

La Secretaría de Marina, a través de la Dirección General de Oceanografía en cumplimiento al Artículo 30, Inciso XVII de la Nueva Ley Orgánica de Administración Pública Federal,

Publica:

EFFECTO DE LA FRACCION SOLUBLE EN AGUA DEL
CRUDO DEL POZO IXTOC-1, SOBRE CULTIVOS
AXENICOS Y POBLACIONES NATURALES DE PLANCTON
MARINO

DISPERSION DE LA MANCHA DE PETROLEO DEL POZO
IXTOC-1

TECNICAS EMPLEADAS DURANTE EL ACCIDENTE DEL
IXTOC-1

Esta edición, forma parte de los trabajos realizados sobre el accidente del Pozo Ixtoc-1, y la información empleada para realizar estos trabajos, se obtuvo de los Cruceros Oceanográficos DPCM-1979 y DPCM-1980, y se presentaron como Ponencia en el Simposium Internacional Ixtoc-1, que tuvo lugar del 2 al 5 de Junio de 1982, en el Museo de la Comisión Federal de Electricidad, en la Ciudad de México, D. F.

EL DIRECTOR GENERAL
FERNANDO PIANA LARA
ALMIRANTE C.G.

México, d. f., octubre de 1982.

EFECTO DE LA FRACCIÓN SOLUBLE EN AGUA DEL
CRUDO DEL POZO IXTOC-I, SOBRE CULTIVOS AXÉNICOS
Y POBLACIONES NATURALES DE PLANCTON MARINO.

Í N D I C E

	Pág.
1.- INTRODUCTION	6
2.- MATERIALES Y MÉTODOS	8
3.- ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	11
4.- RESULTADOS	12
5.- DISCUSION	16
ANEXO I (TABLAS)	18
ANEXO II (FIGURAS)	28
BIBLIOGRAFÍA	32

1.- I N T R O D U C C I Ó N :

La contaminación producida por los hidrocarburos es un asunto preocupante para todas las naciones que usan el medio marino como fuente de recursos para su desarrollo. La presencia, en muchos casos, de aves marinas muertas o moribundas por contaminación de hidrocarburos, puede despertar en muchas personas una serie de reflexiones acerca de este problema, dado que en algunas regiones las aves son a la vez muy importantes como recursos y como eslabones del sistema ecológico marino, y por ende, de su productividad. Los recursos pesqueros también son castigados en aquellas zonas donde existe una contaminación crónica por hidrocarburos. Por otro lado, el mar es usado también con fines recreativos y es muy lamentable que algunas zonas deban ser cerradas al público por constituir éstas una seria amenaza para la salud a cauda de este tipo de contaminación.

La toxicidad del petróleo y sus derivados para la vida marina es muy variable, sin embargo, se puede decir que en términos generales ésta depende de dos tipos de compuestos: los hidrocarburos aromáticos, altamente volátiles y los naftalenos, solubles en el agua. Los hidrocarburos, en su casi totalidad, se establecen en la superficie y aparentemente la vida marina bajo la superficie no resulta afectada. Sin embargo, de los experimentos en laboratorio se infiere que esto no es cierto ya que el petróleo en la superficie es tóxico para el plancton. (North y Cols., 1965; Smith y MacIntire, 1971; Sorge & McLaughlin 1971; Strand y Col., 1971; Straughan, 1972). A este respecto parece haber relativamente pocas investigaciones y la mayoría de éstas enfocadas básicamente a conocer el efecto combinado del petróleo y los agentes dispersantes, sumamente tóxicos también, que se usan en el control de los derrames de petróleo (Strand y Cols., opus citatum).

El 3 de junio de 1979, hubo un accidente en el pozo Ixtoc-I, situado en la región de la Sonda de Campeche, en el Golfo de México, a consecuencia del cual se estimó que se derramaron 3.1 millones de

barriles de petróleo crudo al mar. Siendo la Sonda de Campeche una zona de gran riqueza de especies marinas, muchas de las cuales son de importancia comercial (camarón, pulpo, huachinango, sierra, etc.) es muy importante hacer una evaluación tentativa, en principio, del impacto ecológico que sobre el bioma marino pudo ejercer el petróleo derramado.

Una de las formas de hacer dicha evaluación, es por medio del estudio de la acción directa del petróleo sobre los organismos del plancton. Ello resulta ventajoso si se toma en cuenta la importancia que las comunidades planctónicas tienen en el ecosistema marino como fuente de recursos bióticos que quedan disponibles a niveles tróficos superiores.

Por las razones antes mencionadas la Dirección de Prevención de la Contaminación Marina, realizó una serie de bioensayos enfocados a conocer los efectos del "crudo Ixtcc" sobre algunos organismos planctónicos del área afectada por el derrame.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS:

El material biológico consistió de cultivos axénicos de Isochrysis galbana y Skeletonema costatum, el primero es un flagelado unicelular colonial perteneciente a la División Chrysophyta, el segundo es una diatomea también de la división antes citada. Ambas cepas se obtuvieron de Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole Massachusetts. Así mismo, se emplearon cultivos mixtos de poblaciones naturales de plancton marino obtenidas a través de muestras de agua marina tomadas en botella Niskin a una profundidad de 2 mts. en la Sonda de Campeche, fuera totalmente de la zona del derrame. todos los cultivos, se sometieron a un régimen de fotoperíodos de 14 hrs. de luz por 10 de obscuridad, se usaron lámparas fluorescentes tipo "Gro-Lux" de 18 watts, en cantidad suficiente para proveer una intensidad total de 1000 a 1100 lux. Los cultivos se utilizaron en el ensayo sólo en la etapa de su fase exponencial de crecimiento, misma que se determinó sobre la base de cuantificaciones de la densidad de organismos realizadas en una cámara de Neubauer (hemocitómetro) así como por medio de curvas de crecimiento obtenidas midiendo la absorbencia a 540 nm. en un espectrofotómetro (Spectrónic 2000, Bausch and Lomb). Desde el día de iniciación del cultivo hasta el final de la fase exponencial, se obtuvieron las constantes relativas de crecimiento (Eppley y Strickland, 1968), según la expresión:

$$k = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{t}$$

donde:

K = Constante Relativa de Crecimiento.

N₀ = Número de Individuos al Tiempo Cero (individuos iniciales).

N_t = Número de Individuos en el tiempo t.

t = Tiempo (en días).

Como medio de cultivo, se empleó agua de mar enriquecida (A.M.E.) consistente de agua de mar esterilizada y suplementada con algunas de las sustancias que componen el medio de cultivo de Sweeney-Hasting (Ukeles, 1965; Fogg, 1971) y cuya composición final es la siguiente:

1 M KNO_3	2 ml.
0.1% EDTA	10 ml.
0.1 M K_2HPO_4	2 ml.
Sol. de Hierro de Rodhe	0.25 ml.
$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	30 mg/l.
Agua de Mar Esterilizada	750 ml.
Agua destilada c.b.p.	1000 ml.

Solución de Hierro de Rodhe:

Citrato Férrico	1.33 g.
Acido Cítrico	1.33 g.
Agua destilada c.b.p.	100 ml.

Para probar el efecto del crudo sobre el crecimiento del fitoplancton, se ensayó por separado tanto la fracción soluble en agua como el crudo total, tal cual, sobre cultivos axénicos de Isochrysis galbana y Skeletonema costatum, así como también sobre poblaciones naturales de plancton marino.

Para ello se prepararon 3 lotes de 22 matraces Erlenmeyer por cada uno de los tratamientos a ensayar. En todos los casos se consideró uno de los lotes para servir como testigo y los experimentos son con 2 repeticiones.

La Fracción Soluble en Agua (F.S.A.) se obtuvo de la siguiente manera:

Se preparó una mezcla al 1% del Crudo Total en medio de

cultivo. Dicha mezcla se sometió a agitación en un agitador recíproco a temperatura ambiente durante 1 hora al cabo de la cual se transfirió a un embudo de separación de vidrio en donde se dejó reposar por 24 horas también a temperatura ambiente. Transcurrido dicho lapso se recuperó la fase acuosa misma que fué esterilizada por filtración por vacío usando un filtro de 0.22 μ (Millipore, tipo GS).

Se elaboraron diluciones que variaban entre 0 y 100% en incrementos de 10% preparadas del siguiente modo: 0 ml. hidrocarburo/100 ml. cultivo, 10 ml. hidrocarburos/90 ml. medio de cultivo, 20 ml. hidrocarburo/80 ml. medio de cultivo... 100 ml. de hidrocarburos/0 ml. medio de cultivo. El volumen final de cada matraz se mantuvo en 200 ml. en todos los casos.

Una vez preparadas las diluciones, se inocularon los matraces con una cantidad inicial, conocida de organismos y se incubaron estos a temperatura ambiente ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) en las condiciones de iluminación ya descritas, un período de 6 días durante los cuales se hicieron lecturas de la densidad de organismos por triplicado.

En los tratamientos con crudo total se ensayó este a una concentración inicial de 1% en medio de cultivo seguida de idéntica serie de diluciones y manipulaciones ya descritas para el caso de la F.S.A.

En el caso de los testigos, las diluciones se prepararon empleando medio de cultivo, siendo esta la única diferencia con respecto a las posteriores manipulaciones, mismas que fueron ya mencionadas.

3.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

Con los resultados obtenidos de los bioensayos se calcularon los siguientes estadísticos básicos utilizando los algoritmos ya conocidos (Sokal y Rohlf, 1969; I Massons, 1980).

Media Aritmética.

Desviación Estándar.

Varianza.

Error Estándar de la Media.

Coefficiente de Variación.

Asi mismo, se calcularon los coeficientes de Sesgo y urtosis (d'Agostino y Pearson, 1973). También se aplicó análisis de varianza univariado (Sokal y Rohlf, 1969).

Por otra parte se hizo una prueba de homoscedasticidad llamada prueba de "F" de Snédecor (Snédecor, 1956).

También se realizó la prueba de U de Mann-Whitney, para comparar los tratamientos (Siegel, 1980).

Todas llas pruebas de hipótesis efectuadas se hicieron sobre la base de tratar de controlar el Error Tipo I, con un nivel de probabilidad de 0.05.

Los cálculos estadísticos se realizaron utilizando las facilidades de procesamiento electrónico de datos y rutinas de cómputo del Centro de Datos Oceanográficos de la Dirección General de Oceanografía de la Secretaría de Marina.

4.- R E S U L T A D O S :

Los resultados de los bioensayos, tanto con cultivos axénicos como con poblaciones naturales, se presentan en las tablas 1 a 3, las gráficas correspondientes se incluyen en las figuras 1 a 3. Los valores consignados en las tablas de resultados representan el promedio de las cuantificaciones realizadas en cada replicación del modo descrito anteriormente.

Los resultados indican que existe una fuerte disminución de la población en los casos de cultivos axénicos en los que se ensayó la acción del crudo total y que, en cambio, aparentemente dicho efecto no es tan notable para aquellas en que se ensayó la fracción soluble en aguas (tablas 1 y 2; figuras 1 y 2). Una situación similar, aunque tal vez más marcada, ocurre en el caso de las poblaciones naturales de plancton marino (tabla 3 y figura 3) pero se observa supervivencia mínima a lo largo del experimento.

Las tablas 4 a 6, representan los resultados del cómputo de algunos descriptores estadísticos básicos. Se observa que en todos los casos de bioensayos con crudo total el coeficiente de variación, CV, es muy alto, algo similar se puede decir en relación a sus respectivas varianzas. En cambio, los testigos y los tratamientos con F.S.A., muestran varianzas muy inferiores así como bajos coeficientes de variación (tablas 4 a 6).

El análisis de los coeficientes de sesgo (simetría) y Kurtosis indica que las poblaciones de organismos utilizados como testigos en los bioensayos están claramente distribuidas en forma normal, según lo mostraron las pruebas de normalidad efectuadas (d'Agostino y Pearson, 1973). En contraste, los tratamientos con crudo total presentan fuertes desviaciones de las condiciones de normalidad con coeficientes de Kurtosis bajos (platikúrticos) en los casos de los cultivos axénicos y muy alto (leptokúrticos) para poblaciones naturales de plancton mari-

no; la simetría es aceptablemente normal para los cultivos axénicos, no así para las poblaciones naturales.

El resto de los tratamientos, en términos generales, no se alejan demasiado de las condiciones necesarias por lo que se les puede suponer distribuidas de una forma aproximadamente normal, ello, también, sobre la base de que los valores del error estándar de la media, $S_{\bar{X}}$ son mas bien pequeños.

Los resultados del análisis de varianza univariado aplicado a cada conjunto de datos en los bioensayos, indica que existen diferencias significativas, debidas a los tratamientos (con una probabilidad del 95%), sobre el crecimiento de Isochrysis galbana, Skeletonema costatum y poblaciones naturales. La principal fuente de variación esta localizada entre bioensayos y no dentro de los bioensayos. Estos resultados son consistentes ya sea que se tome en cuenta el número de células por mililitro o bien la absorción registrada a 540 nm (tablas 7 a 9).

Por otra parte, se aplicó la prueba de F (Snédecor, 1949) para comparar las varianzas de los testigos contra las de F.S.A., tanto para los datos de absorción (F_A) como para datos de conteo celular (F_C), los resultados son los siguientes:

<u>Isochrysis galbana</u> _____	$F_A = 1.143$
	$F_C = 1.539$
<u>Skeletonema costatum</u> _____	$F_A = 2.250$
	$F_C = 2.475$
Poblaciones Naturales de Plancton Marino. _____	$F_A = 11.500$
	$F_{(0.05, 10, 10)} = 2.97$

Lo que implica que las varianzas son homoscedásticas para el caso de los cultivos axénicos y heteroscedásticas para las poblaciones naturales de plancton marino.

Las constantes relativas de crecimiento, k , para los cultivos de Isochrysis galbana y Skeletonema costatum al tiempo de inoculación fueron:

$$k = 0.1449 \pm 0.0489$$

$$k = 0.1386 \pm 0.0137$$

respectivamente.

La prueba de U de Mann-Whitey, se aplicó para comparar los tratamientos a base de F.S.A., contra sus respectivos testigos (conteos celulares para cultivos axénicos y absorbancia para poblaciones naturales), obteniéndose los siguientes resultados:

<u>Isochrysis galbana</u>	$U = 55$
<u>Skeletonema costatum</u>	$U = 6.50$
Poblaciones Naturales de Plancton Marino.	$U = 58.50$
	$U_{(0.05, 11, 11)} = 30$

Lo cual significa que las diferencias en crecimiento son estadísticamente significativas sólo para el caso de Skeletonema costatum.

La prueba de U aplicada para comparar los tratamientos a base de crudo total contra sus respectivos testigos indicaron, sin excepción, diferencias significativas.

No se llevó a cabo la identificación completa de los organismos que componían las poblaciones naturales de plancton marino, sin embargo, cabe señalar que se registró la presencia de los siguientes especímenes de fitoplancton:

Skeletonema costatum,
Asterionella japonica,
Thalassiothrix sp,
Rhizosolenia alata,
Thalassiosira sp,
Nitzchia seriata,
Navicula distans.

5.- D I S C U S I Ó N :

La propiedad que presentan los componentes solubles en el agua del petróleo crudo, de afectar el crecimiento del plancton marino, ha sido ya reportado en otras ocasiones (Lacaze, 1969; Sorge y Mc. Laughlin, 1971; Petroleum in the Marine Environment, 1975). Dentro de éste contexto, la mayoría de los estudios indican que la fracción soluble en agua ejerce efectos tóxicos sobre el fitoplancton (North y Cols., 1965; Petroleum in the Marine Environment, 1975) y que en cambio, este efecto es casi despreciable para el caso del petróleo crudo dado que una parte de sus componentes permanecen esencialmente en la superficie del mar y se volatilizan antes de ejercer algún efecto tóxico (Clark y Brown, 1977). Por otra parte, el estado del mar es muy importante como mecanismo que influye en la pérdida, solubilización y dispersión de los componentes del crudo (Smith y Mc.Ityre, 1971). Según un reporte técnico publicado por el Instituto Mexicano del Petróleo acerca del Accidente Ixtoc (1979), se puede interpretar que se trata de un crudo comparativamente "ligero" y quizás por tanto de rápida volatilización.

Los resultados del presente estudio indican claramente un efecto inhibitorio en el crecimiento de especies de fitoplancton, tanto en cultivos axénicos como en poblaciones naturales, atribuible al crudo total ensayado. Por otro lado, se observa que la fracción soluble en agua no ejerce dicho efecto, sino que por el contrario parece como si hasta favoreciera su crecimiento. Esto se puede explicar sobre la base de que la concentración inicial ensayada es quizá muy pequeña y ello favoreció el uso de los hidrocarburos contenidos en la F.S.A. como nutriente durante el desarrollo de los organismos. Se sabe que a ciertas concentraciones algunos hidrocarburos son aprovechables por la biota marina (Petroleum in the Marine Environment, 1975; de Chevron y Shell, 1975).

Los resultados están en contradicción con lo antes mencionado

acerca de la toxicidad del crudo total y la F.S.A. sobre el fitoplancton. Se piensa que ésto se debe a la naturaleza del crudo empleado en los bioensayos conjuntamente con las concentraciones ensayadas así como, el hecho de haber utilizado cultivos axénicos, con la desventaja que implica la eliminación de las complejas interacciones ecológicas, en favor de un sistema biológico mejor controlable aunque más simple. En el caso de las poblaciones naturales de plancton marino ésta contradicción se puede explicar, además, en términos del alto coeficiente de variación para los bioensayos con F.S.A. (tabla 6).

Lo anterior no pretende que los efectos obtenidos en los bioensayos sean necesariamente los mismos para la situación real. Son únicamente un indicativo de lo que sucede en una situación de laboratorio bajo condiciones controladas, y por tanto, se debe ser muy cauto si se intentan hacer extrapolaciones.

Por otra parte, se desprende de los resultados que Skelet nema costatum pudiera ser más sensible a los efectos de la F.S.A. que Isochrysis galba a, puesto que la prueba de U de Mann-Whitney indica que la disminución del crecimiento de Skeletonema costatum es significativa.

Se tienen programados otra serie de bioensayos en los que se aumentará la concentración de F.S.A. y Crudo Total, y que contempla el análisis cromatográfico de la F.S.A., antes y después de los bioensayos, así como una determinación cuantitativa de las poblaciones naturales de plancton que incluye cálculo de Indices de Diversidad y otros parámetros ecológicos. También se piensa utilizar el Contador Coulter para hacer más precisos los contéos celulares.

