

## BACTERIOLOGIA DEL SUR DEL GOLFO DE MEXICO Y AREA DEL CANAL DE YUCATAN

### BACTERIOLOGY OF THE SOUTHERN GULF OF MEXICO AND YUCATAN CHANNEL AREA

Por/By  
M. L. Lizarraga Partida  
J. Porras Aguirre  
F. B. Izquierdo Vicuña  
M. C. Rosano Hernández

LIZARRAGA-PARTIDA, M.L., *et al.*, Bacteriología del Sur del Golfo de México y área del Canal de Yucatán. *Bacteriology of the southern gulf of Mexico and Yucatan Channel area*. *Ciencias Marinas* 12(2): 21-34 (14)

#### RESUMEN

Las bacterias saprófitas e hidrocarbonoclasticas fueron cuantificadas en el agua superficial y en el sedimento de 88 estaciones oceanográficas en el Sur del Golfo de México y en el área del Canal de Yucatán.

La enumeración de bacterias saprófitas se presentó como un buen indicador del gasto de ríos y lagunas costeras, y la tasa de bacterias hidrocarbonoclasticas/saprófitas se manifestó igualmente como un buen indicador de impacto biológico del petróleo en áreas de aporte crónico, y probablemente como un indicador de zonas de surgencia, especialmente en sedimentos.

Se estableció igualmente, que la potencialidad de degradación del petróleo por las bacterias del agua de ríos y lagunas costeras, las posibilita para actuar como inóculo en áreas con aportes crónicos de petróleo.

#### ABSTRACT

Saprophytic and hydrocarbonoclastic bacteria were enumerated for surface water and sediment from 88 oceanographic stations in the Southern Gulf of Mexico and Yucatan Channel area.

Saprophytic bacteria enumerations were found to be a good indicator of run-off from rivers and coastal lagoons and the hydrocarbonoclastic/saprophytic ratio, a good indicator of petroleum biological impact in chronic input areas and probably an indicator of upwelling zones, especially in sediments.

It is also stated that in view of their oil degradation potentiality the bacteria from river and lagoon waters act as an inoculum in areas with chronic oil inputs.

#### INTRODUCCION

En el Sur del Golfo de México, se encuentran localizadas varios puertos de alto riesgo, plataformas de explotación petrolera e importantes pesquerías de peces y camarones. No obstante estos importantes

#### INTRODUCTION

The Southern Gulf of Mexico is the location of several high risk oil ports, offshore platforms, as well as an important fish and shrimp fisheries. Despite these important resources, research on physical, biological

recursos las investigaciones sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos son escasas, particularmente para la plataforma continental. Sin embargo, los datos disponibles nos permiten establecer que en el Sur del Golfo estos parámetros están condicionados principalmente por dos factores: las aguas de los ríos que drenan en el Golfo, y las masas de agua del Mar Caribe, que entran al Golfo a través del Canal de Yucatán (Atwood, 1976; Emilsson, 1976).

Las masas de agua del Caribe pueden ser consideradas como una fuente de nutrientes, pero también de contaminantes, ya que sabemos que la región del Golfo y Mar Caribe es un área donde están localizadas varias zonas de alto riesgo de derrames de petróleo así como áreas portuarias de alto riesgo (Rodríguez, 1981). Así, un accidente petrolero o el derrame crónico de contaminantes por los países que rodean el Caribe (Martin y Meybeck, 1976) afectarían el Golfo de México y especialmente las plataformas continentales de Yucatán, Florida y Cuba, que son áreas de grandes arrecifes y recursos pesqueros (Klima, 1976; Sánchez-Gil *et al.*, 1981).

El estudio del Sur del Golfo de México se ha realizado con un énfasis especial desde el accidente del Ixtoc-1 (Atwood, 1980). Se han publicado diversos artículos bacteriológicos acerca del papel de las bacterias hidrocarbonoclasticas sobre el intemperismo de hidrocarburos antropogénicos en el área (Atlas, 1981; Lizárraga-Partida *et al.*, 1982; Lizárraga-Partida *et al.*, 1983), pero no se ha establecido en la región un programa de monitoreo como el que se realiza en el Mar del Norte (Dicks, 1982).

Este estudio se realizó para establecer una línea base bacteriológica para el área, para así poder evaluar el impacto que los aportes crónicos de petróleo en la región del Caribe tiene sobre las plataformas continentales del Golfo de México y del Mar Caribe.

El estudio es parte del proyecto oceanológico del Sur del Golfo de México (PROGMEX), realizado por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y se llevó a cabo a bordo del B/O

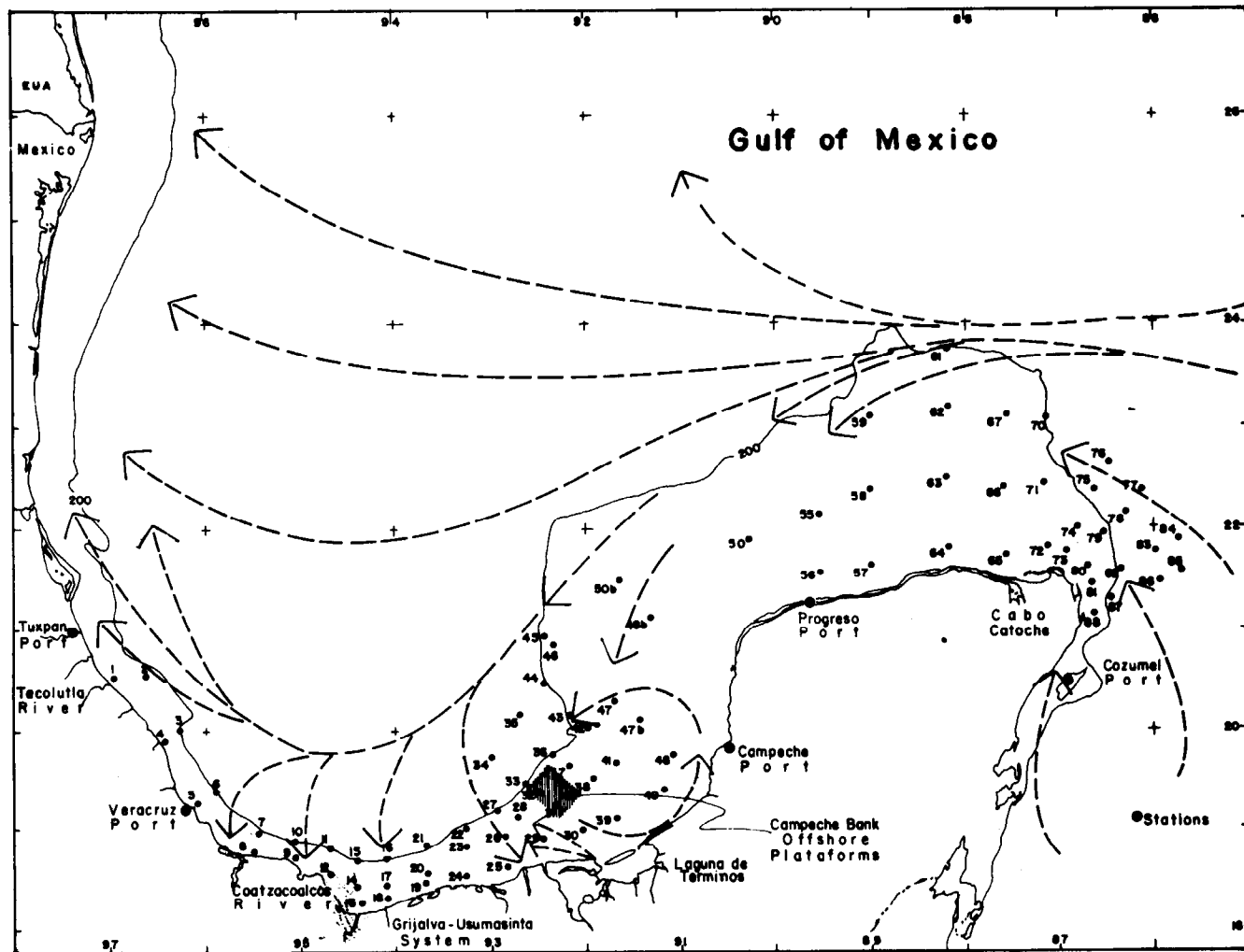
cal and chemical parameters is scarce, particularly for the continental shelf. Nevertheless, the available data let us see that in the Southern Gulf these parameters are conditioned mainly by two factors: the waters of rivers draining into the gulf, and the water masses of the Caribbean Sea, which enter the Gulf through the Yucatan Channel (Atwood, 1976; Emilsson, 1976).

