isoprenoides pristano y fitano. Sin embargo, la distribución de *n*-alcanos indicó la degradación de los compuestos de menor peso molecular. A este respecto, BLUMER y SASS (1972) señalaron que la degradación bioquímica elimina selectivamente de los sedimentos marinos, primero los alcanos de cadena normal y luego los de cadena ramificada en relación a los de la mezcla compleja de hidrocarburos.

Contaminación por hidrocarburos en las lagunas de Tacarigua, Unare y Píritu, Venezuela

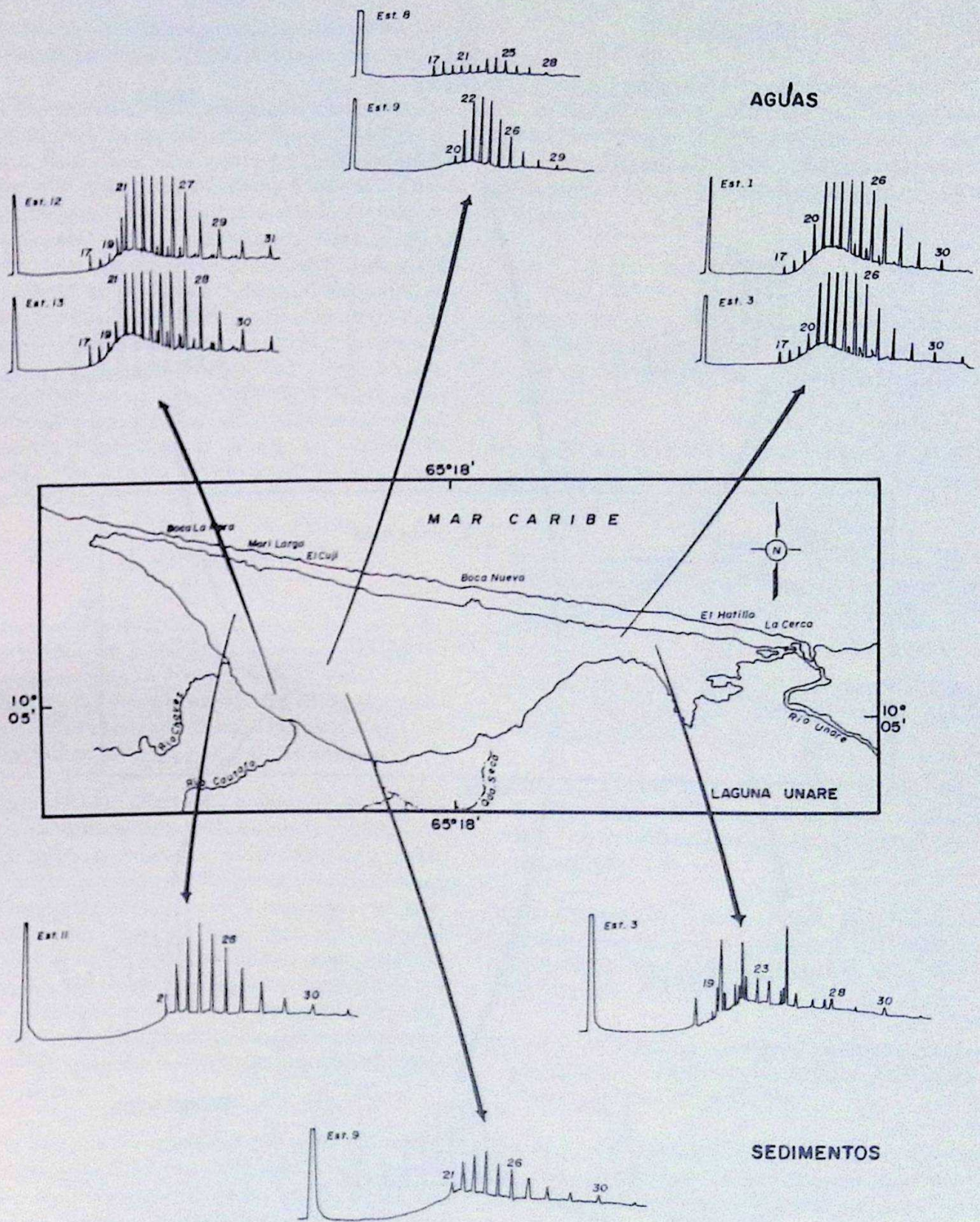


Fig. 4. Distribución de hidrocarburos en aguas y sedimentos de la Laguna de Unare.