A N E X O I

(T A B L A S)

TABLA I

EFFECTO DE LA F.S.A. Y CRUDO TOTAL SOBRE EL
 CRECIMIENTO DE Isochrysis galbana

CÉLULAS / ml $[\times 10^5]$

ABSORBANCIA A 540 nm

[] (% VOL)	CRUDO TOTAL	TESTIGO	F. S. A.
INICIAL	30	30	30
10	24	35	42
20	16	44	46
30	6	42	45
40	—	41	39
50	—	41	39
60	—	40	34
70	—	35	36
80	—	35	37
90	—	38	34
100	—	37	34

[] (% VOL)	CRUDO TOTAL	TESTIGO	F. S. A.
INICIAL	0.12	0.12	0.13
10	0.06	0.09	0.15
20	0.035	0.125	0.14
30	0.01	0.11	0.135
40	—	0.13	0.12
50	—	0.15	0.10
60	—	0.09	0.09
70	—	0.08	0.09
80	—	0.09	0.09
90	—	0.06	0.07
100	—	0.07	0.085

TABLA 2

EFFECTO DE LA F.S.A. Y CRUDO TOTAL SOBRE EL
 CRECIMIENTO DE Skeletonema costatum.

CÉLULAS / ml $[\times 10^5]$

ABSORBANCIA A 540 nm

[] (%VOL)	CRUDO TOTAL	TESTIGO	F. S. A
INICIAL	23.5	22	22
10	24	26.5	28.5
20	11	29	22.5
30	1	28	25
40	—	28.5	22.5
50	—	29	18
60	—	29.5	18.5
70	—	30	19
80	—	31	17
90	—	34	15
100	—	34	9

[] (%VOL)	CRUDO TOTAL	TESTIGO	F. S. A.
INICIAL	0.11	0.09	0.09
10	0.095	0.12	0.11
20	0.08	0.14	0.12
30	0.05	0.14	0.115
40	0.03	0.135	0.11
50	—	0.145	0.095
60	—	0.15	0.09
70	—	0.165	0.15
80	—	0.18	0.11
90	—	0.19	0.10
100	—	0.19	0.08

TABLA 3

EFFECTO DE LA F S A Y CRUDO TOTAL SOBRE EL CRECIMIENTO
DE POBLACIONES NATURALES DE PLANCTON MARINO

ABSORBANCIA A 540 nm

[] (% VOL)	CRUDO TOTAL	TESTIGO	F. S. A.
INICIAL	0.145	0.12	0.225
10	0.01	0.09	0.185
20	0.01	0.13	0.19
30	0.01	0.11	0.215
40	0.01	0.13	0.185
50	0.01	0.15	0.085
60	0.01	0.085	0.01
70	0.01	0.08	0.01
80	0.01	0.09	0.01
90	0.01	0.06	0.01
100	0.01	0.07	0.01

TABLA 4
 ESTADÍSTICOS BÁSICOS PARA LOS BIOENSAYOS
 CON Isochrysis galbana.

CÉLULAS /ml ($\times 10^5$)	\bar{X}	S	S ²	S \bar{x}	COEF. DE SESGO	COEF. DE CURTOSIS	CV
CRUDO TOTAL	19.0000	10.3923	108.000	6.0000	-0.263	1.673	54.6963
TESTIGO	38.0909	4.0113	16.091	1.2685	-0.450	2.591	10.5310
FRACCIÓN SOLUBLE EN AGUA (F.S.A.)	37.8182	4.9763	24.764	1.5736	0.292	2.123	13.1565

ABSORBANCIA A 540 nm	\bar{X}	S	S ²	S \bar{x}	COEF DE SESGO	COEF DE CURTOSIS	CV
CRUDO TOTAL	0.0563	0.0471	0.0022	0.0272	0.553	1.915	83.8183
TESTIGO	0.1014	0.0278	0.0008	0.0088	0.211	2.012	27.3836
FRACCIÓN SOLUBLE EN AGUA (F.S.A.)	0.1091	0.0267	0.0007	0.0084	0.168	1.606	24.4956

\bar{X} = MEDIA ARITMÉTICA
 S = DESVIACIÓN ESTÁNDAR MUESTRAL
 S² = VARIANZA MUESTRAL
 S \bar{x} = ERROR ESTÁNDAR DE LA MEDIA
 CV = COEFICIENTE DE VARIACIÓN

TABLA 5
 ESTADÍSTICOS BÁSICOS PARA LOS BIOENSAYOS
 CON Skeletonema costatum

CÉLULAS/ml ($\times 10^5$)	\bar{X}	S	S ²	S \bar{x}	COEF. DE SESGO	COEF. DE CURTOSIS	CV
CRUDO TOTAL	14.8750	11.0331	21.73	6.3700	-0.381	1.492	74.1721
TESTIGO	29.2273	3.3344	11.118	1.0544	-0.500	3.412	11.4085
FRACCIÓN SOLUBLE EN AGUA (F.S.A.)	19.7273	5.2458	27.5184	1.6589	-0.357	3.000	26.5915

ABSORBANCIA A 540nm	\bar{X}	S	S ²	S \bar{x}	COEF DE SESGO	COEF. DE CURTOSIS	CV
CRUDO TOTAL	9.0730	0.0327	0.0011	0.0164	-0.239	1.586	44.8094
TESTIGO	0.1495	0.0303	0.0009	0.0096	-0.288	2.516	20.3625
FRACCIÓN SOLUBLE EN AGUA (F.S.A.)	0.1064	0.0190	0.0004	0.0060	0.883	3.650	17.8497

\bar{X} = MEDIA ARITMÉTICA
 S = DESVIACIÓN ESTÁNDAR MUESTRAL
 S² = VARIANZA MUESTRAL
 S \bar{x} = ERROR ESTÁNDAR DE LA MEDIA
 CV = COEFICIENTE DE VARIACIÓN

TABLA 6
 ESTADÍSTICOS BÁSICOS PARA LOS BIOENSAYOS CON
 POBLACIONES NATURALES DE PLANCTON MARINO

ABSORBANCIA A 540 nm	\bar{X}	S	S ²	S _x	COEF. DE SESGO	COEF. DE CURTOSIS	CV
CRUDO TOTAL	0.0223	0.0407	0.0017	0.0129	2.8460	9.1000	182.75
TESTIGO	0.1014	0.0285	0.0008	0.0090	0.2293	1.8882	28.08
FRACCIÓN SOLUBLE EN AGUA (F.S.A.)	0.1032	0.0959	0.0092	0.0303	0.1074	1.1694	92.96

\bar{X} = MEDIA ARITMÉTICA

S = DESVIACIÓN ESTÁNDAR MUESTRAL

S² = VARIANZA MUESTRAL

S_x = ERROR ESTÁNDAR DE LA MEDIA

CV = COEFICIENTE DE VARIACIÓN

TABLA 7
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS BIOENSAYOS
CON Isochrysis galbana

CÉLULAS /ml ($\times 10^5$)

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	RAZÓN "F"
ENTRE BIOENSAYOS	564.7900	2	282.39	12.25
DENTRO DE LOS BIOENSAYOS	507.2100	22	23.06	
TOTAL	1072.000	24		

$$F_{(0.05, g11, g12)} = 3.44$$

$$F_{(0.001, g11, g12)} = 5.72$$

ABSORBANCIA A 540 nm

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	RAZÓN "F"
ENTRE BIOENSAYOS	0.0084	2	0.0042	4.5154
DENTRO DE LOS BIOENSAYOS	0.0215	23	0.0009	
TOTAL	0.0300	25		

$$F_{(0.05, g11, g12)} = 3.42$$

$$F_{(0.001, g11, g12)} = 5.72$$

TABLA 8
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS BIOENSAYOS
CON Skeletonema costatum

CÉLULAS /ml ($\times 10^5$)

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	RAZÓN "F"
ENTRE BIOENSAYOS	812.19	2	406.10	12.4536
DENTRO DE LOS BIOENSAYOS	749.00	23	32.61	
TOTAL	1562.19	25		

$F_{(0.05, g11, g12)} = 3.42$

$F_{(0.001, g11, g12)} = 5.66$

ABSORBANCIA A 540 nm

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	RAZÓN "F"
ENTRE BIOENSAYOS	0.0226	2	0.0113	15.7783
DENTRO DE LOS BIOENSAYOS	0.0172	24	0.0007	
TOTAL	0.0397	26		

$F_{(0.05, g11, g12)} = 3.40$

$F_{(0.001, g11, g12)} = 5.61$

TABLA 9
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS BIOENSAYOS CON
POBLACIONES NATURALES DE PLANCTON MARINO

ABSORBANCIA A 540 nm

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	RAZÓN "F"
ENTRE BIOENSAYOS	0.0470	2	0.0235	6.0356
DENTRO DE LOS BIOENSAYOS	0.1167	30	0.0039	
TOTAL	0.1636	32		

$F_{(0.05, g1, g2)} = 3.32$

$F_{(0.001, g1, g2)} = 5.39$

A N E X O I I

(F I G U R A S)

FIGURA I. EFECTO DE LA F.S.A. Y CRUDO TOTAL SOBRE

Isochrysis galbana.

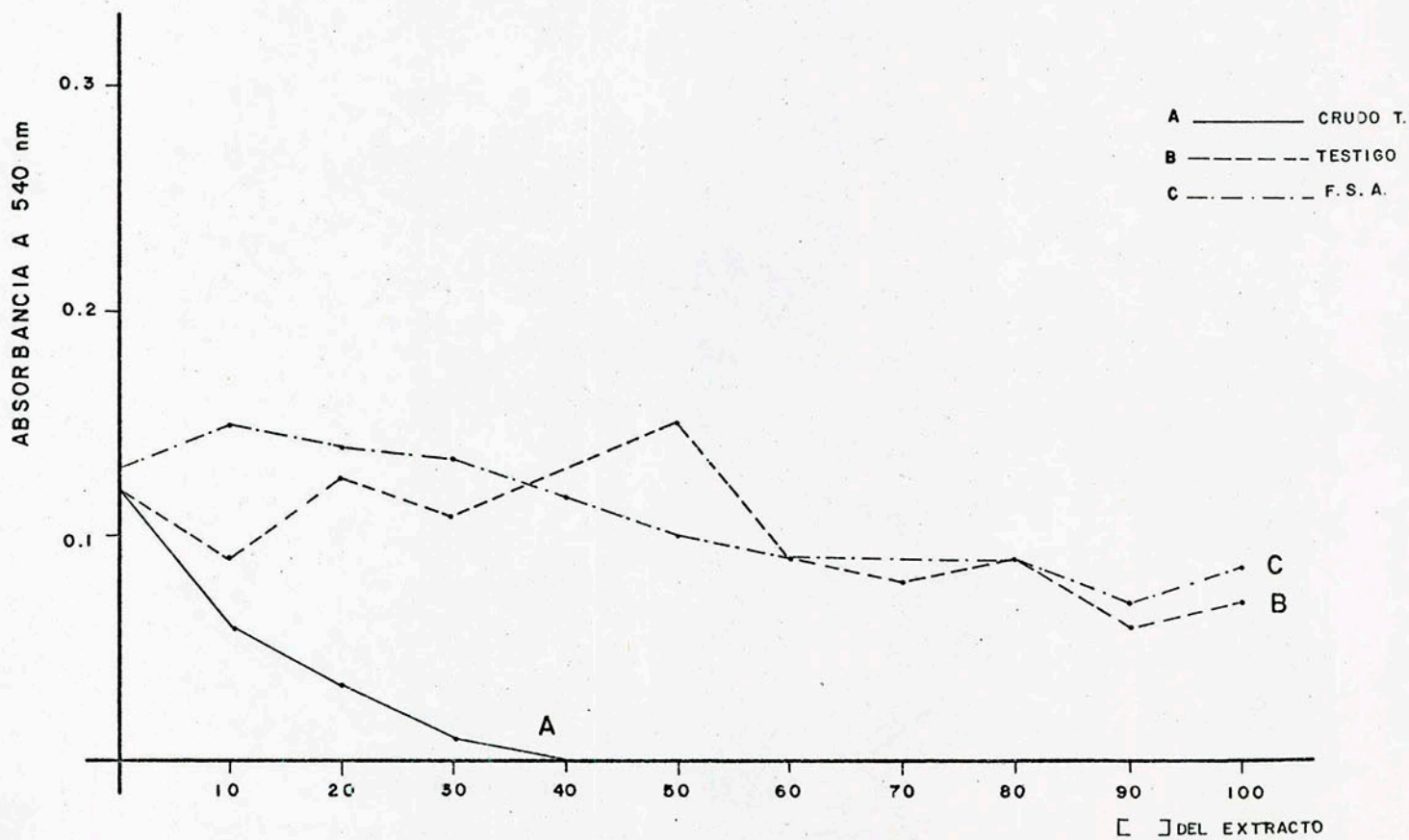
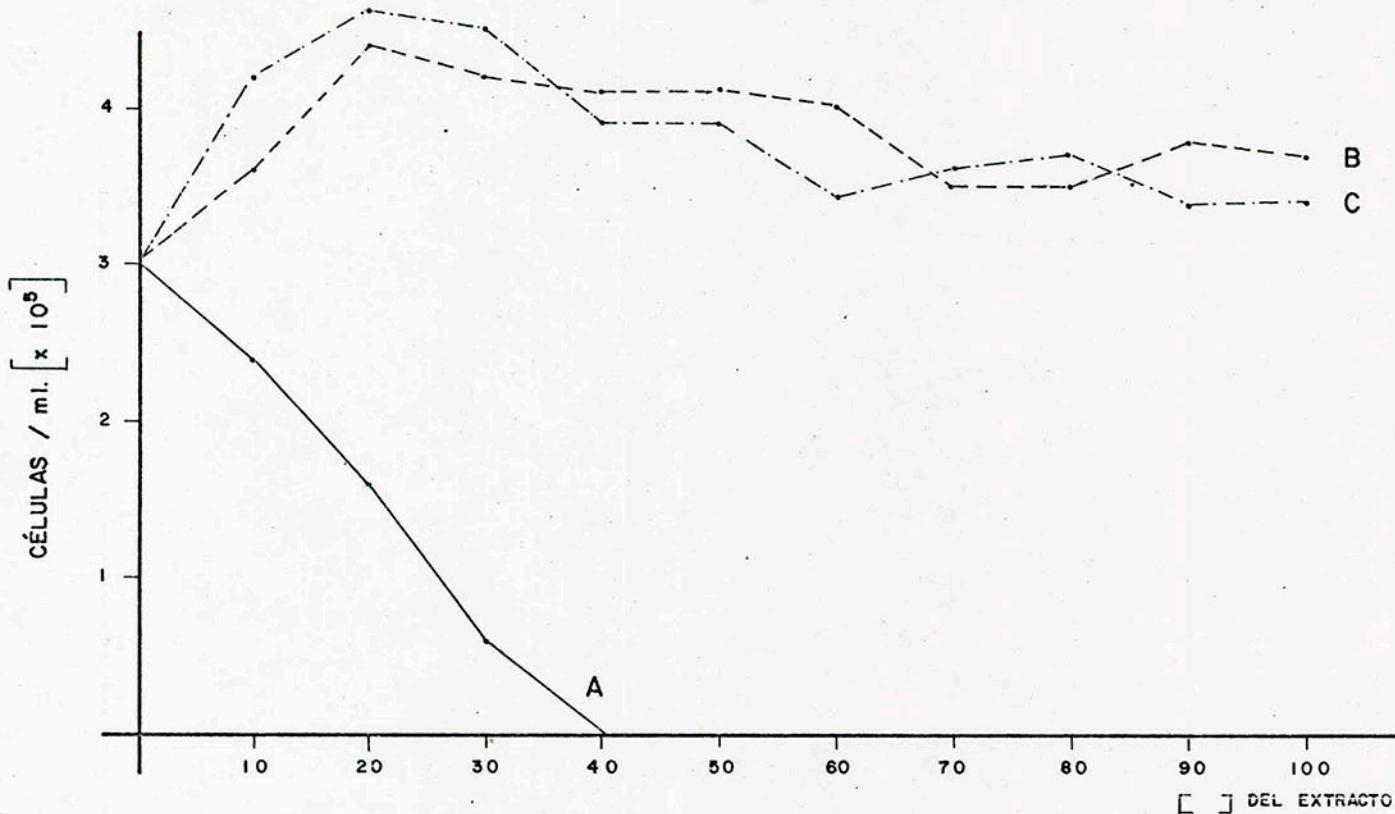


FIGURA 2. EFECTO DE LA F.S.A. Y CRUDO TOTAL SOBRE

Skeletonema c.