The Caribbean water masses may be considered as carriers of nutrients but also as carriers of pollutants; since we know that the wider Caribbean region (Gulf and Caribbean Sea) is an area where several high risk oil spill zones as well as high risk port areas are located (Rodríguez, 1981). So, an oil accident or the chronic input of pollutants by the countries which surround the wider Caribbean (Martin and Meybeck, 1976) would affect the Gulf of Mexico and specially the Yucatan, Florida and Cuba continental shelves, areas with large reefs and fisheries resources (Klima, 1976; Sánchez-Gil *et al.*, 1981).

The study of the Southern Gulf of Mexico, has been conducted with special emphasis since the Ixtoc-1 blowout (Atwood, 1980). Bacteriological papers on the area have been published concerning the role of the hydrocarbonoclastic bacteria upon the weathering of the anthropogenic hydrocarbons (Atlas, 1981; Lizárraga-Partida *et al.*, 1982; Lizárraga-Partida *et al.*, 1983), but no monitoring program such as those performed in the North Sea (Dicks, 1982), has been established in this region.

This study has been conducted to establish a bacteriological base-line for the area, in order to be able to evaluate the impact of the chronic oil input in the wider Caribbean region, upon the Mexican Gulf and the Caribbean Continental shelves.

The study was part of the Southern Gulf of Mexico oceanologic project (PROGMEX), conducted by the Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), on the B/O "Justo Sierra", from march 29 to april 19, 1983. In this cruise, 88 oceanographic stations were established (Fig. 1); different



Lisarraga et al.

FIG. 1. Distribución de estaciones y circulación superficial inferida en el crucero PROGMEX 1.03.83. y datos de Leipper (1954) para abril-marzo  
 Station distribution and inferred surface circulation based on PROGMEX 1.03.83 cruise and Leipper (1954) data, for april-march.

"Justo Sierra", del 29 de marzo al 19 de abril de 1983. En este crucero, se establecieron 88 estaciones oceanográficas (Fig. 1); se obtuvieron diferentes datos físicos, químicos y biológicos; la información resultante será publicada en otra parte (colección de reportes de crucero del I.C.M.L.). Este artículo trata de la investigación bacteriológica realizada en este crucero (PROGMEX 1.03.83), que fue enfocada hacia las bacterias saprófitas, especialmente aquellas que degradan el petróleo.

### MATERIAL Y METODOS

Se tomaron muestras de agua de 1 m de profundidad y de sedimento con botellas especiales de 2 l. de capacidad y una draga Smith-McIntyre respectivamente. Se hicieron diluciones decimales seriadas en tubos con agua de mar artificial (Lyman y Fleming, 1940). De estas diluciones se inocularon en cajas de Petri y botellas de 25 ml con tapón de rosca (para análisis de NMP), inmediatamente después del muestreo y en condiciones estériles. Las bacterias saprófitas fueron enumeradas con el método de siembra en placa sobre medio ZoBell 2216 E (Oppenheimer y ZoBell, 1952), después de 4 días de incubación. La técnica del número más probable con series de 5 tubos descrita por Mills *et al.* (1978) se usó para determinar cuantitativamente las bacterias hidrocarbonoclasticas; los resultados fueron registrados 2 meses después de la inoculación. La temperatura de incubación fue de 28 °C en ambos métodos.

Se realizaron conteos directos de acuerdo al procedimiento de Hobbie *et al.*, 1970; usando filtros nucleopore de 0.2  $\mu$  de tamaño de poro teñidos con negro de Irgalan al 2% y una solución al 0.1% de naranja de acridina para teñir las bacterias.

Para el estudio morfofisiológico, se aislaron 60 cepas de cada estación en medio ZoBell (agua y sedimento). Un total de 1109 cepas fueron estudiadas, registrándose 14 caracteres diferentes (Tabla I).

### RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados morfofisiológicos de la Tabla I muestran que no hay grandes dife-

physical, chemical and biological data were obtained; the resulting information will be published elsewhere (I.C.M.L. cruises collected reports). This paper is concerned with the bacteriological research done on this cruise (PROGMEX 1.03.83), which was focused upon the saprophytic bacteria, specially those concerned with oil degradation.

### MATERIALS AND METHODS

Water from a depth of 1 m and sediment samples were collected with special 2 L sterile bottles and a Smith McIntyre grab, respectively. Ten-fold dilution series were made in flasks containing artificial sea water (Lyman and Fleming 1940). From these dilution flasks, petri plates and 25 ml screw cap bottles (for MPN analysis) were inoculated on board, immediately after the sampling and in special sterile conditions. The saprophytic bacteria were enumerated with the spread plate method in ZoBell 2216 E (Oppenheimer and ZoBell, 1952), after 4 days of incubation. The most probable number technique described by Mills *et al.* (1978) in 5-tube series was used for quantitative determinations of hydrocarbonoclastic bacteria; results were recorded 2 months after inoculation. The incubation temperature was 28 °C for both methods.

Direct counts were performed according to the procedure of Hobbie *et al.*, 1970; nucleopore filters of 0.2  $\mu$  pore size were dyed with 2% Irgalan black and a 0.1% acridine orange solution was used to stain the bacteria.

For the morpho-physiological study, 60 strains were isolated on ZoBell medium at each station for water and sediment habitats. A total of 1109 strains were studied, recording 14 different characters (Table I).