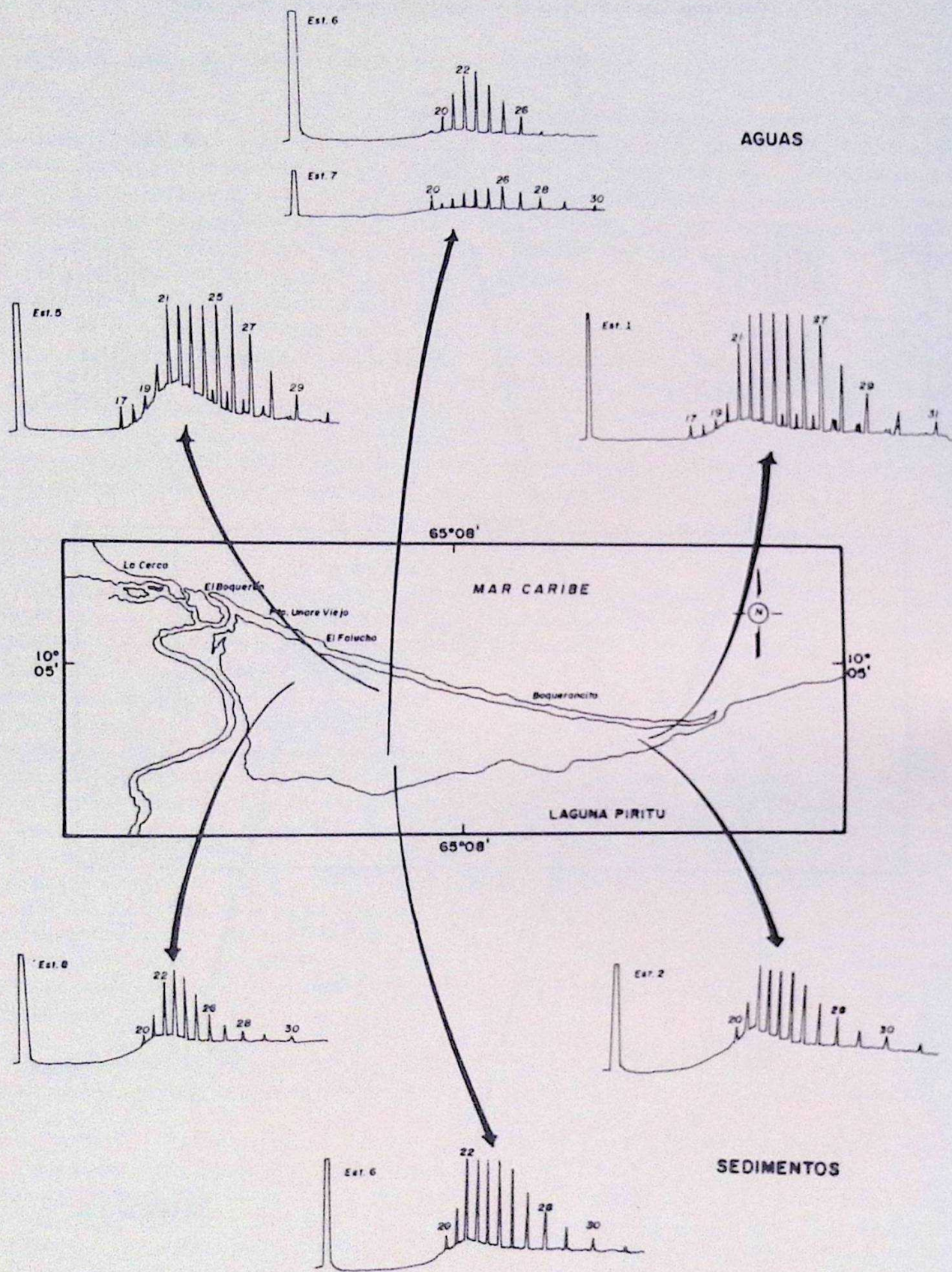


Fig. 5. Distribución de hidrocarburos en aguas y sedimentos de la Laguna de Piritu.

ros (hidrocarburos cíclicos y aromáticos por petróleo), la cual es característica de contaminación por petróleo.