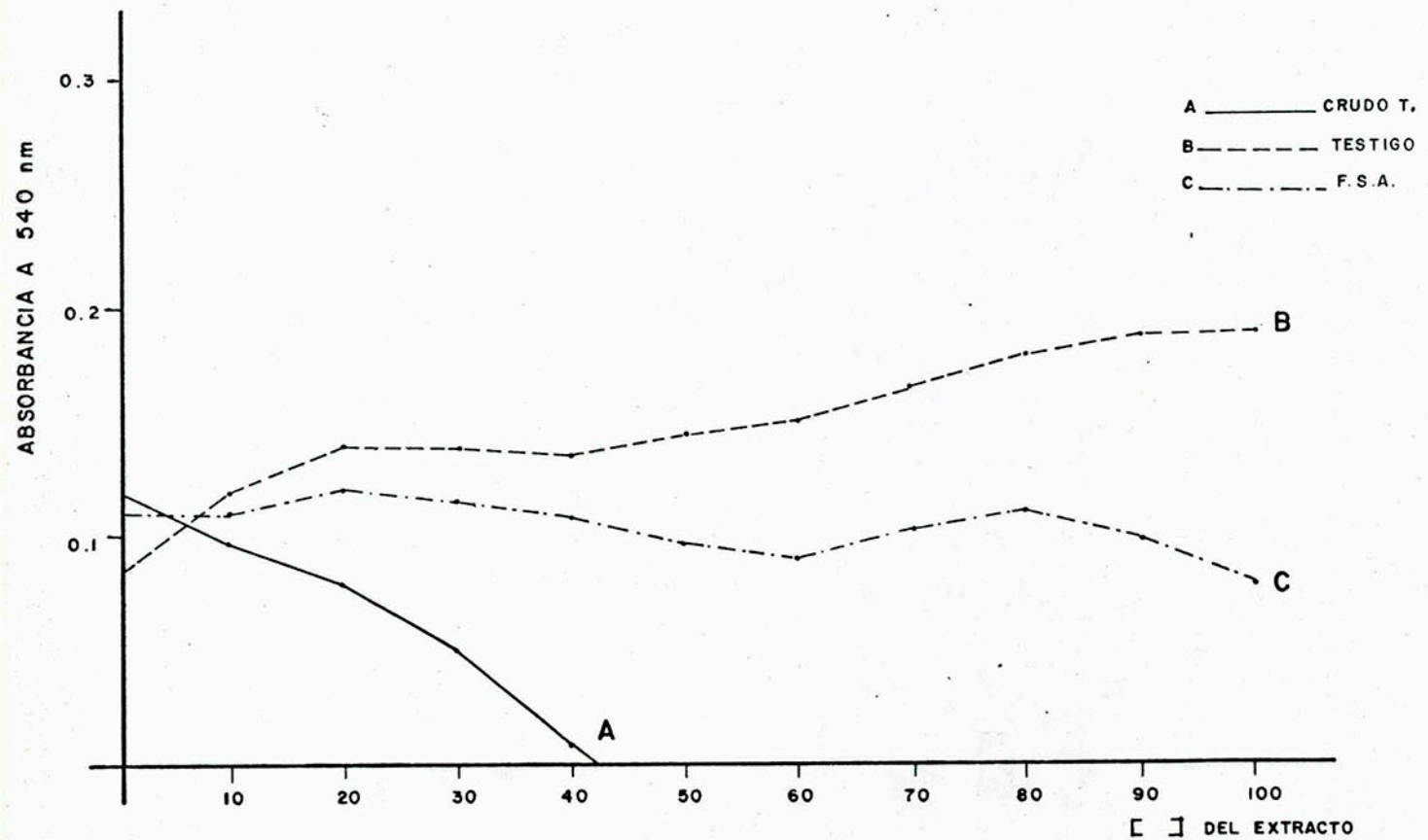
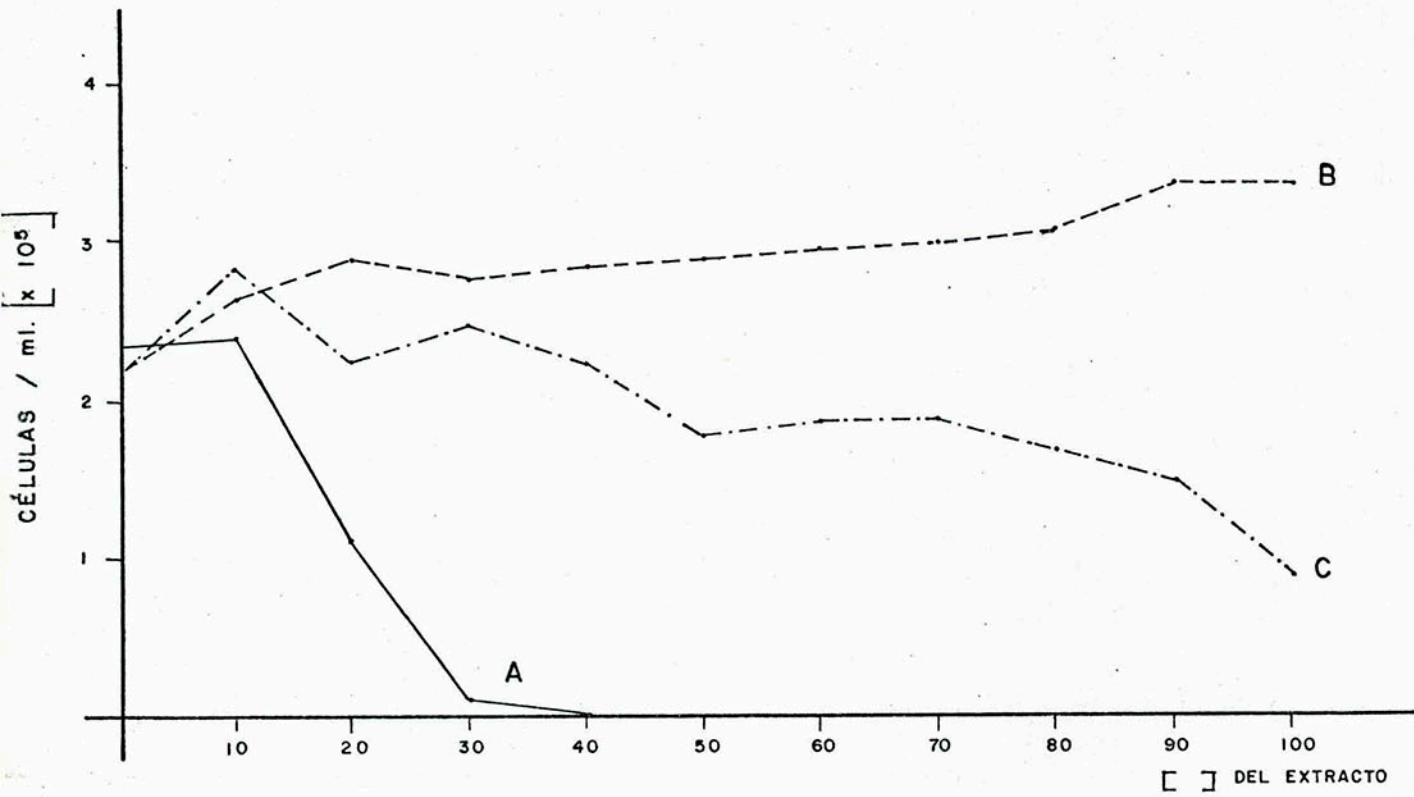
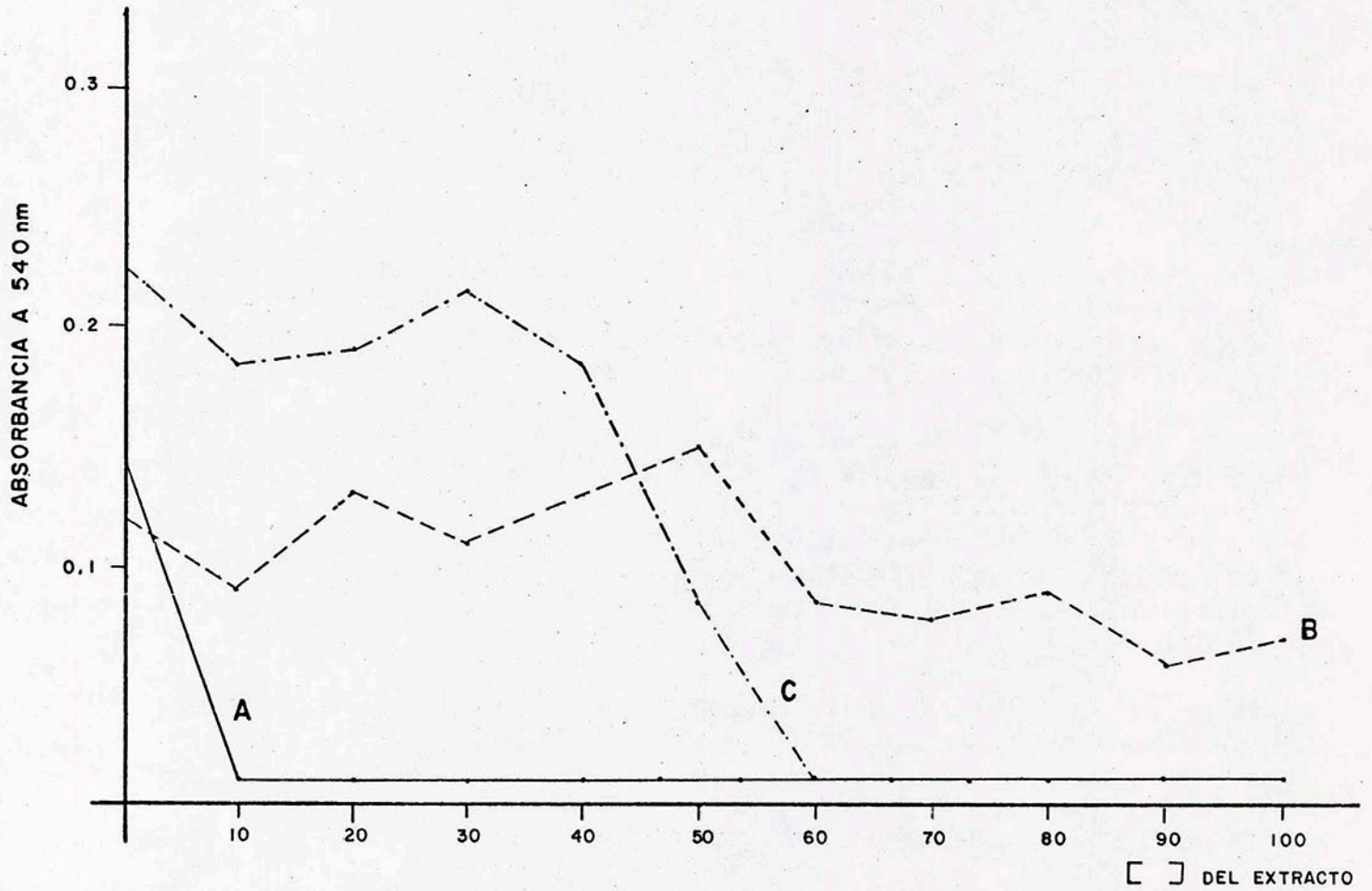


FIGURA 3

EFFECTO DE LA F.S.A. Y CRUDO TOTAL SOBRE POBLACIONES
NATURALES DE PLANCTON MARINO



A ——— CRUDO TOTAL
B - - - - - TESTIGO
C - . - . - F.S.A.

B I B L I O G R A F Í A

- Chevron, M.E.W. de, y Shell, H.L.P., 1975; Recent Advances in Understanding the Effects of Oil into Marine Environment. IX Congreso Mundial del Petróleo.
- Clark, C. R. Jr., 1977; Inputs, Transport Mechanisms, and Observed Concentrations of Petroleum in the Marine Environment. En "Effects of Petroleum on Arctic and Subarctic Marine Environments and Organisms, Vol. 1. Donald C. Malins. Ed: Academic Press. London. pp. 91-199.
- Clark, C. R. Jr., y Brown, D. W., 1977; Petroleum: Properties and Analyses in Biotic and Abiotic Systems. En "Effects of Petroleum on Arctic and Subarctic Marine Environments and organisms, Vol. 1., Donald C. Malins. Ed: Academic Press. London. pp. 1-75.
- d'Agostino, R. y Pearson, E. S., 1973; Tests for Departure from Normality. Empirical Results for the Distribution of b_1 and b_2 Biometrika, 60: 613-622.
- Eppley, R. W., y Strickland, J.D.H., 1968; Kinetics of Marine Phytoplankton Growth. Advances in Microbiology of the Sea. 13: 833-837 (No. 6).
- Fogg, G.E., 1971; Algal Cultures and Phytoplankton Ecology. The University of Wisconsin Press. Madison. pp. 126.
- I. Massons, D.J.M., 1980; Bioestadística. Métodos Estadísticos para Investigadores. Herder, S. A. Barcelona.
- Informe Técnico Sobre la Perforación y Accidente del Pozo IXTOC No. 1, Impacto Ambiental y Conclusiones Preliminares. Instituto Mexicano del Petróleo (I.M.P.), Agosto 1979, México.
- Lacaze, J.C., 1969; Effets d'une Pollution du type "Torrey Canyon" sur l'algue Unicellulaire Marine Phaeodactylum tricornutum. Revue Internationale D'oceanographie Medicale. 13-14: 157-179.
- North, W.J., Neushul, M., Clendenning, J., y K.A. Clendenning, 1965. Successive Biological Changes Observed in a Marine Cove Exposed to a Large Spillage of Mineral Oil. Symp. Poll. Mar. Micro-Org. Prod. Petro., Mónaco: 335-354.
- Petroleum in the Marine Environment: Workshop on Inputs, Fates and the Effects of Petroleum in Marine Environments. Mayo 21-25, 1973. National Academy of Sciences. Washington, D. C. 1975.
- Siegel, S., 1980; Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences. New York: McGrawhill, 1980.

- Smith, C.L., y Mc.Intyre, W.G., 1971; Initial Aeging of Fuel Oil Films on Sea Water. En "Proceedings of Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spill, American Petroleum Institute, Wash., D.C. pp. 457-462:
- Snedecor, G.W.; Statistical Methods Applied to Experiments in Agriculture and Biology. Ames, Iowa: Iowa State College Press, 5^a Ed. 1956.
- Sokal, R.R., y Rohlf, F.J., 1969; Biometry. W.H. Freeman C.O. Los Angeles.
- Sorge, E.V., McLaughlin, J.J.A., 1971; Physiological Studies of Algae Isolated From a Polluted Biotope. Developments in Industrial Microbiology, Vol. 12. Society for Industrial Microbiology, AIBS. Washington, D.C. pp. 109-125.
- Ukeles, R., 1965; A Simple Method for the Mass Culture of Marine Algae, Linnol. Ocen. 10: 492:495.

A S E S O R E S :

Almirante Fernando Piana Lara.
Ing. Francisco González Martínez.

JEFE DE PROYECTO:

M. en C. Gabriel A. Barud Martín.

E L A B O R A R Ó N :

M. en C. Josué A. Bustamante Loya.
M. en C. Faustino Navarro Santos.

C O L A B O R A C I Ó N :

Centro de Datos Oceanográficos, D.G.O.

DISPERSIÓN DE LA MANCHA DE
PETRÓLEO DEL POZO IXTOC-1.

Í N D I C E

	Pág.
R E S U M E N (ABSTRACT).	39
1.- PRINCIPALES CORRIENTES DEL GOLFO DE MÉXICO.	40
2.- VARIACIONES METEOROLÓGICAS DURANTE EL SUCESO, FORMACIÓN Y TRAYECTORIA DE LOS HURACANES.	43
2.1.- VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGI- COS DURANTE EL ACCIDENTE.	
2.1.1.- Presión Atmosférica.	47
2.1.2.- Temperatura del Aire.	
2.1.3.- Precipitación.	48
2.1.4.- Estado del Mar.	
2.2.- FORMACIÓN DE HURACANES.	50
3.- EVOLUCIÓN DEL DERRAME Y DISTRIBUCIÓN DE LAS MANCHAS DE PETRÓLEO.	33
3.1.- EVOLUCIÓN DE LA FUGA.	
3.2.- DISTRIBUCIÓN DE LAS MANCHAS DE PETRÓLEO.	
4.- ANOMALIAS Y DISPERSIÓN DE LAS MANCHAS.	60
4.1.- EFECTO DEL HURACAN HENRI SOBRE LAS MANCHAS.	
4.2.- ANOMALIA DE DISPERSIÓN POR UN NORTE.	63
5.- CONCLUSIÓN	66
B I B L I O G R A F Í A	67

R E S U M E N

En el presente trabajo se analizan las variaciones meteorológicas, considerando el patrón de circulación de corrientes en el Golfo de México durante el accidente del Pozo Ixtoc-I (de junio de 1979 a marzo de 1980); además, se describe la formación y trayectoria de los huracanes que se presentaron de julio a septiembre de 1979. Esto, con el fin de establecer la evolución y distribución del derrame, así como la anomalía de dispersión y la dirección dominante de las manchas, este último, ocasionado por la presencia del huracán "Henri".

(A B S T R A C T)

This paper analyzes the meteorological variations considering the current circulation pattern in the Gulf of Mexico, during the IXTOC-I oil blowout (Jun. 1979 - March 1980), and also the formation and trajectory of the hurricanes which were present during the months of July till September in 1979. This, with the purpose of establishing the evolution and distribution of the oil spill, likewise, the anomaly repartition of the oil slicks caused by the hurricanes "Henri", and dominant direction during the accident.

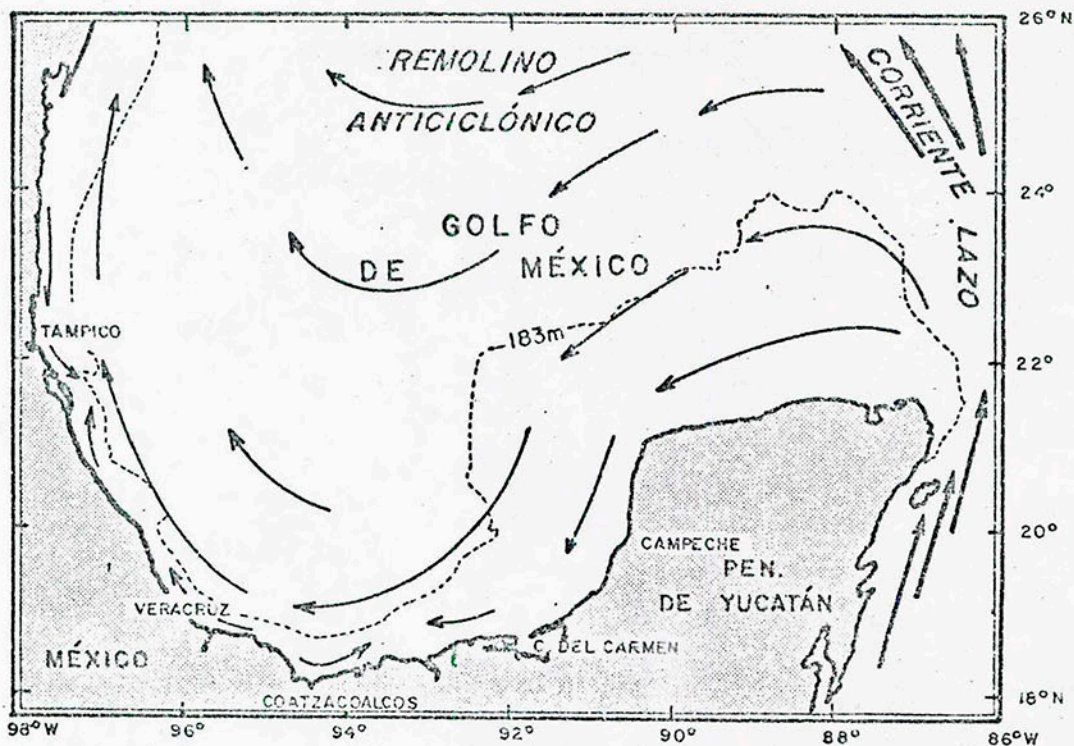
1.- PRINCIPALES CORRIENTES EN EL GOLFO DE MÉXICO:

El flujo principal de agua que entra al Golfo de México, pasa a través del estrecho de Yucatán, dirigiéndose posteriormente, hacia el Atlántico del Norte por el estrecho de Florida. entre los dos estrechos se forma la corriente del Lazo con un transporte promedio de 30 Sv (1 Sverdrup = 1×10^6 m³/seg.) y con una rama fluyendo hacia el Golfo de México, formando ocasionalmente dos remolinos: uno anticiclónico que se encuentra en la parte central del Golfo con un promedio de 10 Sv, una velocidad de 20 millas marinas por mes (Fig. 1-A) y un diámetro de acción de 450 Kms. (Vázquez, 1979); el otro remolino se localiza en la parte Suroeste del Golfo, llamada Bahía de Campeche con giro contrario, es decir ciclónico, que probablemente es una formación permanente, mientras que en invierno es más notorio este movimiento, debido a las condiciones climatológicas, en dicha época sopla a menudo el viento del Norte sobre la costa Occidental del Golfo alimentando la fuerza del giro ciclónico (fig. 1-B).