### RESULTS AND DISCUSSION

The morpho-physiological results of table I show that there are not great differences between the water and the sediment habitats. In both we found a dominance of translucent colonies of bacille, Gram positive, sporeforming bacteria. If this is the normal community reported for sediments, for sur-

TABLE I. Resultados morfofisiológicos (porcentaje) de las cepas aisladas de PROGME X 1.03.83.  
TABLE I. Percentages of morphophysiological results of the isolates from PROGME X 1.03.83.

HABITAT	NUM. STRAINS	PIGMENTS			CELL FORM			SPOROFORMING BACTERIA	CELLULAR ARRANGEMENT			GRAM		CATALASE	OXIDASE
		TRANSLUCID	ORANGE RED	GREEN YELLOW	RODS	COCCI	PLEOMORPHIC		1 - 2 CELLS	CHAINS	BUNCHES	POSITIVE (+)	NEGATIVE (-)		
WAT.	430	89	5	6	91	1	8	68	90	9	1	66	34	92	76
SED.	679	83	11	4	96	0	4	69	88	12	0	87	13	94	74
TOT.	1109	88	8	4	24	1	5	69	89	10	1	77	23	93	75

rencias entre el agua y el sedimento. En ambos encontramos una dominancia de colonias translúcidas en bacilos esporulados Gram positivos. Esta es la comunidad normal descrita para los sedimentos, pero para el agua superficial difiere de la población de bacilos Gram negativos descrita por diferentes autores para las aguas marinas (Leifson *et al.*, 1964; Rheinheimer, 1971).

La presencia de colonias pigmentadas fue considerable (12%), así como la de formas celulares pleomórficas, pero las formas cocoides estuvieron casi ausentes; 93% de la población presentó catalasa y 75% tenía la enzima oxidasa. No se encontró ninguna diferencia entre las zonas este y oeste del área estudiada, ni entre el agua y el sedimento, con el número y tipo de pruebas empleadas.

Los resultados del estudio cuantitativo se presentan en la Tabla 2. En agua superficial, las mayores concentraciones de bacterias saprófitas se encuentran en la Boca del Río Coatzacoalcos ( $10^4$ ), frente a Cabo Catoche ( $10^3$ ) y en la estación 70. Sin embargo, la mayoría de las estaciones muestran una concentración de  $10^2$  U.F.C. por milímetro. Uniendo estas estaciones ( $10^2$ ), delimitamos 2 áreas (Fig. 2): el área oriental, desde el Canal de Yucatán hasta Puerto Progreso, y el área central asociada frente al sistema Grijalva-Usumacinta.

En las estaciones más influenciadas por aguas oceánicas se encontraron muestras de

face water it differs from the Gram negative rods population reported by different authors for marine waters (Leifson *et al.*, 1964; Rheinheimer, 1971).

The presence of pigmented colonies was considerable (12%), as well as the pleomorphic cell forms, but the coccus forms were almost absent; 93% of the population present a catalase, and 75% an oxidase enzyme. We didn't find any difference between the west and the east zones of the studied area, neither in water nor in sediments, with the number and kind of tests employed.

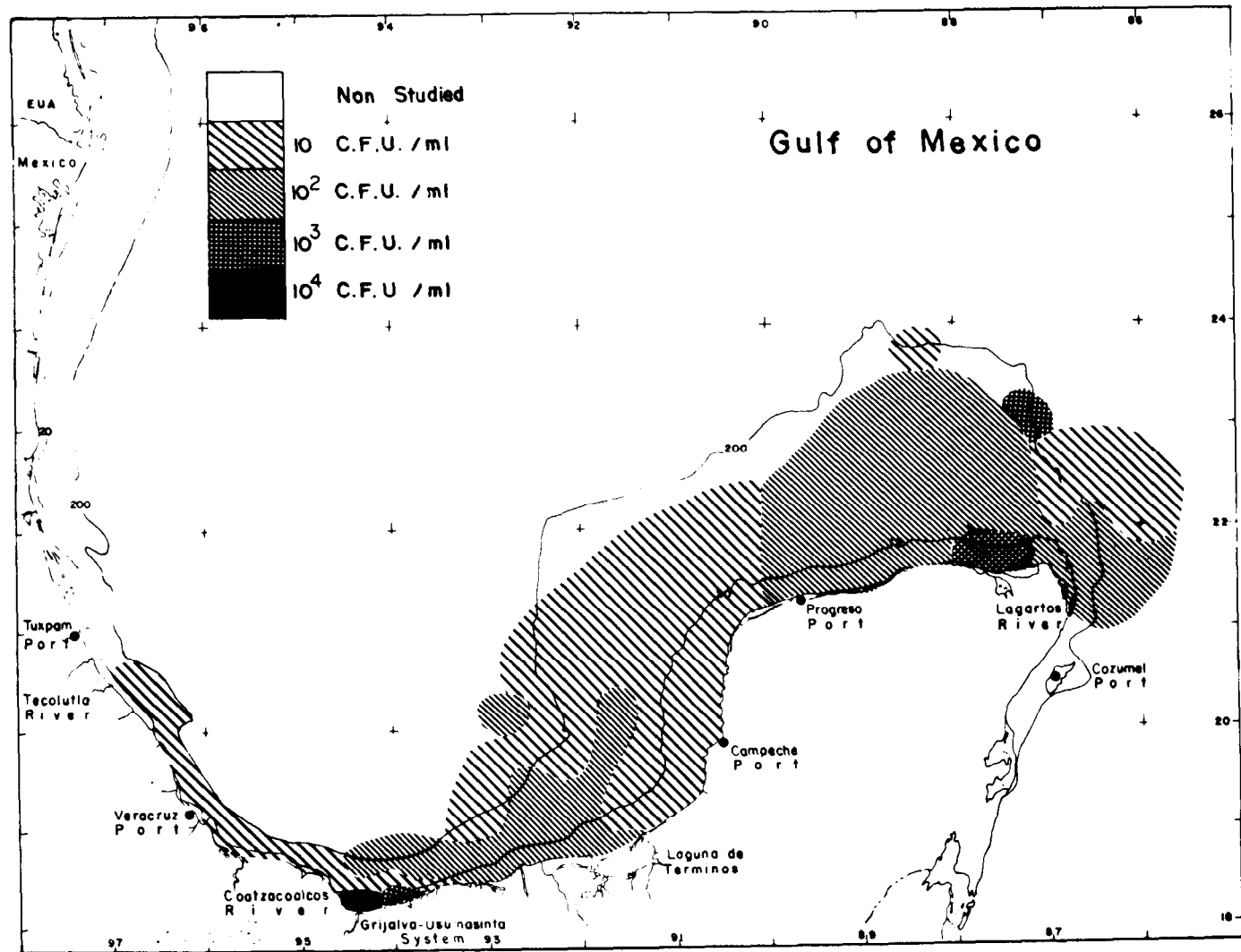
The results of the quantitative study are reported in table 2. In surface water, the highest concentrations of saprophytic bacteria are found at the Coatzacoalcos river mouth ( $10^4$ ), offshore Cabo Catoche ( $10^3$ ) and station 70. Nevertheless, most of the stations show a concentration of  $10^2$  C.F.U. per milliliter. Joining these stations ( $10^2$ ), we delimited two areas (Fig. 2): the east area, from the Yucatan Channel to the port of Progreso. The other area, defined as the central area, is located offshore of the Grijalva-Usumacinta river system.