La habilidad de los sedimentos para retener hidrocarburos depende del tamaño del grano, el contenido de mineral, lípidos asociados y otros materiales orgánicos (BURNS *et al.*, 1982). Los sedimentos arenosos con bajo contenido orgánico muestran menor contenido de hidrocarburos que los orgánicamente ricos en material orgánico. En este sentido, los sedimentos analizados fueron arcilla-limosa (Tacarigua), limo-arcillosa (Unare) y arcilla-limosa (Píritu), los cuales tienen alto contenido orgánico con razones de carbono/nitrógeno de 26,5; 11,6 y 13,5 para Tacarigua, Unare y Píritu respectivamente (BONILLA y CEDEÑO, 1989). Esto indica que los hidrocarburos deberían estar asociados fuertemente a los sedimentos y que cualquier vestigio de contribución antropogénica debería ser observado en el análisis cromatográfico.

CONCLUSIONES

El monitoreo realizado en las lagunas Tacarigua, Unare y Píritu indicó que hidrocarburos antropogénicos están ingresando a estos sensibles ecosistemas lagunares y las vías de ingreso son de origen marítimo y continental, aún cuando la entrada de agua de mar está restringida.

La línea base establecida a partir de los actuales niveles de hidrocarburos, indican que la actividad del hombre ha sido relevante, y no queda eliminada la posibilidad de que la contaminación se haga suficientemente persistente para causar efectos a largo plazo en estos frágiles sistemas lagunares. En tal sentido, la capacidad ambiental se vería afectada por el riesgo de aceptabilidad de sustancias tóxicas que causarían efectos dañinos tanto en el agua como en los sedimentos y organismos marinos, debido principalmente a la poca renovación de las aguas de estos sistemas lagunares de forma semicerrada.

En este estudio preliminar, las aguas del sistema lagunar mostraron mayor deterioro que los sedimentos y la laguna de Tacarigua acusó mayor contaminación. Esto indica que el estado actual del deterioro es reciente y que una mayor vigilancia podría evitar una contaminación irreversible en los sedimentos de esas lagunas.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento al técnico Rafael García por su magnífica colaboración durante la realización del presente trabajo. A mi hija Annelys Cedeño Gómez por su gran colaboración. A las personas seleccionadas para la lectura crítica del manuscrito por su aporte científico.

REFERENCIAS

- BONILLA, J. & G. CEDEÑO 1989. Caracterización Orgánica del Bioecosistema Lagunar Tacarigua-Unare-Píritu. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente* 28 (1-12): 213-218.
- BLUMER, M. & L. SASS. 1972. The West Falmouth oil spill. II Chemistry. *Woods Hole Oceanography Institution, Tec. Rep.* 72-19-60 pp.
- BURNS, K. A., J. P. VILLENUEVE & V. C. ANDERLING. 1982. Survey of tar, hidrocarbons and metal pollution in the Coastal Waters of Oman. *Mar. Poll. Bull.* 13 (7) 240-274.
- CARIPOL., 1980. Manual para la vigilancia de la contaminación por petróleo. *Comisión Oceanográfica Intergubernamental. UNESCO.* 1-83.
- GAMBOA, B., A. GARCÍA., J. BENÍTEZ & T. OKUDA. 1971. Estudios de las condiciones hidrográficas y químicas de la Laguna de Tacarigua. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente.* 10 (2): 55-72.
- OKUDA, T., GARCÍA A. J. & J. BENÍTEZ. 1964. Variación Estacional de los elementos nutritivos de la Laguna de Unare. *Contribución al estudio de la Laguna de Unare. Inst. Oceanogr. UDO.* II. 162-180.
- OKUDA, T. 1968. Estudios comparativos de las condiciones hidrográficas de la Laguna de Unare y Tacarigua. *Laguna.* (17-18). 15-24.
- ROA, M. P. & A. BAY. 1981. Parámetros físicos químicos de la Laguna de Unare. (Abstr). *Simposiun Internacional de las Lagunas Costeras UNESCO, Bordaux, Francia.*
- ROA, M. P. 1987. Estudio comparativo de las Lagunas

Litorales del Centro Oriente de Venezuela. II Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar. Lima-Perú.

ROA, M. P. & G. COLOMINE. 1988. *Actualización de los conocimientos y formulación de estrategias de manejo de Lagunas Costeras para pesca y acuicultura en Venezuela*. INTECMAR. U.S.B. Punto C. Anexo II.

SNEADAKER, S. C & C. D. GETTER. 1985. Plantas para el manejo de los recursos. Serie de información sobre recursos renovables. *Publ. no 2. Park. Serv. U.S. Agency for int. Dev.* 54-66.

ZSOLANY, A. 1972. Differentiation between biogenic and petroleum hydrocarbon environmental samples. *Bermuda Biological Estation, St. Georges*. 1-15 Bermuda 6 pp.