En la Sonda de Campeche la corriente principal entrante procede de la corriente del Lazo con un transporte de 4.98 Sv de volumen de agua hacia el Noroeste, al llegar a Coatzacoalcos ésta se asocia con el remolino ciclónico desviándose hacia el Este en la época de invierno transportando 1.03 Sv. (Jiménez, 1977). La velocidad promedio de la corriente en el área es de 3.6 a 12.1 cm/seg. (Sweet, 1974; citado por Geyer, 1980).

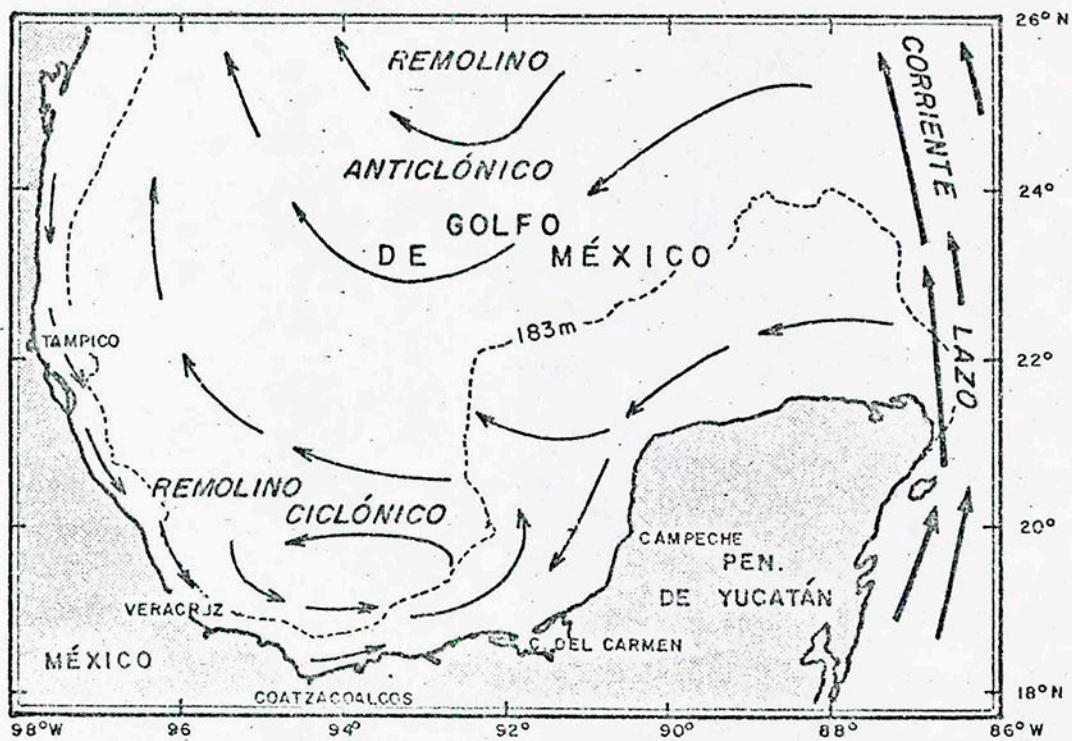
Durante los meses de julio y agosto de 1979, la corriente superficial obtenida en el área del Pozo Ixtoc-I, mostró valores superiores a los mencionados, anteriormente variando entre 20 y 102 cm/seg. con dirección hacia el Oeste-Suroeste.

En el mes de marzo de 1979 en la operación FGGE ATLÁN (First Global Garp Expedition) se encontró el centro del gran remolino anticiclónico a una distancia de 400 Kms. de la costa de Tamaulipas



A VERANO

FIG. 1 PRINCIPALES CORRIENTES MARINAS EN EL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO.



B INVIERNO

a la altura de Soto la Marina (Ogawa, et. al., 1980). Debido a la defensa natural que representa el remolino ciclónico en la Bahía de Campeche, la principal trayectoria de la mancha del derrame fué por la parte Norte de dicho remolino, al acercarse éste a las costas de Tamaulipas ocasionó mayor afluencia de manchas en las costas del mismo estado y las de Texas.

2.- VARIACIONES METEOROLÓGICAS DURANTE EL UCESO, FORMACIÓN Y TRAYECTORIA DE LOS HURACANES:

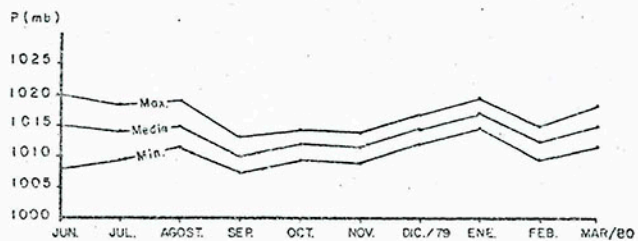
2.1.- VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS DURANTE EL ACCIDENTE:

Las condiciones meteorológicas en el Golfo de México durante el período de junio de 1979 a marzo de 1980, se caracterizaron por los cambios de circulación de los vientos dominantes del Este durante el verano hasta mediados del otoño, y por los cambios de los vientos del Norte y del Oeste durante el invierno y principios de primavera. En esta época se provocó una inestabilidad dinámica del aire en la zona del Golfo y los vientos dominantes del Norte originaron chubascos asociados con frentes en la región Sur del Golfo.

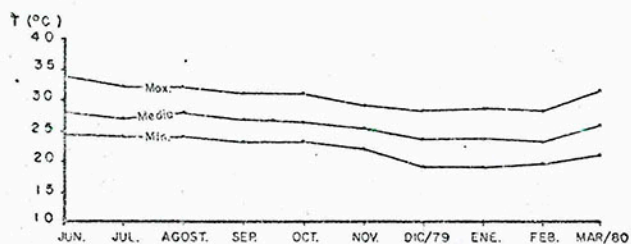
Después del accidente del Pozo Ixtoc-I, se presentó un tiempo estable consistente con las variaciones del mar, sin embargo, al entrar el período de "nortes", el estado del mar fué perturbado, de tal manera, que impedía a menudo las operaciones de control del pozo y el derrame.

En la época de verano, en la Sonda de Campeche, se registró un clima caluroso y húmedo, característica del clima tropical caribeño, lo cual provocó un aumento en la temperatura del aire (32°C) y el mar (29°C). Este aumento originó, en el área del Pozo Ixtoc-I, un proceso más rápido en la evaporación del derrame de petróleo, que podría ser cerca de 30% según la propiedad física del crudo del Ixtoc-I.

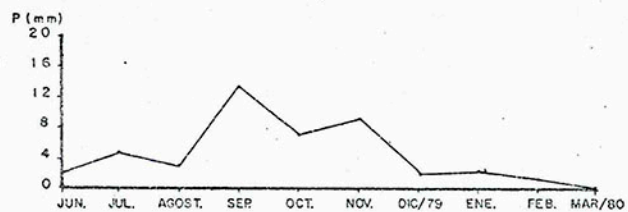
El cambio estacional de verano a invierno ocasionó, un desplazamiento progresivo de la masa de aire frío proveniente del interior del continente (EE.UU. y Canadá) provocando una mayor frecuencia de agitación en el mar y una leve disminución de la temperatura del aire del orden de 4°C. Esta penetración del aire provocó, en la región Sur del Golfo, un movimiento complejo de las manchas de aceite a lo largo



A - SISTEMA ATMOSFÉRICO

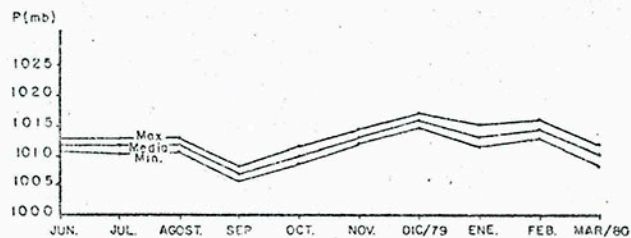


B - TEMPERATURA DEL AIRE

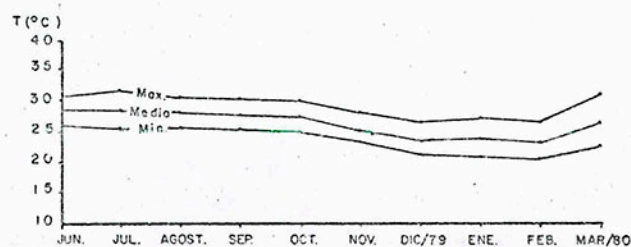


C - PRECIPITACIÓN

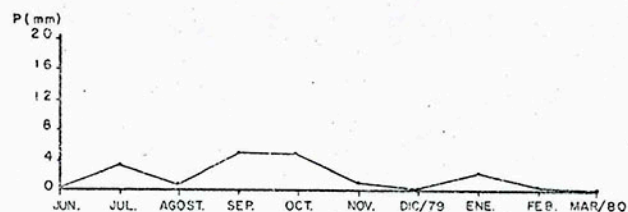
FIG. 2 VARIACION MENSUAL DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS EN COZUMEL, Q.ROO.



A - SISTEMA ATMOSFÉRICO



B - TEMPERATURA DEL AIRE



C - PRECIPITACIÓN

FIG. 3 VARIACION MENSUAL DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS EN PROGRESO, YUC.

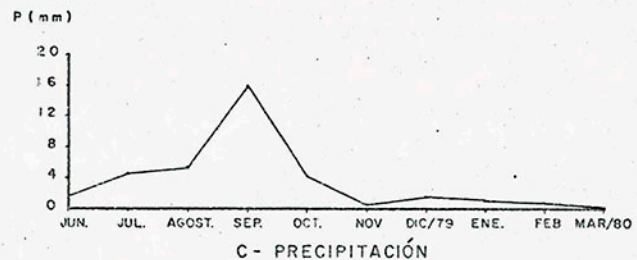
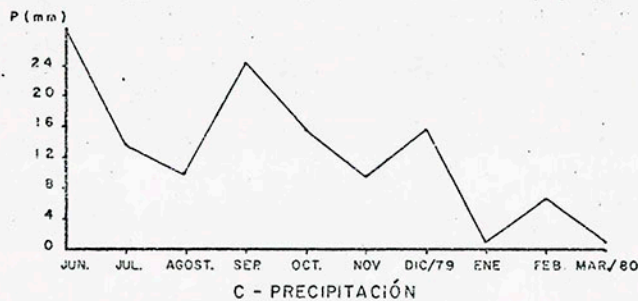
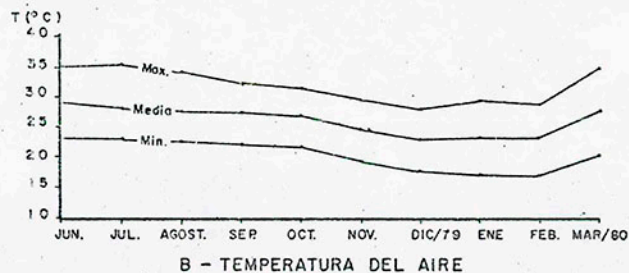
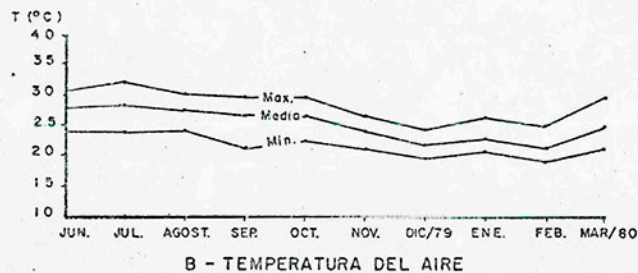
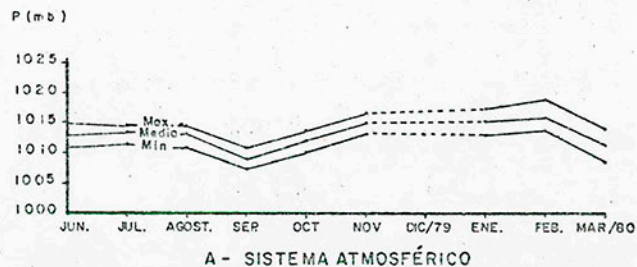
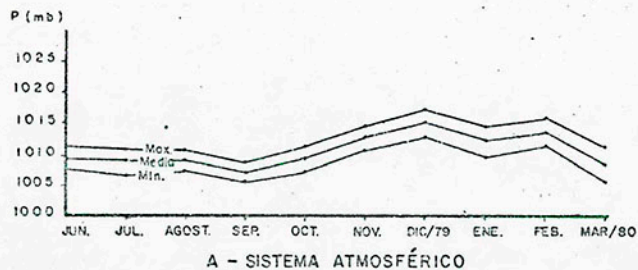


FIG. 4 VARIACIÓN MENSUAL DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS EN COATZACOALCOS, VER.

FIG. 5 VARIACIÓN MENSUAL DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS EN CAMPECHE, CAMP.

45

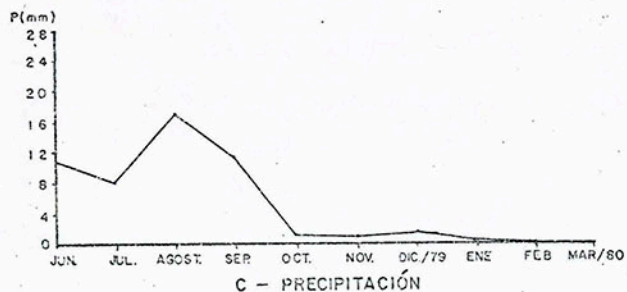
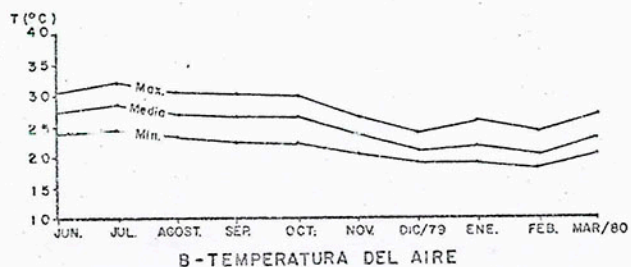
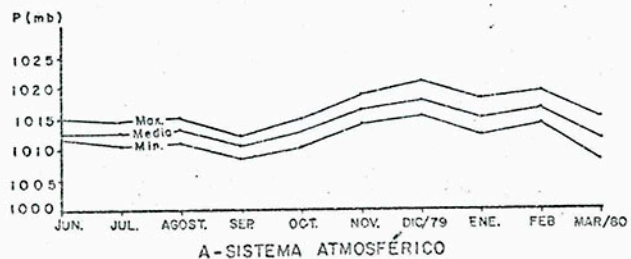


FIG. 6 VARIACIÓN MENSUAL DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS EN VERACRUZ, VER.

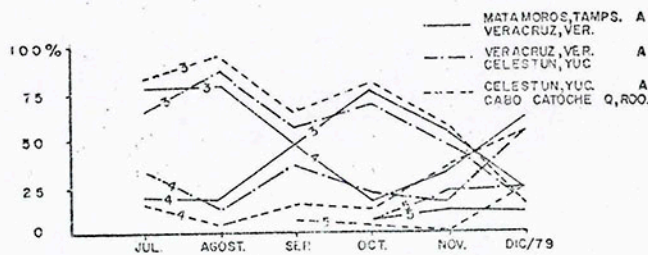
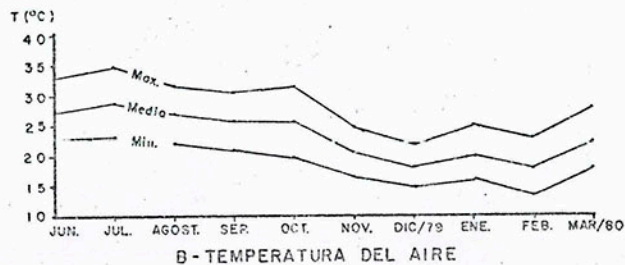
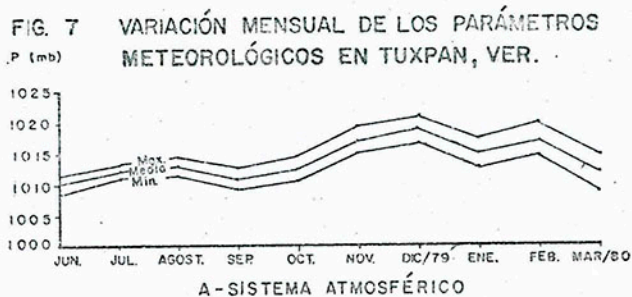


FIG. 8 VARIACIÓN MENSUAL DE ESTADO DE MAR EN EL GOLFO DE MÉXICO (ESCALA DE BEAUFORT).

de las costas de los estados de Tamaulipas y Veracruz, además de la contracorriente litoral que existe en estos estados.

Los datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Mexicano de los principales puertos adyacentes al Golfo de México y Mar Caribe (Cozumel, Q.R.; Progreso, Yuc.; Campeche, Camp.; Coatzacoalcos, Ver.; Veracruz, Ver. y Tuxpan, Ver.), permitieron analizar más detalladamente la situación climática durante el accidente del Pozo Ixtoc-I (figs. 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8).

2.1.1.- Presión Atmosférica.-

En la mayor parte de la región del Golfo se observó una disminución muy notoria de la presión (1007 mb) en el mes de septiembre de 1979, debido al paso del huracán "Henri", tendiendo a aumentar hacia diciembre. De enero a marzo de 1980, el clima fué perturbado por la masa de aire del Caribe, lo cual provocó una mayor variación en el sistema atmosférico.