Surface water samples with a concentration of 10 C.F.U. per milliliter were found at the stations most influenced by oceanic waters; but, from the Progreso port to the East of Laguna de Terminos and from Coatzacoalcos to the Tecolutla river, this is the

BACTERIOLOGIA DEL SUR DEL GOLFO DE MEXICO Y AREA DEL CANAL DE YUCATAN

TABLA II. Resultados cuantitativos de PROGME X I.03.83. + U.F.C. ml<sup>-1</sup> • U.F.C. g<sup>-1</sup>  
Quantitative results of PROGME X I.03.83 + C.F.U. ml<sup>-1</sup> • C.F.U. g<sup>-1</sup>

STAT	SAPROPHYTES		HYDROCARBONO		HYDROC		SAPRO %	DIRECT COUNTS
	WATER +	SEDIMENT*	WATER +	SEDIM.*	WATER +	SEDIM.*		
1	10	900,000	-	290	-	0.03	31,384	
2	10	138,000	-	-	-	-	78,967	
3	10	-	-	-	-	-	78,967	
4	50	-	-	-	-	-	30,372	
5	200	670,000	17.0	1,700	2.5	0.25	170,083	
6	-	540,000	2	45	-	0.01	54,670	
7	20	-	0.4	-	2.0	-	364,464	
8	15	-	1.1	-	7.3	-	289,546	
9	30	-	0.1	-	0.3	-	121,488	
10	20	-	0.4	-	2.0	-	76,942	
11	10	132,000	0.4	31	4.0	0.02	-	
12	10	540,000	0.4	130	4.0	0.02	89,091	
13	70,000	6,170,000	160	1,600	-	-	259,174	
14	60	30,372	1.7	1,600	2.8	5.33	30,372	
15	580	120,000	3.3	23	0.6	0.02	202,480	
16	240	112,000	1.3	33	0.5	0.03	811,945	
17	40	14,900	1.3	40	3.3	0.27	26,322	
18	100	134,000	13.0	1,600	13.0	1.19	2,024,800	
19	90	84,000	3.1	1,600	3.4	1.90	204,505	
20	180	11,400	1.7	1,600	0.9	14.3	279,422	
21	100	97,000	7.9	79.0	7.9	0.08	1,240,271	
22	50	52,000	0.4	17.0	0.8	0.03	1,740,761	
23	640	13,000	7.9	180.0	1.2	1.38	1,990,540	
24	350	171,000	2.6	32.0	0.7	0.02	865,237	
25	280	170,000	13.0	17.0	4.6	0.01	939,750	
26	250	270,000	7.0	47.0	2.8	0.02	1,004,300	
27	20	31,000	1.3	2.0	6.5	0.00	841,984	
28	110	126,000	1.1	79.0	1.0	0.06	2,948,109	
29	190	138,000	2.3	8.1	1.2	0.00	2,705,133	
30	310	76,000	0.8	17.0	0.3	0.02	866,614	
31	120	52,000	13.0	36.0	10.8	0.07	1,113,640	
32	380	16,600	14.0	95.0	3.7	0.57	157,934	
33	110	8,400	11.0	7.8	10.0	0.09	121,488	
34	20	-	2.8	-	14.0	-	287,522	
35	270	-	3.3	-	1.2	-	58,719	
36	30	42,000	3.3	350.0	11.0	0.83	358,390	
37	90	36,000	12.0	920.0	13.3	2.55	390,786	
38	330	217,000	2.7	180.0	0.8	0.8	340,166	
39	90	90,000	9.5	24.0	10.5	0.03	366,489	
40	60	61,000	1.2	12.0	2.0	0.02	681,345	
41	170	7,300	2.6	17.0	1.5	0.23	1,320,170	
42	90	8,300	7.9	13.0	8.8	0.16	4,405,965	
43	30	12,800	2.3	0.0	7.7	0.00	135,662	
44	70	9,000	2.3	2.0	3.3	0.02	916,222	
45	20	-	2.3	-	11.5	-	240,951	
46	60	44,000	1.1	33	1.8	0.08	261,199	
47	140	58,000	3.3	210	2.4	0.36	354,340	
48	20	22,000	0.8	920	4.0	4.18	110,352	
48B	80	85,000	0.6	350	0.8	0.41	420,146	
50	-	41,000	1.7	49	-	0.12	2,717,282	
50B	70	5,000	4.9	14	7.0	0.28	540,622	
55	540	-	0.0	-	0.0	-	1,976,205	
56	170	-	6.4	-	3.8	-	6,592,749	
57	300	-	2.1	-	0.7	-	2,607,942	
58	110	1,000	2.3	130	2.1	13.0	5,345,472	
59	140	3,700	13.0	4.5	9.3	0.12	4,989,107	
61	40	-	1.7	-	4.3	-	2,935,960	
62	190	3,400	3.3	4.0	1.7	0.11	1,773,725	
63	240	17,000	2.2	33	0.9	0.19	2,057,197	
64	200	-	11.0	-	5.5	-	1,591,493	
65	1,150	31,000	4.5	1,600	0.4	5.16	3,004,803	
66	120	39,000	160.0	430	100.0	1.10	765,374	
67	270	6,500	43.0	1,600	15.9	24.6	157,934	
70	3,700	-	43.0	-	1.2	-	1,822,320	
71	50	32,000	160.0	430	100.0	1.34	49,608	
72	130	98,000	160.0	1,600	100.0	1.63	124,525	
73	100	-	0.8	-	0.8	-	118,451	
74	30	280,000	1.7	1,600	5.7	0.57	160,972	
75	10	-	3.2	-	32.0	-	190,331	
76	20	-	2.6	-	13.0	-	280,435	
77	10	-	1.7	-	17.0	-	290,550	
78	30	-	6.2	-	20.7	-	126,550	
79	100	3,200	4.4	280	4.4	8.8	259,174	
80	100	-	3.3	-	3.3	-	214,629	
81	170	-	4.9	-	2.9	-	182,232	
82	300	-	9.5	-	3.2	-	80,992	
83	60	-	2.1	-	3.5	-	307,770	
84	90	-	17.0	-	18.9	-	175,145	
85	320	-	28.0	-	8.8	-	117,438	
86	260	-	2.7	-	1.0	-	202,480	
87	400	-	4.6	-	1.2	-	133,637	
88	460	-	22.0	-	4.8	-	463,866	



Lizarraga et al.

FIG. 2. Distribución de bacterias saprófitas en aguas superficiales.  
Distribution of saprophytic bacteria in surface water.

de agua superficial con una concentración de 10 U.F.C. por mililitro; pero, desde Puerto Progreso hasta el este de Laguna de Términos y desde Coatzacoalcos hasta el Río Tecolutla, esta es la concentración encontrada desde las estaciones costeras hasta las de alta mar.

Las cuentas directas fluctuaron entre  $10^4$  y  $10^5$  bacterias por mililitro de agua superficial; las mayores concentraciones se localizaron, en su mayoría, sobre la Plataforma Continental de Yucatán (Fig. 3).

En los sedimentos, la concentración de bacterias saprófitas fluctuó entre  $10^3$  y  $10^6$  U.F.C. por gramo de sedimento húmedo. Las mayores concentraciones se encontraron en áreas influidas por ríos o aguas de surgencias (Fig. 4).

En general, la distribución de bacterias totales y bacterias saprófitas, en aguas superficiales y sedimentos, sigue el mismo esquema: en el área del Canal de Yucatán se encuentran bajas concentraciones, luego sobre la plataforma de Yucatán encontramos valores máximos hasta Puerto Progreso; desde Campeche hasta Coatzacoalcos, hay menores concentraciones que para la plataforma de Yucatán, pero se nota claramente la influencia de los ríos a través de las altas numeraciones.

La plataforma continental desde Coatzacoalcos al río Tecolutla, es para nosotros muy interesante: ahí encontramos altas concentraciones de bacterias saprófitas en los sedimentos ( $10^5$ ) y bajas concentraciones en agua superficial ( $10$ ). Creemos que las menores concentraciones del agua se deben al gasto de los ríos, relativamente bajo en la época de muestreo por ser temporada de secas, pero que las grandes concentraciones en los sedimentos es un reflejo de los altos valores de materia orgánica en esta área, donde se han reportado los máximos valores de clorofila "a" para el Golfo (El-Sayed *et al.*, 1972), y existen importantes pesquerías de camarón (Hildebrand, 1954).

La influencia de los sistemas lagunares y fluviales sobre la Plataforma Continental del Sur del Golfo es particularmente impor-

concentration found from coastal to offshore stations.

The direct counts fluctuated between  $10^4$  to  $10^6$  bacteria per milliliter of surface water; the highest concentrations were mostly located over the Yucatan continental shelf (Fig. 3).

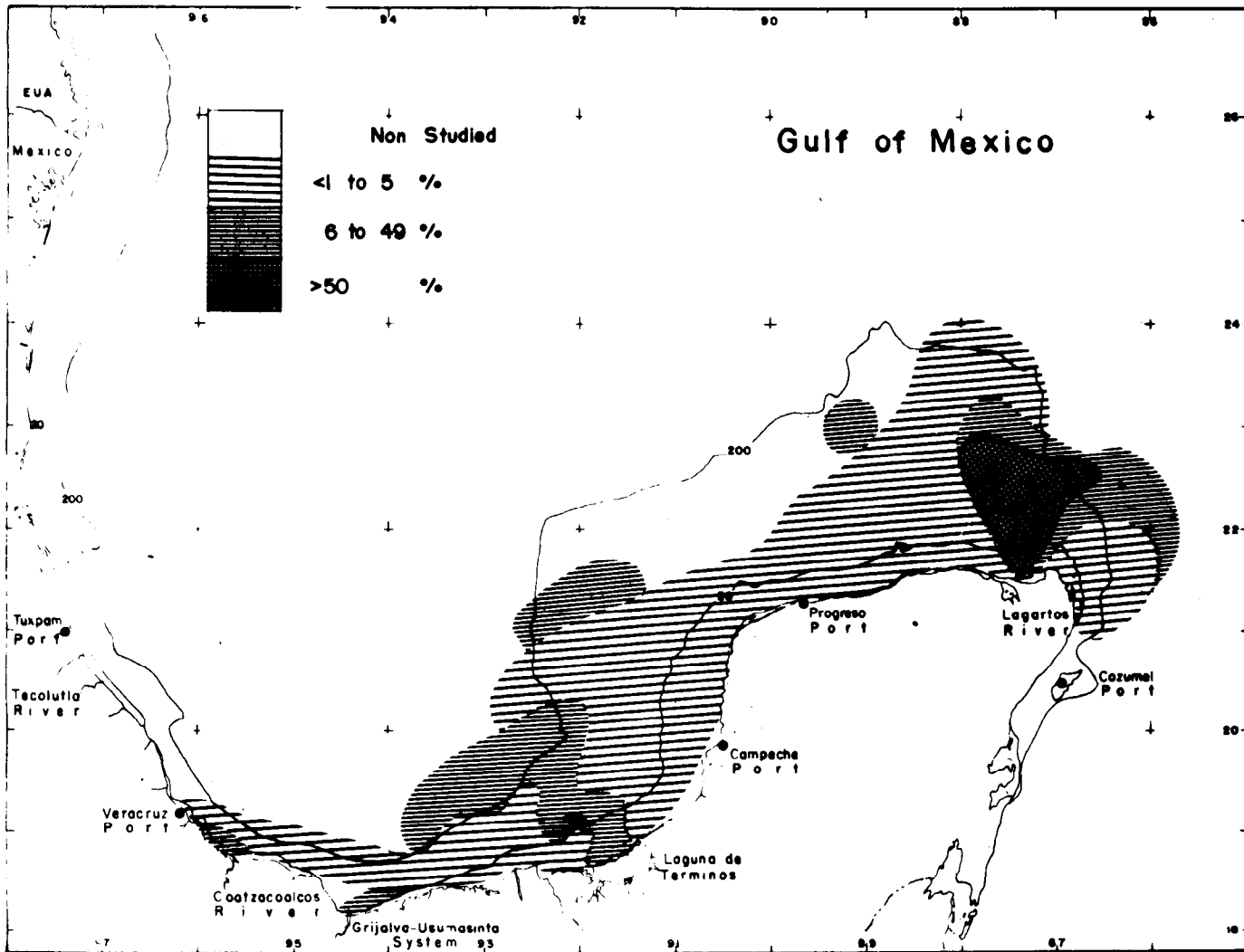
In sediments, the concentration of saprophytic bacteria fluctuated between  $10^3$  and  $10^6$  C.F.U. per gram of wet sediment. The highest concentrations were found in areas influenced by rivers or upwelling waters, (Fig. 4).

In general, the distribution of total bacteria and saprophytic bacteria, in surface waters and in sediments, follows the same scheme: in the Yucatan Channel area we found low concentrations, then over the Yucatan shelf we found the maximum values up to Progreso port; from Campeche to Coatzacoalcos, we found lower concentrations than for the Yucatan shelf, but the influence of the river waters were clearly noted through the high enumerations.

The continental shelf, from Coatzacoalcos to Tecolutla river, seems very interesting to us; there we found high concentrations of saprophytic bacteria in sediments ( $10^5$ ) and low concentrations in the surface water ( $10$ ). We think that the lower concentrations in water were due to the low river flow at sampling time (dry season), but that the high concentration in the sediments is a reflection of the high values of organic matter in this area, where the maximal Gulf values of chlorophyll "a" have been reported (El-Sayed *et al.*, 1972), and important shrimp fisheries exist (Hildebrand, 1954).