2.1.2.- Temperatura del Aire.-

La temperatura del aire varió entre 35°C (máxima) en Campeche (Julio) que fué 2°C superior al valor normal de esta época, y 16°C (mínima) en Tuxpan (febrero), siendo la diferencia promedio entre máxima y mínima de 10°C. Esta alza térmica implicó una mayor intemperización de hidrocarburos derramados, dificultando la operación de recogida de aceite mediante las técnicas mecánicas. En el Sur del Golfo la temperatura media del aire se mantuvo casi 26°C en verano y 24°C en invierno, excepto la estación de Tuxpan en donde se registró mayor influencia de la masa de aire frío del continente norteamericano por su localización con temperatura de 19°C en invierno.

2.1.3.- Precipitación.-

Según la estadística del Servicio Meteorológico Mexicano en el área de Campeche, el período de lluvia comienza a partir de junio con una precipitación promedio de 160 mm. y termina en el mes de octubre, siendo la mínima lluvia de 35 mm. en la época de primavera (abril), sin embargo, en el año de 1979 la precipitación fue muy pequeña sobre la costa mexicana del Golfo, desde la fecha del accidente (3 de junio) hasta el mes de Octubre y en la parte Occidental del Golfo (Tuxpan, Veracruz y Coatzacoalcos), se registró una mayor precipitación (15 mm.) que en la parte Sur del Golfo (Campeche, Progreso y Cozumel: 4mm). en éste período, debido a la presencia del sistema montañoso de México.

Es importante hacer notar que el huracán "Henri" provocó un incremento en la precipitación en la parte Suroeste y Sur del Golfo de México en el mes de septiembre de 1979.

2.1.4.- Estado del Mar.-

Debido a la formación de dicho huracán en el Mar Caribe, se produjo una anomalía en el estado del mar, la presión atmosférica y la precipitación, sobre toda la costa Oriental Mexicana, por lo cual aumentó la intensidad de agitación de mar en la escala de Beaufort de 3 a 4. A partir del mes de octubre de 1979, se sintió la influencia de la penetración del aire Norte sobre la región del Golfo con la aparición del Beaufort 5, tendiendo a aumentar en Diciembre. Con esta situación del estado del mar, de octubre de 1979 a febrero de 1980, se realizaron operaciones necesarias con menor intensidad que en los meses anteriores siendo difícil y peligrosa la maniobra de recolección y control del pozo (cuadro 1).

FECHA		1 9 7 9						1 9 8 0					
		JUN.	JUL.	AGOST.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	
CONTROL DEL POZO	OPERACIÓN												
	PERFORACIÓN DEL IXTOC 1-A	12			PERFORACIÓN				5				
	PERFORACIÓN DEL IXTOC 1-B E INYECCIÓN		2	PERFORACIÓN			20	INYECCIÓN		9			
	INYECCIÓN DE BALINES POR CABEZAL		5	22			5	17					
	OPERACIÓN DE TAPONAMIENTO										20	25	
	VIGILANCIA	3										7	
CONTROL DEL DERRAME	RECOLECCION DE ACEITE POR SKIMMERS	FRAMO	18	principio									
		OIL MOP		15	finis								
		SOCK	12	17	25	12							
		CYCLONET			2	7							
		OWOCRS			13	3							
		VIKOMA			principios		28						
	DISPERSIÓN.	AERONAVE		23						14			
		EMBARCACIÓN				30							19
		OPERACIÓN SOMBRERO			9 CONSTRUCCIÓN		P						
		LIMPIEZA DE PLAYAS	P										
	INVESTIGACIÓN			P									

CUADRO I CALENDARIO DE LAS PRINCIPALES OPERACIONES REALIZADAS

2.2.- FORMACIÓN DE HURACANES:

La circulación atmosférica fue afectada de julio a septiembre de 1979, por la formación de seis huracanes "Bob", "Claudette", "David", "Elena", "Federico" y "Henri" (cuadro 2).

La figura 9, muestra la trayectoria y fecha de los huracanes, apreciándose que algunos de ellos, realizaron movimientos un tanto complejos e impredecibles. De estos huracanes, el que ocasionó perturbaciones sobre la deriva, la evaporación y la emulsificación de petróleo fue el "Henri" por su cercanía a la zona accidentada.

El huracán "Henri", se inició en los 18.0° Lat. N, 87.0 Long. W, en el mar Caribe y finalizó en los 26.3° Lat. N, 87.5 Long. W, al Sur del estado de Louisiana (EE.UU.), se dirigió a la Sonda de Campeche con una presión mínima de 984 mb. y un desplazamiento de 12 Km/h. aproximadamente.

CUADRO 2

CARACTERÍSTICAS DE HURACANES FORMADOS EN EL PERIODO DE JULIO-DICIEMBRE DE 1979.

Nombre de Huracán	Fecha		P o s i c i ó n				Velocidad Promedio del desplazamiento (km/h)	Presión mínima registrada (mb)
	Inicial	Final	Inicial		Final			
			Lat. (N)	Long. (W)	Lat. (N)	Long. (W)		
Bob	9/Jul (12h)	12/Jul (4h)	21.0	92.0	32.0	90.0	22.2	987
Claudette	16/jul (22h)	25/jul (23h)	16.5	53.0	30.7	95.0	23.55	--
David	22/Agt (6h)	7/Sep (7h)	12.0	24.0	45.2	69.5	24.05	--
Elena	27/Agt (6h)	2/Sep (22h)	23.0	97.0	29.0	96.0	15.275	--
Federico	30/Agt (6h)	14/Sep (7h)	11.5	31.5	34.0	87.7	20.98	945
Henri	14/Sep (7h)	25/Sep (16h)	18.0	87.0	26.3	87.5	11.753	984

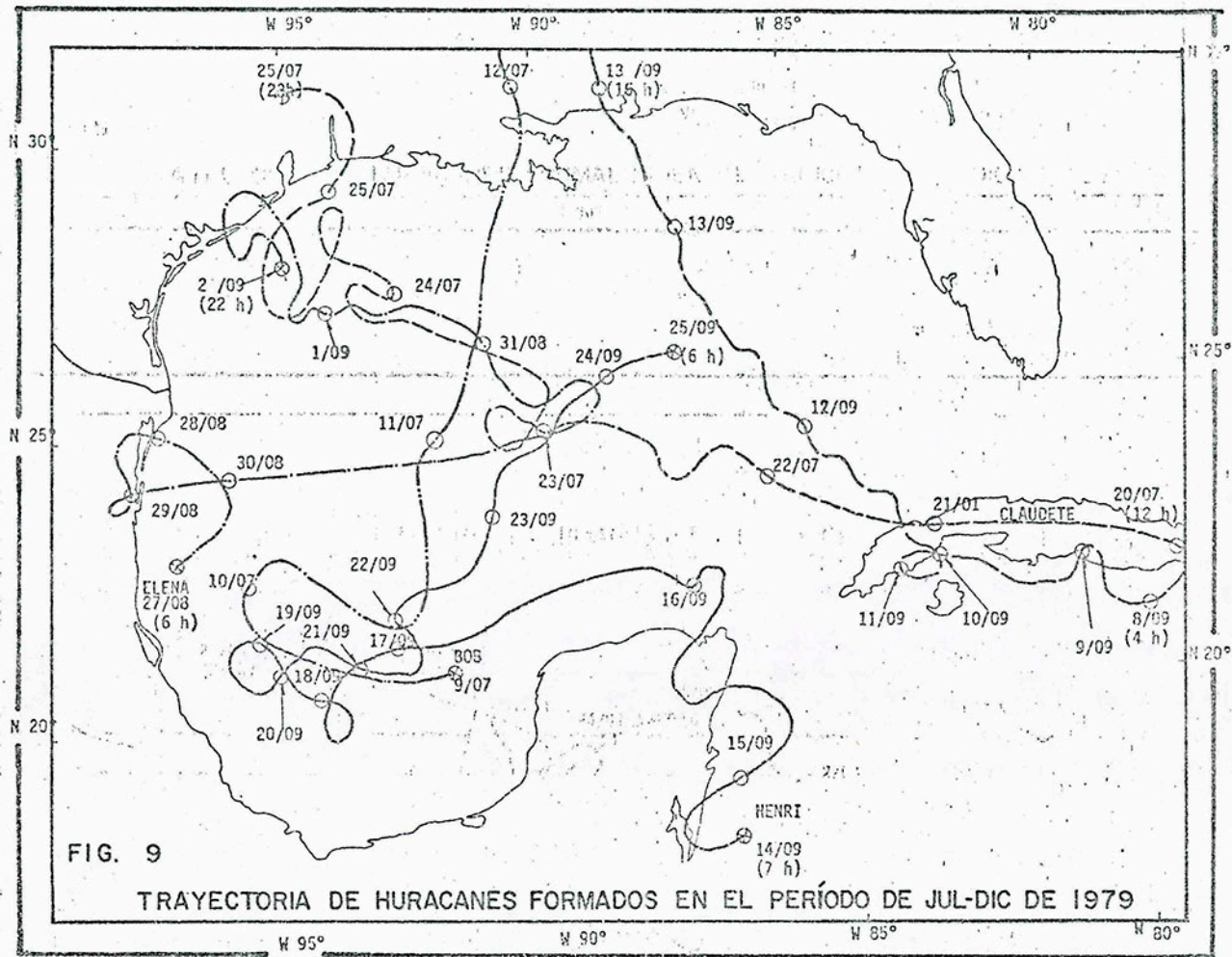


FIG. 9

TRAYECTORIA DE HURACANES FORMADOS EN EL PERÍODO DE JUL-DIC DE 1979

3.- EVOLUCIÓN DEL DERRAME Y DISTRIBUCIÓN DE LAS MANCHAS DE PETRÓLEO:

3.1.- EVOLUCIÓN DE LA FUGA:

De acuerdo a las cantidades derramadas de petróleo del pozo Ixtoc-1, PEMEX estimó que en el inicio del accidente el volumen de la fuga se logró reducir de 30,000 barriles/día a 20,000 barriles/día (14 de julio a 14 de agosto de 1979), después a 10,000 barriles/día (15 de agosto a 26 de noviembre de 1979). A pesar del mal tiempo, a fines de diciembre de 1979, se logró inyectar 2,400 barriles de agua de mar, a través de un pozo direccional, con lo cual se redujo el flujo de hidrocarburos hasta 2,000 barriles/día; finalmente, del 1º de enero al 23 de marzo de 1980, dos días antes del taponamiento total del pozo, la fuga disminuyó a 1,440 barriles/día. (*PCEESC, 1980; fig. 10).

Según las cifras estimadas por PEMEX, en el período comprendido del 3 de junio hasta el 24 de marzo de 1980, del pozo Ixtoc-1 se derramó un volumen aproximado de 3'100,000 barriles de petróleo, de los cuales, el 58% se quemó y evaporó; el 3.4% se recuperó mediante "skimmers"; el 5.5% se recolectó mediante el "sombrero"; el 28.5% fue dispersado y el 4.5% quedó a la deriva (fig. 1). De los antes señalado se ha estimado, por su volumen, el derrame más grande del mundo (cuadro 3).

3.2.- DISTRIBUCIÓN DE LAS MANCHAS DE PETRÓLEO:

Parte del petróleo que quedó expuesto a la deriva se dispersó en forma de manchas con longitudes máximas continuas de 15 Km. y un ancho de hasta 2 Km., estas manchas avanzaban como una sucesión de listones que, desde observaciones aéreas, a veces daban el aspecto

*Programa Coordinado de Estudios Ecológicos en la Sonda de Campeche.

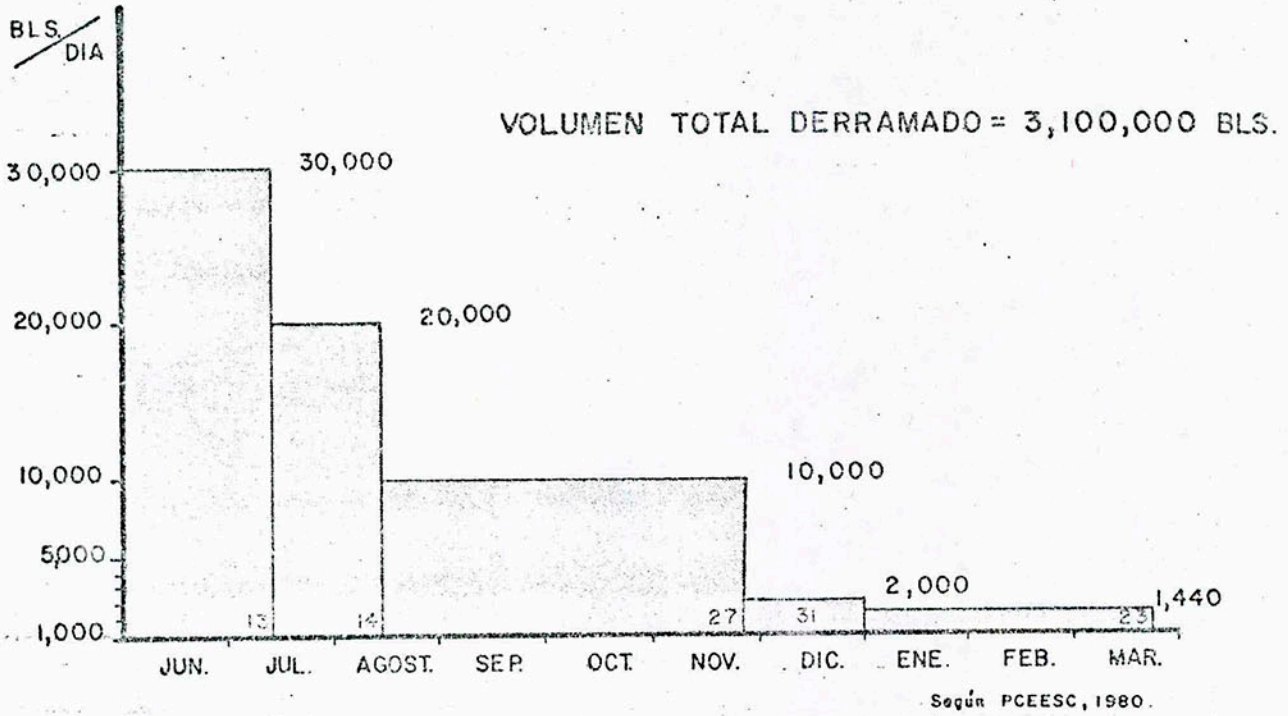


FIG. 10 EVOLUCIÓN DIARIA DEL DERRAME DEL IXTOC I

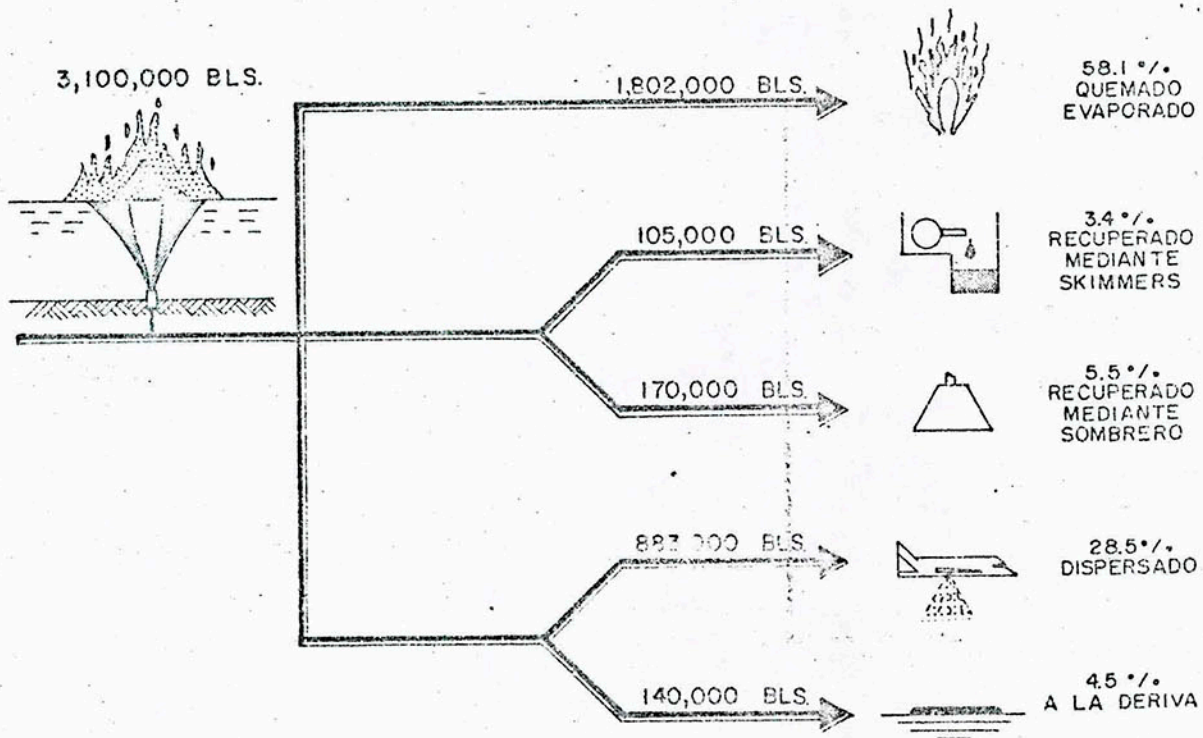


FIG. 11 ESTIMACIÓN DE LOS VOLUMENES DE DERRAME

	CANTIDAD DE DERRAME TON. BLS. x 10 ³	LOCALIZACIÓN	NOMBRE DEL PETROLERO O PLATAFORMA	FECHA DEL ACCIDENTE	CAUSA DEL ACCIDENTE	PERJUICIO (MILLONES)	COSTO DE LIMPIEZA (MILLONES)	COSTO DE LIMPIEZA POR DÍA (MILES)
1	484.3 3,100.	GOLFO DE CAMPECHE	POZO IXTOC I	3 JUNIO '79	FUGA	-	-	-
2	220. 1,396.	FRANCIA	AMOCO-CADIZ	17 MAR. '78	VARADA	-	84 (DOLARES)	93 (DOLARES)
3	117. 737.1	INGLATERRA	TORREY CANYON	18 MAR. '67	VARADA	69 (LIBRAS)	16 (LIBRAS)	-
4	115. 724.5	GOLFO DE OMÁN	SEA STAR	19 DIC. '72	-	-	-	-
5	99. 623.7	OCEANO PACÍFICO	HAWAIIAN PATRIOT	23 FEB. '77	-	-	-	-
6	60 - 100 378 - 630	MAR BÁLTICO	OTHELLO	20 MAR. '70	-	-	-	-
7	88. 554.4	ESPAÑA	URQUIOLA	12 MAYO '75	VARADA	-	-	-
8	84. 529.2	PORTUGAL	JAKOB MAERSK	19 ENE. '75	-	-	-	-
9	63. 396.9	SUDAFRICA	WAFRA	27 FEB. '71	COLISION	-	-	-
10	51.5 324.5	ESTRECHO DE MAGELLAN	METULA	9 AGO. '74	VARADA	-	-	-
11	43. 260.9	MAR INTERIOR DE JAPON	REFINERIA MIZUSHIMA	16 DIC. '74	ROTURA DE TANQUE	57 (DOLARES)	44 (DOLARES)	244 (DOLARES)
-	11.35 71.	PUERTO RICO	OCEAN EAGLE	3 MAR. '63	VARADA	-	2 (DOLARES)	-
-	0.632 4.04	U. S. A.	ESTUARIO DE OHKLAND	18 ENE. '73	ROTURA DE TANQUE	-	1.2 (DOLARES)	120 (DOLARES)

Según CON DATOS DE BUTLER, 1978

CUADRO 3 PRINCIPALES DERRAMES EN EL MUNDO

de una telaraña, extendiéndose desde la Península de Yucatán hasta la cota del estado de Texas, EE.UU. (fig. 12).

Mediante observaciones aéreas realizadas desde los aviones de PEMEX, de la Armada de México y de las fotografías de satélite que proporcionó la *NOAA, sobre la ubicación y extensión de las manchas de petróleo procedentes del Ixtoc-1; se analizó estadísticamente las variaciones vectoriales de las principales manchas encontradas durante los meses de julio a diciembre de 1979 y de enero a marzo de 1980.

Del análisis se determinó que la componente direccional del derrame desde el pozo fue predominante Noroeste-Oeste-Suroeste, durante los ocho meses (fig. 13) lo cual indica que el comportamiento dependió principalmente de la dirección de las corrientes marinas.

Por otra parte, el viento ocasionó cambios considerables tanto en la dirección como en la velocidad de desplazamiento del derrame, dispersando el petróleo en todos sentidos, dicha difusión fue muy marcada en los meses de septiembre y noviembre.

Durante los meses de julio y agosto las manchas se desplazaron hacia las costas de los estados de Veracruz y Tamaulipas, desviándose en algunas ocasiones hacia el Noroeste y Nornoroeste por efecto del remolino ciclónico y la batimetría de la región (fig. 14).

*National Oceanic and Atmospheric Administration.

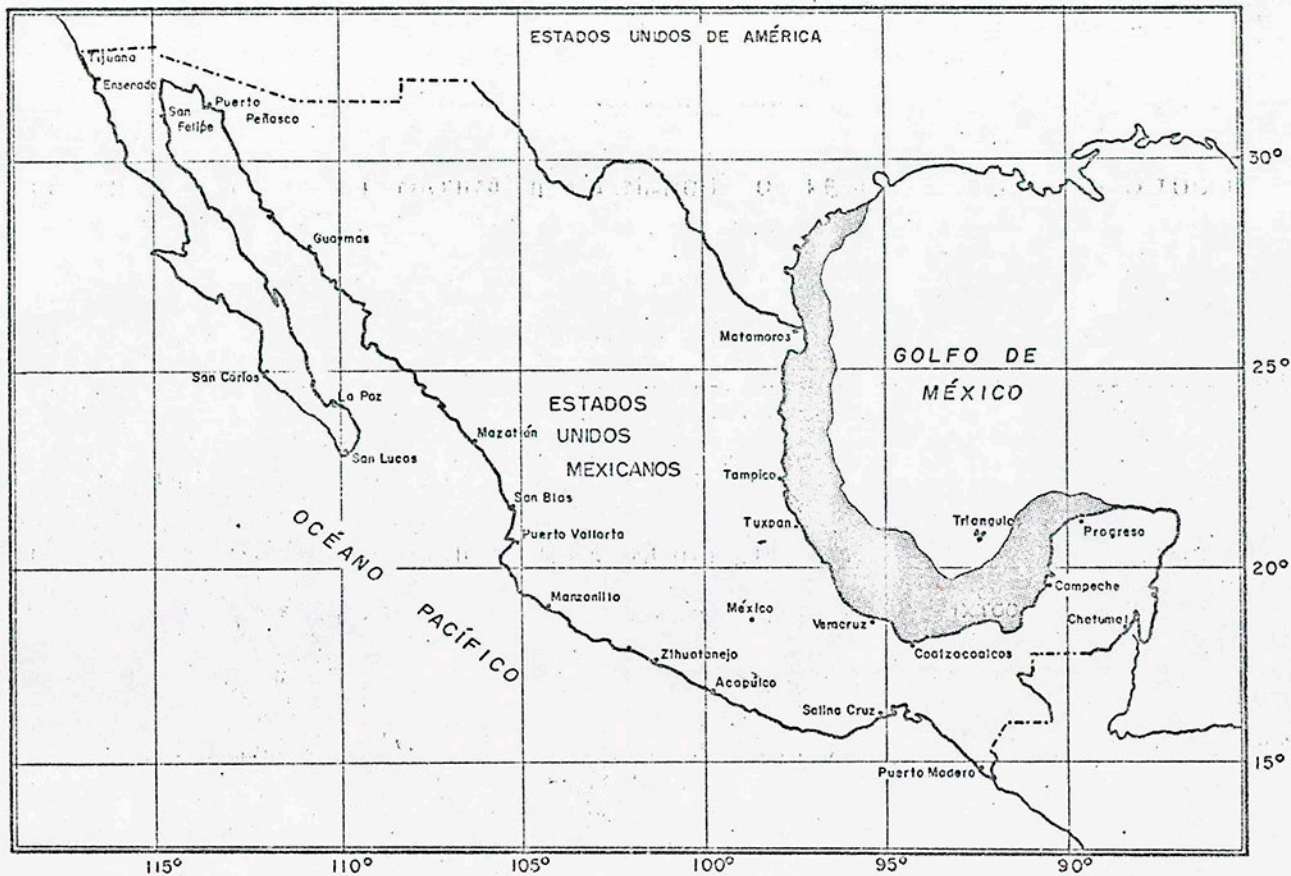


FIG. 12 EXTENSION MÁXIMA DE LA MANCHA DE PETRÓLEO DEL POZO IXTOC 1

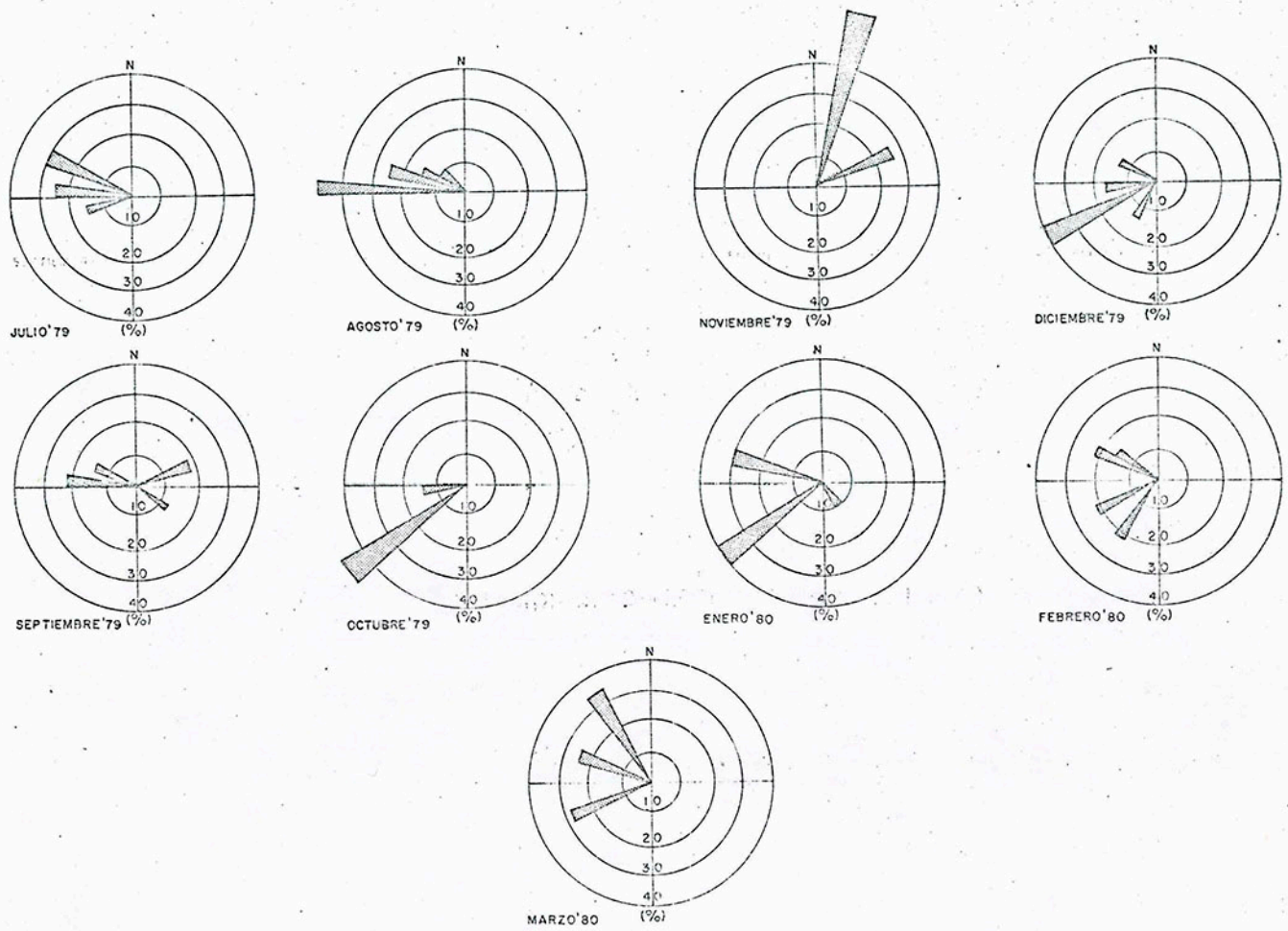


FIG. 13 VARIACIONES DIRECCIONALES DEL DERRAME.

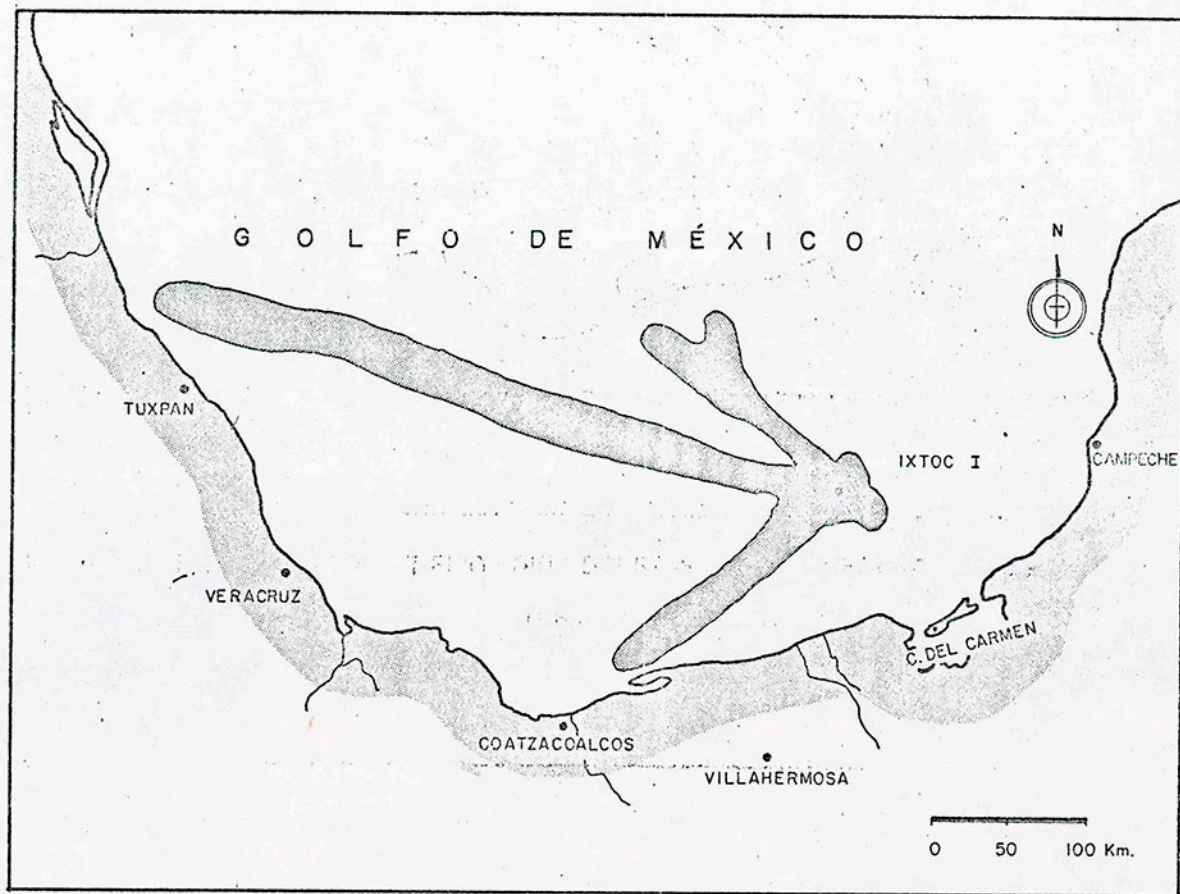


FIG. 14 DESPLAZAMIENTO TÍPICO DEL DERRAME EN EL VERANO DE 1979.

4.- ANOMALÍAS DE DISPERSIÓN DE LAS MANCHAS:

El importante señalar que una vez terminada la época de los huracanes, a fines de septiembre, la dirección de la corriente cambió debido al viento del Norte provocando alteraciones anómalas en la trayectoria de las manchas de petróleo.

4.1.- EFECTO DEL HURACAN HENRI SOBRE LAS MANCHAS:

El huracán que causó más anomalías fue el "Henri" originando una aproximación de los fragmentos y manchas de petróleo a la Isla del Carmen, Camp., luego hacia la Península de Yucatán. Las figuras 15 y 16, muestran la deriva anómala del derrame por efecto del huracán "Henri". Según observaciones realizadas, éste huracán penetró el 16 de septiembre de 1979 con una velocidad de 12 a 15 nudos hacia la bahía de Campeche, ocasionando que la mancha al principio se mantuviera a 37 Km. de la costa de Ciudad del Carmen y Chenkán, Camp., con rumbo al Este (90°) cambiando a Sureste ($120-150^\circ$) y se encontraba formada por cordones y fragmentos aislados con núcleos compactos y fuerte desprendimiento de iridiscencia. El 17 de septiembre, la mancha se compactó con un ancho de 0.5 a 1.5 Km., cambiando hacia rumbo 360° . Cuando se encontraba el centro del huracán en la costa cercana del estado de Veracruz (19 de septiembre), se presentó otra anomalía en la trayectoria de la mancha ya que se dirigió con rumbo $60-90^\circ$ del Ixtoc-I. El 21 de septiembre el derrame siguió con rumbo variable de $40-115^\circ$ del pozo mientras que el viento soplaba hacia el Este-Sureste (fig. 17); durante los primeros 40 Km. se observaron dos brazos, uno con rumbo 55° que se extendió hasta 100 Km. y otro pequeño con rumbo 110° que derivó hasta 60 Km. del pozo. Para evitar el arribo del derrame, se aplicaron dispersantes a las dos manchas que se situaban frente a la Laguna Celestún y Real de Salinas, Yuc. El 23 de septiembre, cuando se alejó el huracán de la región, el derrame cambió su curso hacia el Noroeste ($310^\circ-320^\circ$). El 26 de septiembre después de

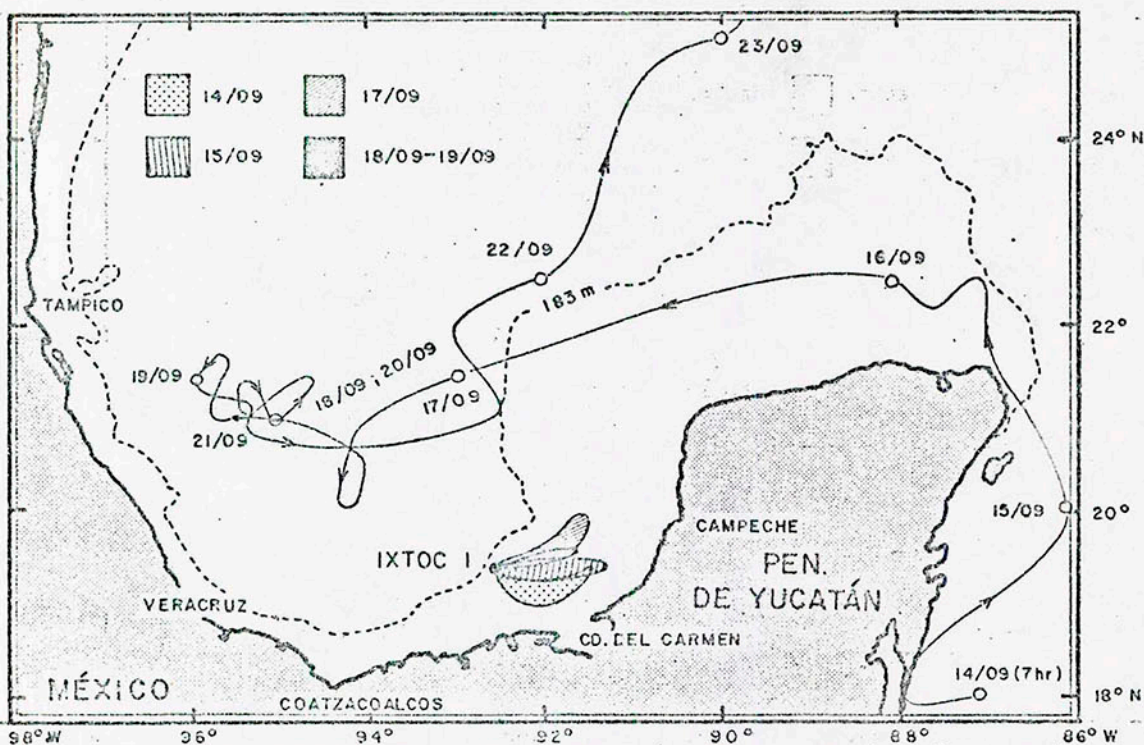


FIG. 15. DERIVA DEL DERRAME Y TRAYECTORIA DEL HURACÁN "HENRI" CON DATOS DURANTE 14-19 DE SEPTIEMBRE DE 1979 (SEGÚN CON DATOS DEL SERVICIO METEOROLÓGICO MEXICANO, 1979)