The influence of lagoon and river systems upon the continental shelf of the Southern Gulf is particularly important in the Campeche oil platforms area, which is subject to chronic oil inputs and where the river and lagoon waters act as a natural inoculum of hydrocarbonoclastic bacteria as well as a source of nutrients, two important factors in the weathering of crude oil. Physiological studies performed upon Laguna de Términos bacterial strains (Lizárraga-Partida and Corballo-Cruz, in preparation) indicate that 95% are euryhalines and that 16% of them have the potential of hydrocar-





Lisarraga et al.

FIG. 3. Distribución de bacterias totales en aguas superficiales.  
 Distribution of total bacteria in surface water.

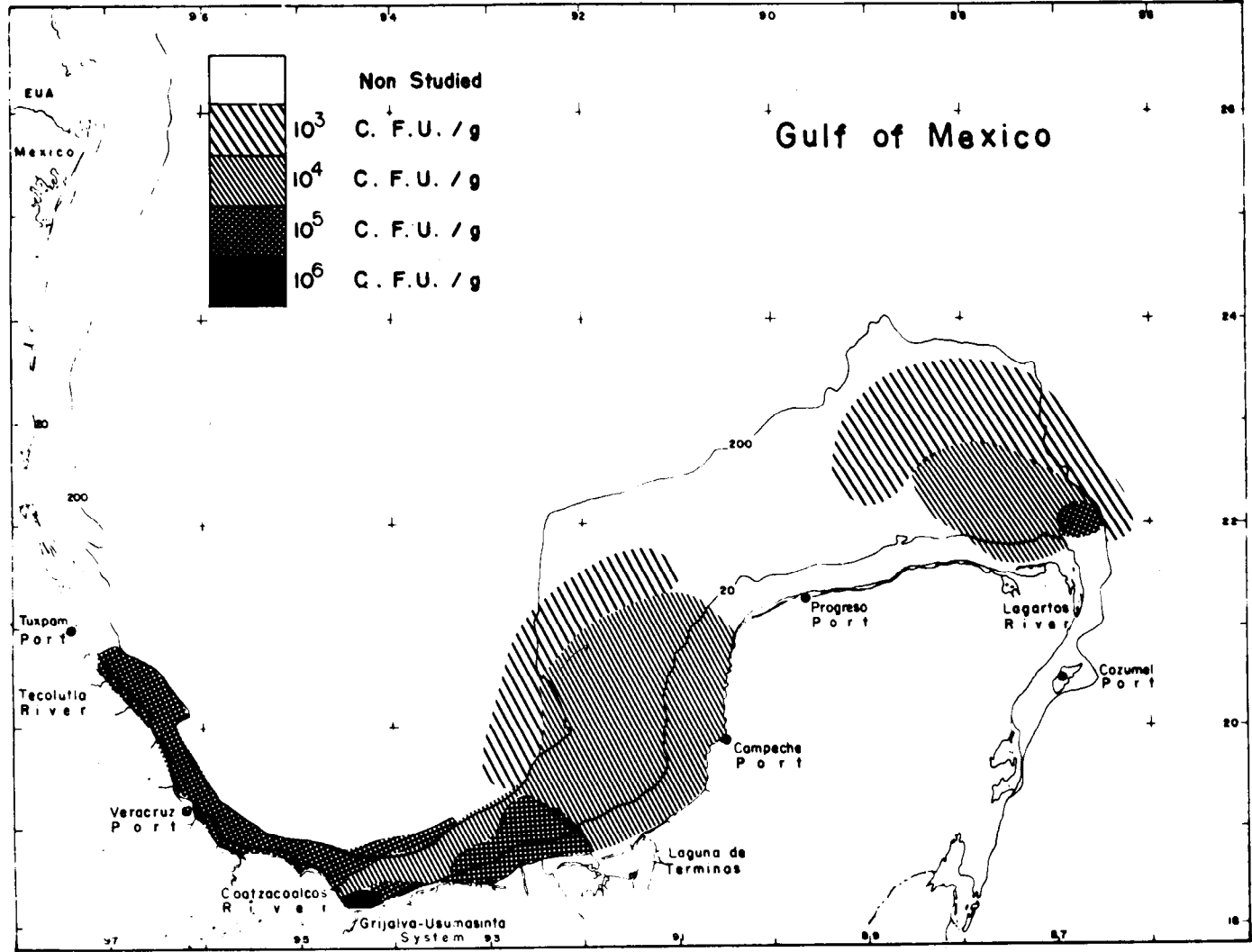


FIG. 4. Distribución de bacterias saprófitas en sedimento.  
Distribution of saprophytic bacteria in sediments.

tante en el área plataformas petroleras de Campeche, por estar sujeta a aportes crónicos de petróleo y ser donde las aguas de ríos y lagunas actúan como inóculo natural de bacterias hidrocarbonoclasticas y como fuente de nutrientes, dos factores importantes para el intemperismo del petróleo crudo. Estudios fisiológicos realizados sobre cepas bacterianas de la Laguna de Términos (Lizárraga-Partida y Carballo-Cruz, en preparación) indican que el 95% son eurihalinas y que el 16% de ellas son potencialmente degradadoras de petróleo. El mismo tipo de estudios, pero realizado en el área de plataformas (Izquierdo-Vicuña y Lizárraga-Partida, en preparación) indica también, que el 96% de las bacterias hidrocarbonoclasticas son eurihalinas; estas observaciones son importantes en vista de los resultados de Tagger *et al.* (1983), quienes establecieron que un cultivo mixto de cepas adaptadas en el laboratorio para degradar petróleo, desaparecieron cuatro días después de la inoculación, mientras que las bacterias autóctonas se volvieron dominantes y mostraron una buena capacidad de adaptación a la degradación del petróleo.

La relación de bacterias hidrocarbonoclasticas/saprófitas que, como lo hacen otros autores (Hood *et al.*, 1975; Oppenheimer *et al.*, 1980), consideramos un índice de contaminación por petróleo, muestra su mayor valor al sudeste de la Plataforma Continental de Yucatán (Fig. 5); otros valores elevados se presentaron alrededor de las plataformas marinas de Campeche, confirmando que esta zona es una fuente importante de hidrocarburos antropogénicos, como se informó previamente (Lizárraga-Partida, 1983).

Myers y Gunnerson (1976) describen niveles de hidrocarburos disueltos de 11 a 25 ppb en el área del Canal de Yucatán y más recientemente, en 1983 Botello (comunicación personal) encontró niveles de entre 23 y 46 ppb. Estas concentraciones de hidrocarburos junto con los datos bacteriológicos, indican que las aguas superficiales de la corriente del Caribe deben considerarse como una fuente importante de hidrocarburos para el Golfo de México; aun más importante que las plataformas petroleras de la Sonda de Campeche.

bon degradation; the same type of studies, but performed in the platform area (Izquierdo-Vicuña and Lizárraga-Partida, in preparation) indicate as well, that 96% of the hydrocarbonoclastic bacteria are euryhaline; these observations are important in view of the results of Tagger *et al.* (1983), who established that a mixed culture of strains adapted in laboratory for petroleum degradation, disappeared four days after inoculation, while the autochthonous bacteria became dominant and showed capacity of adaptation to petroleum degradation.