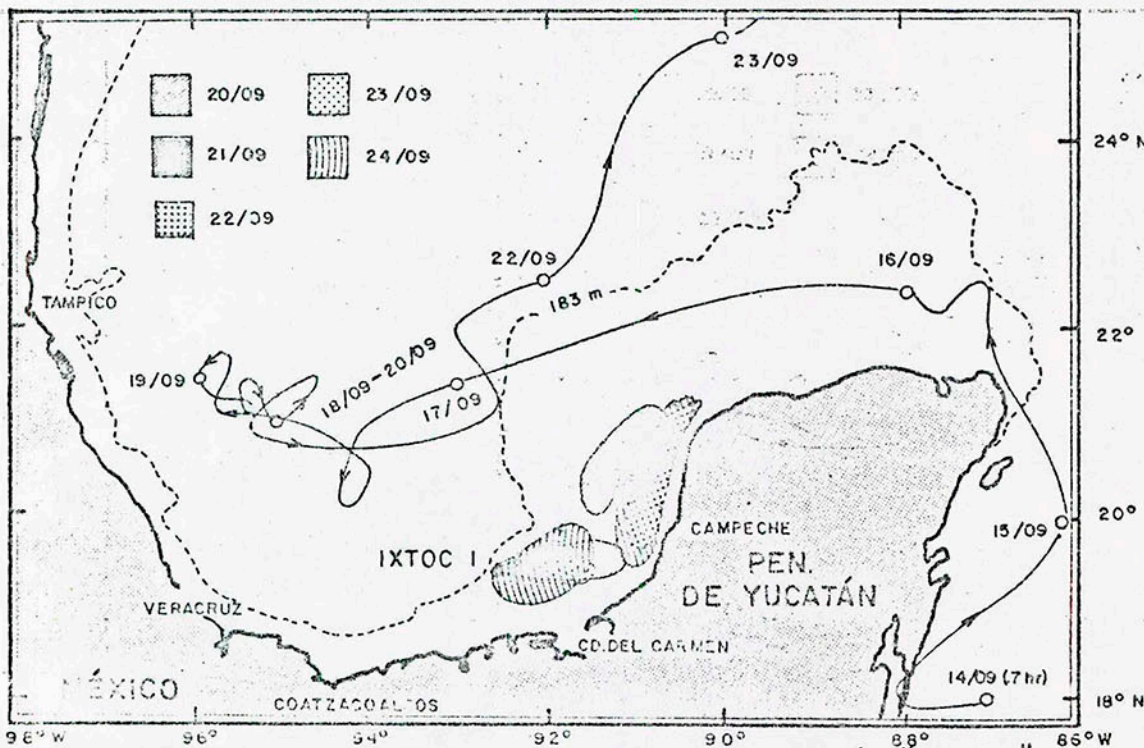


FIG. 16 DERIVA DEL DERRAME Y TRAYECTORIA DEL HURACÁN "HENRI" DURANTE 20-24 DE SEPTIEMBRE DE 1979 (SEGÚN CON DATOS DEL SERVICIO METEOROLÓGICO MEXICANO, 1979)

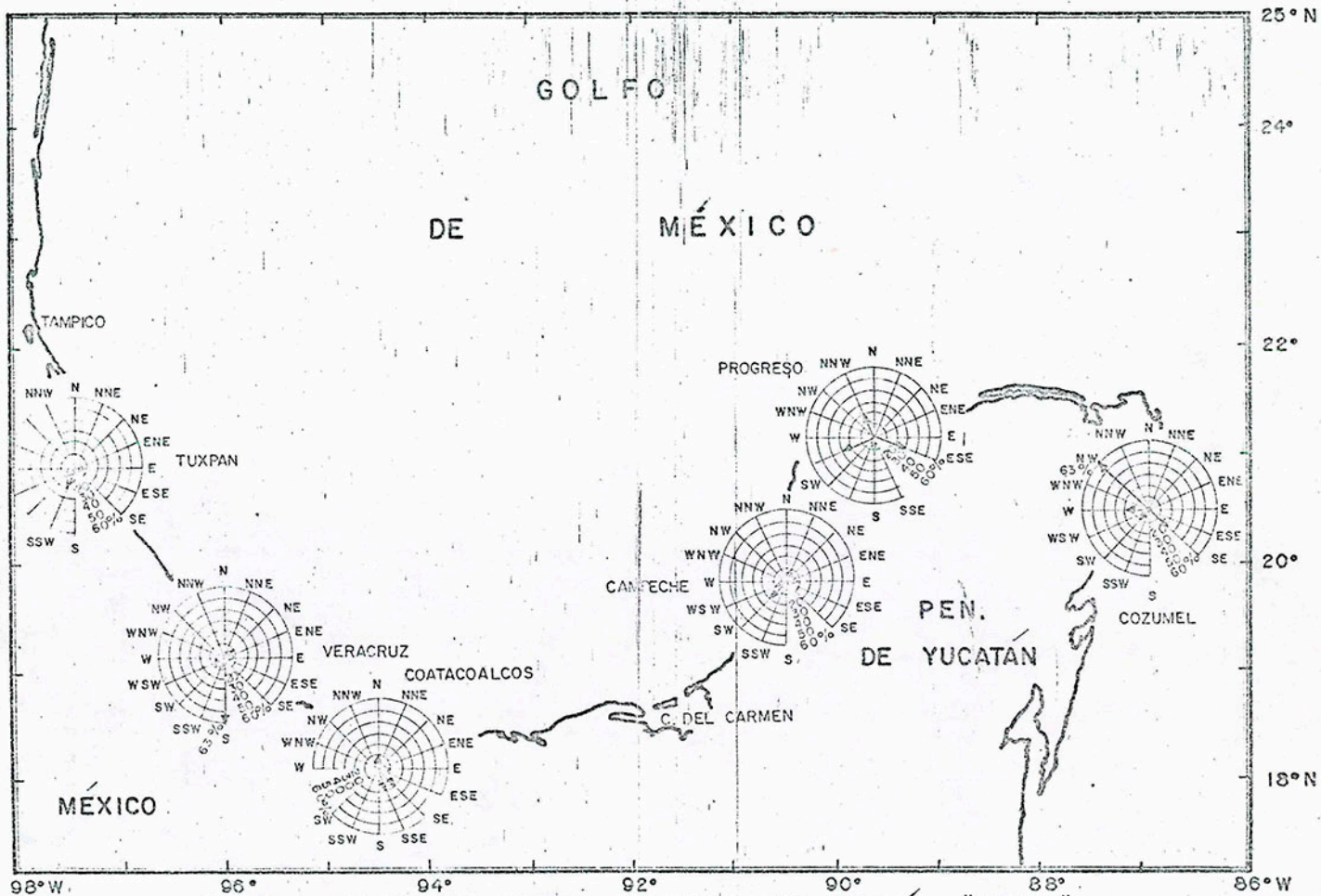


FIG. 17 ROSAS DE VIENTO DURANTE EL HURACÁN "HENRI"
(DEL 14-24 DE SEPTIEMBRE DE 1979)

1
62
1

pasar totalmente el huracán "Henri" en el área se encontró que la mancha se dirigía con rumbo Sureste 140° cambiando el curso de días anteriores, además se observó que la mancha se empezó a bifurcar en listones más uniformes.

4.2.- ANOMALÍA DE DISPERSIÓN POR UN NORTE:

El golfo de México, está ampliamente influenciado, como ya se ha señalado, por el intercambio de masas de aire frío y seco provenientes del interior del continente norteamericano con las masas propias del Golfo, de origen marítimo y del Mar Caribe de características tropicales. Este intercambio entre masas de aire con características diferentes provoca en ocasiones una fuerte fricción, fundamentalmente entre los meses de octubre y febrero.

Durante el período del 1º al 3 de octubre de 1979 se presentó un "norte", afectando la totalidad del Golfo, debido al gran radio de acción de sus vientos máximos (fig. 18). Este provocó, en el área del derrame, anomalías en el desplazamiento de la mancha. El 1º de octubre, la intensidad del viento se incrementó provocando que la mancha tuviera una dirección de 135° (Sureste), la mancha se localizó a 15 Km. de la costa de Ciudad del Carmen. El día 3 de octubre, el derrame del pozo continuó dirigiéndose hacia el Sur y luego frente a las costas de Sabancuy, Champotón y Campeche, Camp., se localizaron extensas zonas de iridiscencia (fig. 19).

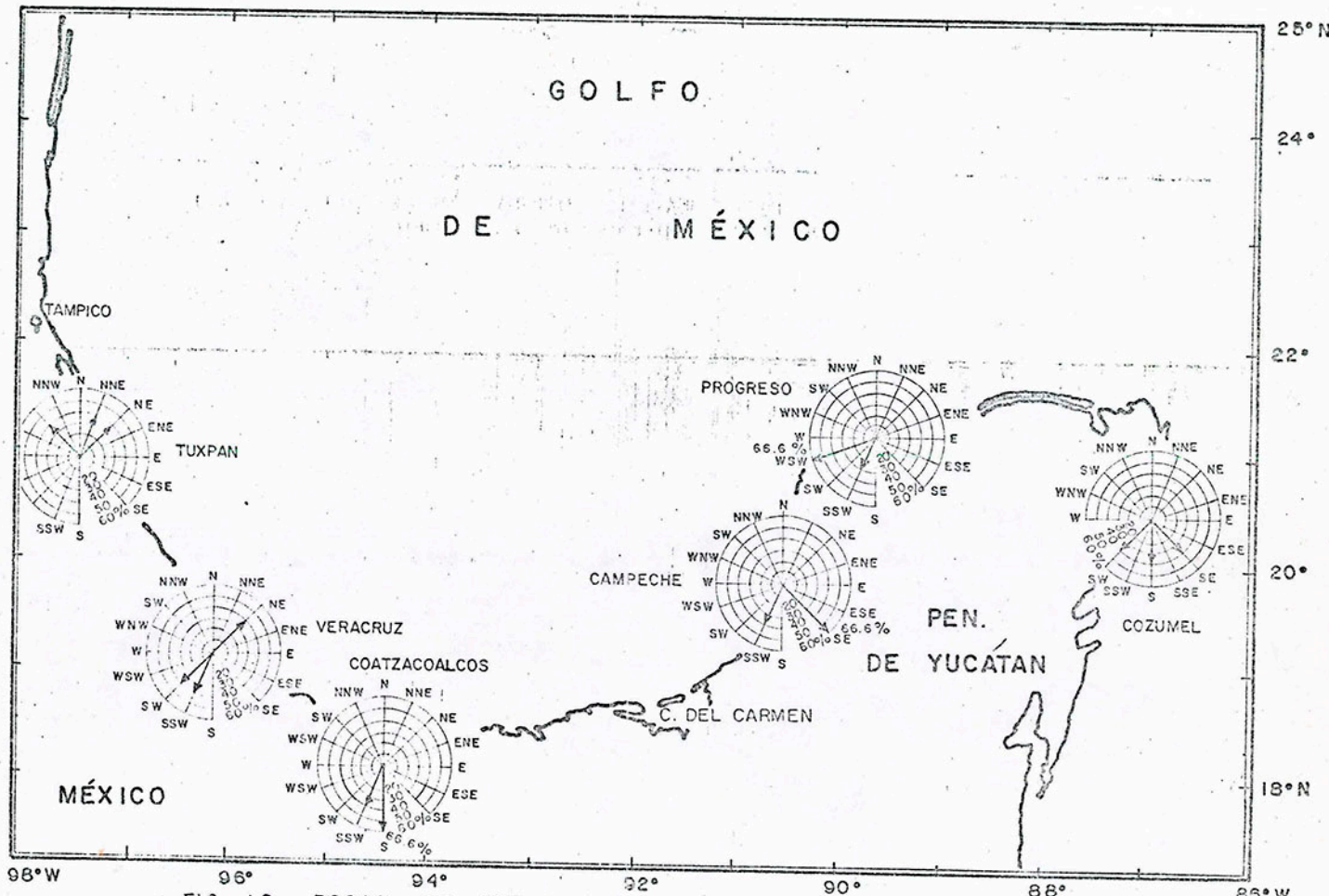


FIG. 18 ROSAS DE VIENTO DURANTE EL NORTE (DEL 1-3 DE OCTUBRE DE 1979)

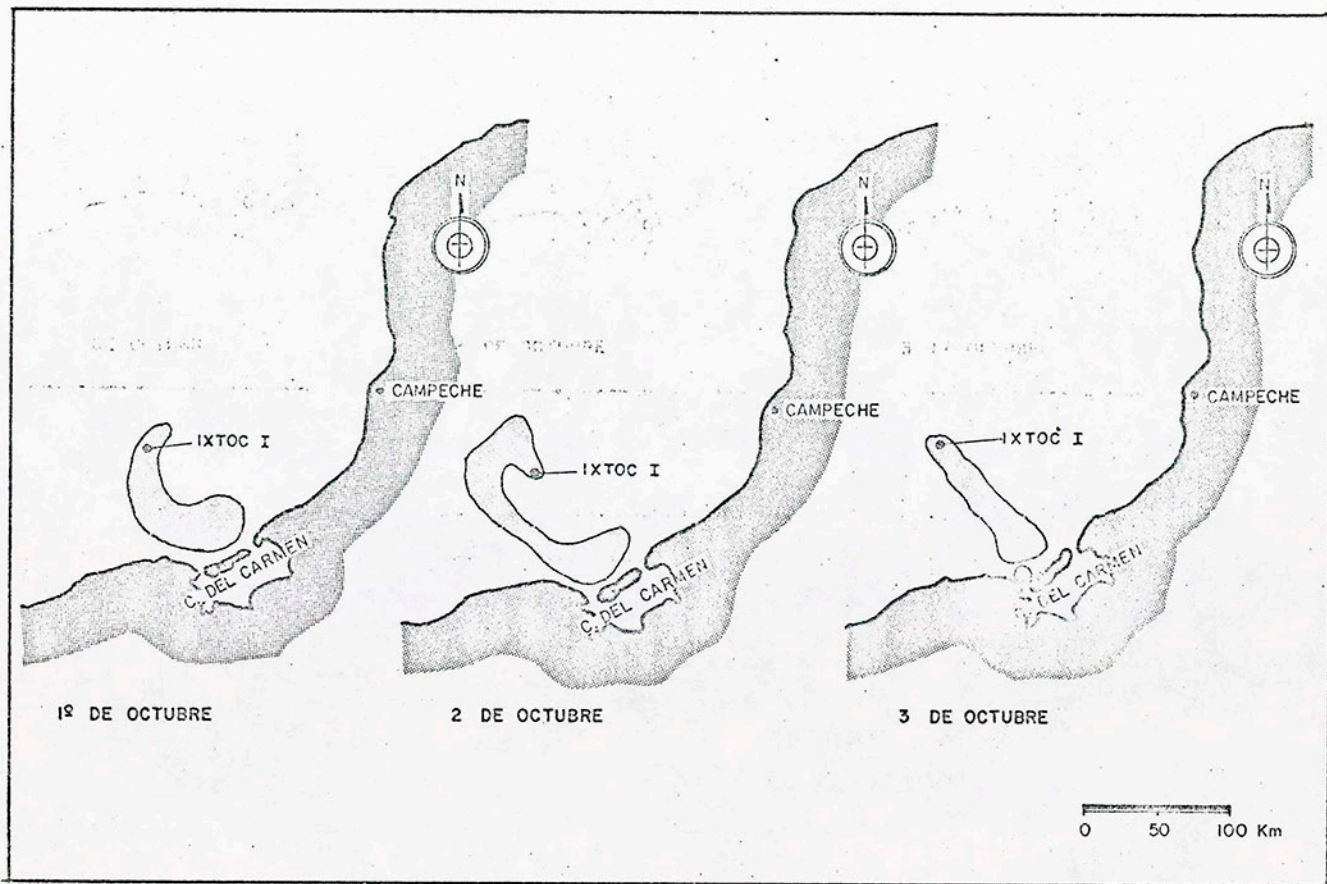


FIG. 19 TRAYECTORIA ANÓMALA DE LA MANCHA, 1-3 DE OCTUBRE DE 1979.

5.- CONCLUSIÓN :

Es evidente que el control de la fuga de aceite y gas natural, así como el derrame de petróleo, no fue una tarea fácil, aún utilizando los métodos más avanzados, pues éste se extendió desde las costas del estado de Yucatán, en la República Mexicana, hasta las de Texas en los Estados Unidos, en forma de manchas pastosas iridiscentes y de alquitrán, siendo su desplazamiento dominante hacia el Oeste, a causa de la corriente asociada con un remolino ciclónico en la bahía de Campeche, que penetra por el canal de Yucatán. Esta deriva, en ocasiones, fue perturbada por las condiciones atmosféricas en la zona, por efecto de los huracanes, los cuales atravesaron el centro del Golfo de México, provocando fuertes lluvias y vientos, en particular el "Henri".

Este huracán fue el que provocó mayor efecto, pues ocasionó una anomalía en la trayectoria de las manchas del petróleo, por pasar más cerca de la zona accidentada, llegando éstas a la costa Oeste del estado de Yucatán, y a toda la costa del estado de Campeche, en contrasentido de las corrientes marinas existentes en esa zona.

Por otro lado, en el período de invierno, se observó que el efecto del viento del Norte, que sopla frecuentemente a lo largo de las costas occidentales del Golfo, provocó un cambio en la componente direccional dominante del derrame desde el pozo Ixtoc-I, lo cual señala que el factor viento es muy importante en el cálculo de la deriva de manchas en la zona de pequeña profundidad en el mar aún existiendo una corriente fuerte y permanente.