The ratio hydrocarbonoclastic/saprophytic bacteria that we consider to be an indication of oil impact, as do other authors (Hood, *et al.* 1975; Oppenheimer *et al.*, 1980), shows its great value in the south-east of the Yucatan continental shelf (Fig. 5); other high ratio values were found around the Campeche offshore platforms, confirming that this area is an important source of antropogenic hydrocarbons, as previously reported (Lizárraga-Partida, 1983).

Myers and Gunnerson (1976) report dissolved hydrocarbon levels in the Yucatan Channel area of 11 to 25 ppb and more recently, in 1983 Botello (personal communication) found levels between 23 to 46 ppb. Those hydrocarbon concentrations together with the bacteriological data, indicate that the surface waters of the Caribbean current must be considered as an important source of hydrocarbons for the Gulf of Mexico; even higher than the oil platforms of the Campeche Bank.

Nevertheless, it is important to notice that in the South-East of the Yucatan continental shelf, the Caribbean current strikes against the continental shelf, impacting the area with the hydrocarbons carried from the Caribbean Sea and with the nutrients carried to the surface by dynamic upwellings, which are translated into localized points of high primary productivity (Bogdanov *et al.*, 1968). The high ratios in the area may be a consequence of the combination of both factors and not only a results of the hydrocarbon pollution. Oppenheimer (personal communication), estimated the oil produced in the Gulf each year, by normal photosynthesis at

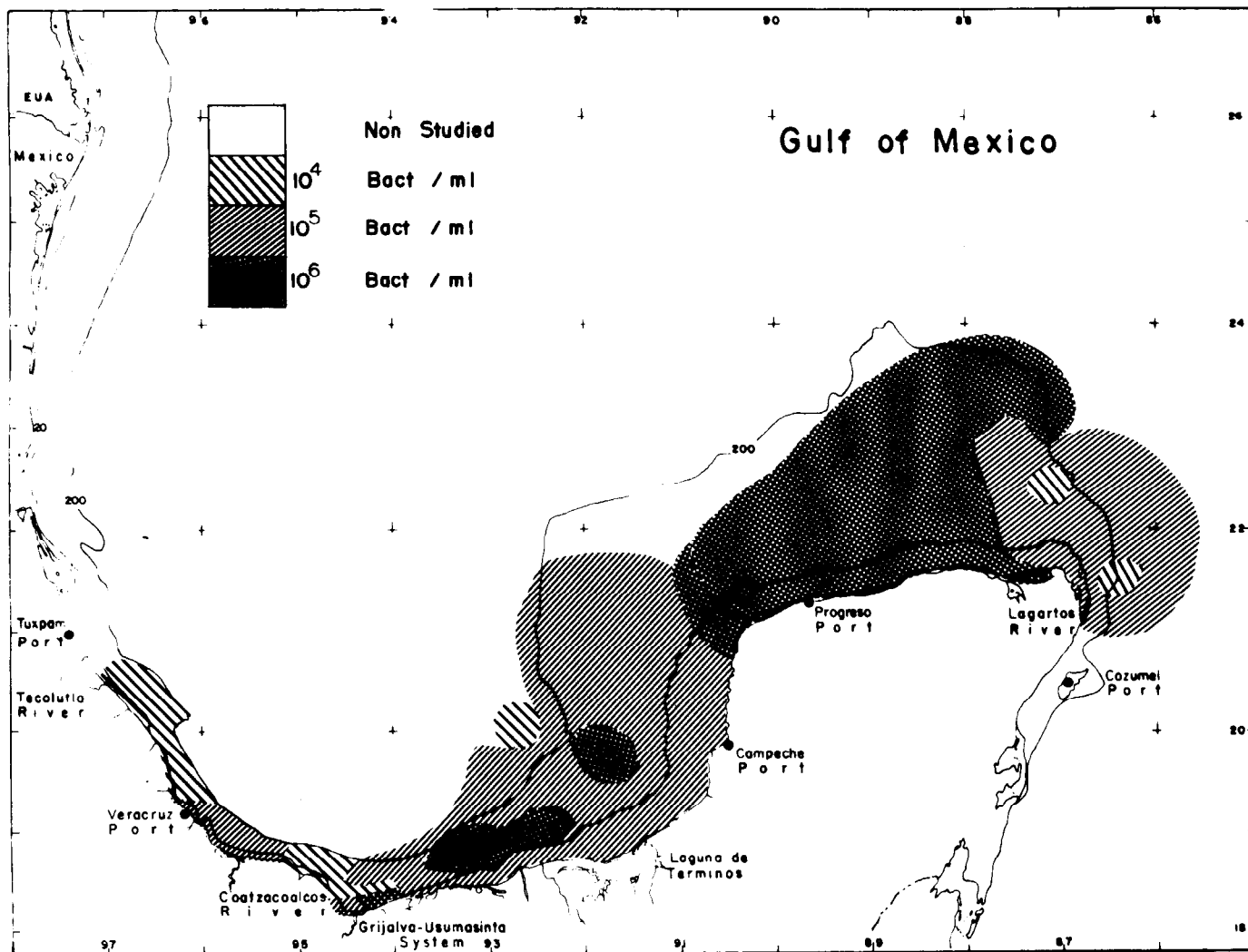


FIG. 5. Tasa hidrocarbonoclastica/saprófitas en aguas superficiales.  
Hydrocarbonoclastic/saprophytic ratios in surface water.

Sin embargo, es importante notar que en el sureste de la Plataforma Continental de Yucatán, la corriente del Caribe choca contra la Plataforma Continental, impactando el área con los hidrocarburos traídos del Mar Caribe y con los nutrientes llevados a la superficie por surgencias dinámicas, lo que se traduce en puntos localizados de gran productividad primaria (Bogdanov *et al.*, 1968). Los grandes valores del índice en la zona pueden deberse a la combinación de ambos factores y no sólo al resultado de la contaminación por hidrocarburos. Oppenheimer (comunicación personal), estimó la producción de hidrocarburos en el Golfo cada año, por fotosíntesis normal a 10 ppm, en  $1 \times 10^6$  barriles, y Zsolnay (1973) probó que existe una correlación significativa entre la clorofila "a" y las concentraciones de hidrocarburos en la región de surgencias de África Occidental, todo lo cual sugiere que la relación de bacterias hidrocarbonoclasticas/saprófitas pueden ser una indicación de zonas de alta productividad primaria, particularmente en los sedimentos, un hábitat que a menudo ha sido usado como trazador de los fenómenos biológicos que ocurren en las masas de agua.

Deben realizarse estudios interdisciplinarios en esta zona de gran productividad para poder entender el destino y efectos de los hidrocarburos sobre la vida marina. Con respecto a esto, el primer efecto biológico en lo que se refiere a esta área del Golfo de México es la dominancia de bacterias hidrocarbonoclasticas sobre el grupo de saprófitas, tal como se ha expuesto.

#### AGRADECIMIENTOS

Apreciamos sinceramente la asistencia técnica de la M. en C. I. Wong-Chang, M. en C. M. J. Ferrara y Pas. Biol. C. Pérez-Coria, así como al Fís. Eduardo Sainz. La tripulación del B/O "Justo Sierra" merece una palabra especial de aprecio por su amistosa solidaridad. Este trabajo fue realizado con los auspicios del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. PCMADEU/005779.

I.C.M. y L. Contribución N° 368.

10 ppm, to be of  $1 \times 10^6$  barrels, and Zsolnay (1973) proved that a significant correlation exists between the chlorophyll "a" and the hydrocarbon concentrations in the upwelling region off West Africa, all of which suggest that the hydrocarbonoclastic/saprophytic ratio may be an indication of high primary productivity zones, particularly in sediments; a habitat often used as a tracer of biological phenomena carried out in the water masses.

Interdisciplinary studies must be performed in this high productivity area in order to understand the fate and effects of hydrocarbons upon the marine life. With regard to this, the first biological effect concerning this area of the Gulf of Mexico is the dominance of hydrocarbonoclastic bacteria over the saprophytic group, reported here.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The technical assistance of Ms. I. Wong-Chang, Ms. M.J. Ferrara, Ms. Pérez-Coria and Phys. Eduardo Sainz is sincerely appreciated. The crew of B/O "Justo Sierra" deserve a special word of appreciation for their friendly solidarity. This work was supported by a grant of the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. PCMADEU/005779.

ICM y L Contribution N° 368.

#### LITERATURE CITED

- ATLAS, R.M.: Fate of oil from two major oil spills: role of microbial degradation in removing oil from the Amoco-Cadiz and Ixtoc 1 spills. *Environ. Inter.* 5, 33-38 (1981).
- ATWOOD, D.K.: La oceanografía regional con respecto a los problemas actuales y futuros de la contaminación de los recursos vivos Caribe. 36pp. IOC/FAO/UNEP/IWMPCAR/8, 1976.
- ATWOOD, D.K. (Ed.): Proceedings of a Symposium on "Preliminary results from the September 1979 Researcher/Pierce Ixtoc 1 cruise, 591 pp. Key Biscayne, Florida, NOAA 1980.
- BOGDANOV, D.V., V. Sokolor y N.S. Khromov: Regions of high biological productivity in the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea. *Oceanology* 8, 371-381 (1968).
- DICKS, B.: Monitoring the biological effects of North Sea platforms. *Mar. Poll. Bull.* 13, 221-227 (1982).
- EL SAYED, S., W.M. Sackett, L.M. Jeffrey, A. Frederiks, R.P. Saunders, P.S. Conger, G.A. Fryxell, K.A. Steidinger y S.A. Earle. (1972) Chemistry, primary productivity, and benthic algae of the Gulf of Mexico. *Am. Geogr. Soc. Ser. Mar. Env.* 22, 1-29 (1972).
- EMILSSON, I.: Regional Oceanography as it relates to present and future pollution problems and living resources: Gulf of Mexico, 23 pp. IOC/FAO/UNEP/IWMPCAR/9, 1976.

- HILDEBRAND, H.H.: A study of the fauna of the brown shrimp (*Penaeus aztecus*, Ives) grounds in the western Gulf of Mexico. Pub. Inst. Mar. Sci. Univ. Texas 3, 229-336 (1954).
- HOBBIE, J.E., R.J. Daley and S. Jasper: Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *App. Environ. Microbiol.* 33, 1225-1228 (1977).
- HOOD, M.A., W.S. Bishop, Jr., F.W. Bishop, S.P. Meyers, and T. Whelan III: Microbial indicators of oil-rich salt marsh sediments. *App. Microbiol.* 30, 982-987 (1975).
- KLIMA, E.F.: An assessment of the fish stocks and fisheries of the Campeche Bank. CICAR II. Symposium Progress in Marine Research in the Caribbean and adjacent regions. UNESCO/FAO/WECAP/ Stud., 5, 1-24 (1976).
- LEIFON, E., B.J. Cosenza, r. Murchelano, and R.C. Cleverdon: Motile marine bacteria I. Techniques, cology and general characteristics. *J. Bacteriol.* 87, 652-666 (1964).
- LEIPPER, D.F.: Physical Oceanography of the Gulf of Mexico. In: Gulf of Mexico, its origin waters and marine life, pp. 119-137. Coord. by P.S. Gaestoff. Fishery Bull. 89, U.S. Gov. Printing Office, Washington D.C. 1954.
- LIZARRAGA-PARTIDA, M.L., H. Rodríguez-Santiago and J. Romero Jarero: Effects of the Ixtoc I blowout on heterotrophic bacteria. *Mar. Poll. Bull.* 13, 67-70 (1982).
- LIZARRAGA-PARTIDA, M.L., J. Porras-Aguirre and F.B. Izquierdo-Vicuña: Tasa hidrocarbonoclasticas/heterótrofas como índice de impacto ambiental por petróleo crudo en la Sonda de Campeche. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nac. Autón. México* 10, 177-186 (1983).
- LYMAN, J. and R.H. Fleming: Composition of sea water. *J. Mar. Res.* 3, 134-146 (1940).
- MARTIN, J.M. and M. Meybeck: A review of rivers discharges in the Caribbean and adjacent regions, 18 pp. IOC/FAO/UNEP/IWMPCAR/7, 1976.
- MILLS, A.L., C. Brevil, and R.R. Colwell: Enumeration of petroleum degrading marine and estuarine microorganisms by the most probable numer method. *Can. J. Microbiol.* 25, 552-557 (1978).
- MYERS, E.P., and C. G. Gunnerson: Hydrocarbons in the Ocean. MESA special report, 42 pp. U.S. Department of Commerce. Maritime Administration and NOAA Environ. Res. Labs. 1976.
- OPPENHEIMER, C. and C.E. ZoBell: The growth and viability of sixty-three species of marine bacteria as influenced by hydrostatic pressure. *J. Mar. Res.* 11, 10-18 (1952).
- OPPENHEIMER, C.H., S. Siegel, L. Day and C. Duncan: Distribution of hydrocarbon oxidizing bacteria on the Georgia shelf area and oil degrading activities. In: Marine environmental pollution- 1 hydrocarbons, pp. 265-290. Ed. by R.A. Geyer. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Scientific Publishing Company 1980.
- RHEIMHEIMER, G.: Aquatic Microbiology. (Transl. from German by A.M. Harting). 184 pp. London: John Wiley and Sons 1974.
- RODRIGUEZ, A.: Marine and coastal environmental stress in the wider Caribbean region *AMBIO.* 10, 283-294 (1981).
- SANCHEZ-GIL, P., A. Yáñez-Arancibia and F. Amezcua-Linares: Diversidad, distribución y abundancia de las especies y poblaciones de peces demersales de la Sonda de Campeche (Verano, 1978). *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nac. Autón. México* 8, 209-240 (1981).
- TAGGER, S.A. Bianchi, M. Julliard, J. LePetit and B. Roux: Effect of microbial seeding of crude oil in seawater in a model system. *Mar. Biol.* 78, 13-20 (1983).
- ZSOLNAY, A.: Hydrocarbon and chlorophyll: a correlation in the upwelling region off west Africa. *Deep. Sea Res.* 20, 923-925 (1973).