B I B L I O G R A F Í A

- Butler, J. N., 1978; A Review of 30 of the Largest Oil Spills from 1942 to 1978, with Emphasis on the Need for a Systematic Global Reporting Procedure Open to the Public. Ocean Industry, Oct. 1978. Houston, pp. 101-112.
- Emilsson, I., 1976; Regional Oceanography as it Relates to Present and Future Pollution Problems and Living Resources. IOC/FAO/UNEP, International Work Shop. p. 23.
- Geyer, R. A. and Giammona, C.P., 1980; Naturally Occuring Hydrocarbons in the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. In: Marine Environmental Pollution, vol. 1, Hydrocarbons. Elsevier Scientific Publishing Co., New York, pp. 37-106.
- Hardin, J. L. and Nowlin, W.D., 1966; Gulf of Mexico, the Encyclopedia of Oceanography. pp. 324-330.
- Jiménez, A. R., 1977; Cálculo del Transporte Geostrófico en la Parte Suroeste del Golfo de México por el Método Dinámico. Tesis Profesional, Universidad Nacional Autónoma de México, p. 86.
- Ogawa, N. Barud, G. M., Vázquez, A.C., 1980; Reporte Técnico del Derrame del Ixtoc-I, Dirección General de Oceanografía, Secretaría, Secretaría de Marina, México, p. 89.
- Programa Coordinado de Estudios Ecológicos en la Sonda de Campeche (PCEESC), 1980. Informe de los Trabajos Realizados para el Control del Pozo Ixtoc-I, el Combate del Derrame de Petróleo y Determinación de sus Efectos sobre el Ambiente Marino, Instituto Mexicano del Petróleo, p. 242.
- Secretaría de Marina, 1974; Atlas Oceanográfico del Golfo de México y Mar Caribe, México, p. 38.
- Vázquez, A. C., 1979, Circulación del Agua en el Sur-Oeste del Golfo de México, Dirección General de Oceanografía, Secretaría de Marina, México, p. 26.

A S E S O R E S :

Almirante Fernando Piana Lara.
Ing. Francisco González Martínez.

JEFE DE PROYECTO:

M. en C. Gabriel A. Barud Martín.

E L A B O R A R O N :

Dr. Naoharu Ogawa.
M. en C. Marco A. Galicia Pérez.

TÉCNICAS EMPLEADAS DURANTE
EL ACCIDENTE DEL IXTOC - I

Í N D I C E

	Pág.
	73
1.-	75
2.-	77
2.1.-	78
2.2.-	79
2.3.-	81
2.3.1.-	82
2.3.2.-	84
2.4.-	85
2.5.-	86
2.6.-	87
2.7.-	88
3.-	89
3.1.-	90
3.2.-	91
4.-	92
	93
	101

R E S U M E N

El accidente del pozo Ixtoc-I, causó un derrame con dimensiones realmente enormes tanto en volumen como extensión, pues la fuga se mantuvo a lo largo de 9 meses y 21 días en mar adentro, a una distancia de 94 Kms. de la costa (fig. 1).

Dicha situación obligó a gran número de aeronaves, embarcaciones, equipos, materiales y personal durante este período para controlar el pozo y combatir la contaminación, además México por no contar con un plan adecuado para prevenir la contaminación por derrame de hidrocarburos de esa magnitud, ocasionó una gran suma de gastos.

En el accidente Ixtoc-I, hubo una baja eficiencia en la recuperación de derrames y un buen rendimiento en la aplicación de los dispersantes a la comparación con otros accidentes.

A B S T R A C T

The 94 Kms. offshore IXTOC-I oil blowout caused spill with enormous dimensions (fig. 1), both in volumen and in extension that lasted thronhg out nine months and twenty one days.

This situation obligated the use of a great number of air crafts, ships, equipments, materials and personal during the whole period in order to control the blowout and the oil pollution.

The reason it resulted so expensive is that Mexico did not count with its own adequate plan looking out for pollution by oil spills of the mencioned magnitud.

There was low efficiency in the oil spill recovering meanwhile a high yield in chemical application in the IXTOC-I accident in comparisons with other accident.

1.- INTRODUCCIÓN :

En la historia de la contaminación marina por hidrocarburos el accidente del Pozo Ixtoc-I, ha sido muy importante tanto para México como para otros países. Este hecho ha revelado nuevamente que el hombre sigue siendo incapaz ante este tipo de imprevistos, porque no fue posible controlar el pozo accidentado luchando día y noche durante 290 días, empleando diferentes tecnologías muy originales y sofisticadas para remediar la fuga y el derrame de hidrocarburos mar adentro.

El derrame del Ixtoc-I, fue lamentablemente el más grande del mundo en su volumen con 3.1 millones de barriles, según la estimación hecha por PEMEX (Petróleos Mexicanos), cuya cantidad sobrepasó el doble del accidente Amoco Cadiz (cuadro 1), que ocurrió en 1978 en las costas francesas del Canal de la Mancha (CNEXO, 1979), (fig. 2).

Para México el accidente Ixtoc-I, ha significado muchas cosas: en primer lugar, México no estaba todavía preparado en recursos ni en un planteamiento de operación para enfrentar un derrame de esta magnitud, casi igual fue el accidente Urquiola en España, 1976 (Subsecretaría de Marina Mercante de España, 1977; fig. 3), de manera que la mancha de aceite se extendió sobre toda la costa Oeste y Sur del Golfo de México (fig. 4). Solamente en el país, la Oficina de Protección Ambiental, perteneciente a PEMEX, disponía de mínimo equipo anticontaminante (cuadro 2) y personal entrenado.

En segundo lugar el derrame del petróleo se originó en mar abierto a una distancia de 94 Kms. de la costa, como el accidente de Ekofish Bravo, 1977 (Haegh et. al., 1980), cuya situación geográfica dificultó enormemente el desarrollo del trabajo, especialmente para recolectar la mancha de hidrocarburos durante el período de huracanes y "nortes".

En tercer lugar el Ixtoc-I, causó un problema socio-económico

en el país, similar al que sucedió en el accidente de Mizushima en Japón en 1974 (Tsuda, 1976) con los pescadores de las provincias afectadas por el derrame (fig. 5), sin embargo, PEMEX, tomó sus propias medidas con las Cooperativas regionales para asegurar a los pescadores afectados por los derrames, además, estableció a nivel gobierno, una coordinación para dar información sobre el suceso.

A México, un país sin experiencia ni preparación, le ha costado mucho trabajo lograr el control del pozo y sus derrames, los más grandes del mundo hasta hoy, luchando con el máximo esfuerzo que se podría tomar, a continuación veremos algunos aspectos de las técnicas empleadas y sus eficiencias.

2.- TÉCNICAS EMPLEADAS:

2.1.- FUGA DEL POZO:

Durante el suceso, PEMEX empleó muchas técnicas y equipos muy sofisticados para desarrollar los trabajos para el control del accidente, por ejemplo, inspeccionar el cabezal, controlar la fuga, perforar los pozos direccionales, realizar la operación sombrero, contener y recolectar derrames de petróleo, aplicar dispersantes y taponar el pozo. La mayoría de estas operaciones fue realizada del 3 de junio de 1979 al 25 de marzo de 1980, y durante este período 3.1 millones de barriles de hidrocarburos, fluyeron al mar, entre los cuales fue quemado y evaporado el 58.1% (1'802,000 bls.); recuperado mediante dispositivos el 8.9% (275,000 bls.); dispersado el 28.5% (883,000 bls.) y quemado a la deriva el 4.5% (140,000 bls.; fig. 6).

El flujo de hidrocarburos al mar tuvo una duración de 281 días (del 3 de junio de 1979 al 9 de marzo de 1980), estimándose por PEMEX, 30,000 bls. por cada día (junio 3-13 julio) al principio y luego 20,000 bls./día (julio 4-14 agosto), después 10,000 bls./día (agosto 15-26 noviembre), posteriormente 2,000 bls./día (noviembre 27-31 diciembre (PCEESC*, 1980; fig. 17). Los equipos utilizados se ponen de manifiesto con el mayor detalle posible de acuerdo con el tipo de operación que se clasifica, como control del pozo, y lo del derrame (cuadro 3).

2.2.- CONTROL DEL POZO:

Para controlar el pozo accidentado, a PEMEX tomó dos medidas; por un lado, utilizar el cabezal para frenar el flujo de gas y petróleo mediante inyecciones de balines de fierro y plomo que tienen

*Programa Coordinado de Estudios Ecológicos en la Sorda de Campeche;

un diámetro de 2.5 a 2.8 pulgadas respectivamente. Para realizar dicha operación, tuvo que inspeccionarse el estado del cabezal, utilizando una unidad de cámara de televisión submarina y un submarino con sistema de buceo al principio del accidente. A través de varias observaciones, se detectó que una de las válvulas de preventores estaba en buen estado por lo que se aprovechó para inyectar, primero lodo y después valines, con fecha de inicio de 5 de julio hasta 22 de agosto y cuya operación permitió reducir el flujo considerablemente. El 5 de noviembre se reinició el bombeo en bolas de plomo y acero y el día 7 de noviembre, se suspendieron todas estas operaciones en forma definitiva. Para este trabajo se empleó un buque-grúa llamado "L.C. Meaders", y a partir del 25 de agosto se le cambió por un barco "Artic Seal", equipado con un sistema de posicionamiento dinámico (PCEESC, 1980).

Por otro lado, PEMEX decidió la perforación de dos pozos de alivio direccionales (Ixtoc 1-A e Ixtoc 1-B), utilizando dos plataformas. En el primero, se inició la perforación el 12 de junio de 1979, y llegó a la formación petrolera el 5 de febrero de 1980; el segundo se instaló a 847 mts. del pozo accidentado comenzando su operación el 2 de julio y terminando perforado el 20 de noviembre de 1979, con una profundidad de 3,626 mts., de allí se inició la inyección de fluidos hasta principios de marzo con apoyo del buque "George Brown" (PCEESC, 1980).

El 20 de marzo se instaló un buque perforador para recuperar el conjunto de preventores, utilizando un buque-grúa de apoyo "Sarite", y finalmente el día 25 de marzo de 1980 el pozo Ixtoc-1 fué taponado completamente.

2.3.- CONTROL DEL DERRAME:

Aparte del control del pozo, como se extendió la mancha de petróleo en la mitad del litoral del Golfo de México, hubo que movili-

de petróleo en la mitad del litoral del Golfo de México, hubo que movilizar numerosa cantidad de aeronaves, embarcaciones y grupos de protección de playas, esto último, PEMEX lo organizó con apoyo en la Armada de México.

Las operaciones efectuadas se pueden clasificar en la siguiente forma: la vigilancia, la contención y recolección de derrames, la dispersión y la limpieza de playas.

2.3.1.- Vigilancia.-

La vigilancia aérea fue realizada día a día por PEMEX con 4 aviones Rochwell 690-B de biomotor (PCEESC, 1980), además de varios helicópteros en áreas costeras para observar la dispersión y la deriva de la mancha de petróleo en el Suroeste del Golfo de México. Aparte de PEMEX la Armada de México, efectuó paralelamente vuelos de reconocimiento en el área afectada por el derrame del Ixtoc-I con un avión bimotor, además, enviaron varios barcos diariamente de la 3ª y 5ª Zona Naval para seguridad de la operación y la vigilancia de las manchas de petróleo.

2.3.2.- Contención y Recolección del Derrame.-

Por la magnitud del derrame, los recursos con que contaba PEMEX para la recuperación de aceite no eran suficientes, por eso pidió ayuda a las compañías extranjeras. Se inició la recolección del petróleo hasta después de 15 días de la fecha del accidente y se mantuvieron las labores aproximadamente durante 3 meses (hasta fines de septiembre de 1979) en que se recolectó una cantidad total de 105,000 barriles mediante los siguientes recolectores de aceite: PCEESC, 1980).

Oil Mop 3 máquinas grandes (Mark-IV) y 3 máquinas medianas (Mark-II). Instaladas a bordo de una chalana

(Genmar) durante el período del 15 de julio hasta fines de septiembre.

Framo: 2 desnatadores (ACW-400), utilizados a partir del 13 de junio a principios de agosto, montándolo a bordo de una chalana.

Vikoma: 2 recuperadores que llegaron en los primeros días del mes de julio, estando operando hasta el 28 de septiembre instaladas en una chalana.

SOCH (Spilled Oil Cleanup Kit): 1 Unidad. Este dispositivo fué diseñado para montarlo en los costados de un barco autropulsado, para esto, se utilizó un abastecedor de 200 tons. ("Jenson Tide") el cual remolcaba una chalana de 15 mil barriles de capacidad, además se alternaba con dos chalanes más. El sistema tuvo dos período de funcionamiento: 12-17 junio y 25 de julio-12 de septiembre.

Cyclonet: 1 Unidad. Se manejo al Cyclonet a bordo de un buque abastecedor de 200 tons. y funcionó del 2 al 17 de agosto de 1979.

Guarda Costa Norteamericana: OWOCRS ("Open Water Oil Containment Recovery System"). Este sistema consiste en una barrera de alta mar que se arma en V a favor de la corriente, un recolector de aceite y una bomba. Se instaló frente al pozo descontrolado sobre una chalana y operó del 13 de agosto al 3 de septiembre.

Como apoyo para desarrollar las operaciones de recolección de aceite en el mar, se utilizó un buque-grúa de 60,000 tons. (Tolteca) durante un cierto período. En el momento de máximo combate, se disponían los "Oil Mop", "Vikoma", "Framo", "OWOCRS" y "Cyclonet", ocupando 4 chalanes y 3 buques.

2.4.- APLICACIÓN DEL DISPERSANTE:

Ante la expansión del derrame, PEMEX decidió aplicar dispersantes, Corexit 9517, Corexit 9527, Corexit 7667, Dubois, Key y Dis-Mar 146 (PCEESC, 1980), los cuales se dispersaron mediante 2 aviones DC-6 y un DC-4 durante el período del 23 de julio al 14 de diciembre de 1979 y 3 barcos de 49.5 mts. de eslora, instalándose a bordo de 2 tangeros de 20 mts. de largo cada uno. Estos barcos trabajaron del 30 de agosto de 1979 hasta el 19 de abril de 1980.

La cantidad promedio de la aplicación de estos agentes químicos en cada vuelo fue de 11,000 mts. cubriendo una superficie de 640 hectáreas (PCEESC, 1980). Por otro lado cada barco cubría diariamente un área aproximada de 333 hectáreas.

Según una estimación, de agosto de 1979 a marzo de 1980 PEMEX aplicó una cantidad considerable de dispersantes, sumando cerca de 3,346,400 lts. que diluyeron en el agua del mar a lo largo de 270 días de dispersión.

2.5.- OPERACIÓN SOMBRERO:

Antes de aplicar la Operación Sombrero, habían surgido diferentes ideas para controlar la fuga del Ixtoc-1 a nivel tanto nacional como internacional, finalmente PEMEX utilizó una campana recolectora, colocándola en lo alto del flujo del pozo. El dispositivo consistió principalmente en una campana junto con la estructura de soporte (365 tons.) una plataforma de separación de 4 columnas (830 tons.), otra de quemador de 8 columnas (1140) tons.) y un puente de comunicación entre las plataformas (150 tons.), para manejar una cantidad máxima de 30,000 bls. de aceite por día (PCEESC, 1980; fig. 8).

El sistema fue construido en los EE.UU. y se instaló a mediados de septiembre a una distancia de 60 mts. del pozo incendiado.

En una ocasión, la campana fue dañada por el mal tiempo, pero se reparó para un segundo intento. Operó durante 3 semanas aproximadamente, en el mes de octubre de 1979. Debido a una tormenta fue deteriorado el sistema recolector, procediéndose a la retirada de la campana en forma definitiva (Ogawa, et. al., 1980).

Finalmente se recolectó a través de este sistema un total de 170,000 bls. durante tres semanas de funcionamiento.

2.6.- LIMPIEZA DE PLAYAS:

PEMEX, se organizó en grupos de trabajo con la ayuda de la Armada de México para la limpieza de playas y la protección de lagunas costeras y arrecifes, disponiendo de equipos anticontaminantes como barreras, dispersantes, desnatadores, etc., para lo cual se crearon diferentes centros de operación como C. del Carmen, Villahermosa, Tabasco, Coatzacoalcos, Veracruz, Poza Rica y Tampico.

A mediados de agosto las manchas de petróleo empezaron a arribar a la costa del estado de Texas y diariamente un Guarda Costa de los EE.UU. estuvo realizando una vigilancia aérea y la NOAA* organizó grupos de investigadores y limpieza de las playas (Corpus Christi Caller, 1979).

2.7.- INVESTIGACIÓN:

A fines de junio de 1979, la Secretaría de Marina, Petróleos Mexicanos y la Secretaría de Pesca integraron el "Programa Coordinado de Estudios Ecológicos en la Sonda de Campeche" (PCEESC, 1980), para evaluar los posibles efectos sobre el medio marino, ocupando a cientos de investigadores nacionales. Se realizaron unos diez cruceros aproxima-

*National Oceanic and Atmospheric Administration.

damente hasta la fecha en el área de Campeche con dos embarcaciones diferentes: uno de la Armada y otro de Pesca.

3.- EFICIENCIA DE EQUIPOS EMPLEADOS:

Más de 600 hombres, decenas de embarcaciones, así como una docena de aviones y otro tanto de helicópteros fueron puestos por PEMEX (Pena, 1979), además se movilizaron dos plataformas para dos pozos de alivio y dos plataformas fijas para la Operación Sombrero.

Como se ha mencionado con anterioridad, México no contaba con equipo suficiente para controlar el pozo accidentado y combatir la contaminación por petróleo en alta mar, por eso PEMEX, tuvo que pedir ayuda a diferentes países, especialmente EE.UU., Noruega, Inglaterra, Holanda y Francia. Aquí solamente hacemos un análisis comparativo sobre el factor de la eficiencia de los equipos recolectores y dispersantes.

3.1.- RENTABILIDAD DE LOS RECOLECTORES USADOS:

Según estimación hecha por PEMEX, el costo operacional de los equipos recolectores empleados en lo que incluyen la compra, la transportación, la instalación y desmantelamiento, salarios, gastos de transporte, alojamiento y alimentación del personal, las refacciones y la renta de las embarcaciones de apoyo utilizada en cada frente (PCEESC, 1980), mostró que los equipos de recuperación más efectivos utilizados para el control de derrame fueron los Vikoma y coast Guard, y el menos eficiente fue el equipo francés Cyclonet, cuyo costo por barril fue de 21,055 pesos mexicanos (cuadro 4), además señala que el gasto total para recuperación fue de 158,043,628 pesos mexicanos.

El rendimiento de dicha recuperación alcanzó 8% del derrame total, cuya proporción indica (cuadro 5) que respecto a otros accidentes la eficiencia fue baja probablemente debido a la situación geográfica y climática del lugar durante el suceso.

3.2.- EFICIENCIA DE LOS DISPERSANTES EMPLEADOS:

Se hizo una evaluación de la utilización de dispersantes por aeronaves y barcos, de fines de agosto de 1979 hasta el 21 de marzo de 1980, y el volumen obtenido fue 3,346,400 lts. de dispersantes.

Comparando con otros accidentes conocidos como Santa Bárbara, Mizushima y Urquiola, el Ixtoc-I, fué número uno en su cantidad aplicada de dispersantes y mínimo en su proporción en litros por tonelada de derrame de hidrocarburos (cuadro 6).

4.- C O N C L U S I Ó N :

Durante nueve meses y 21 días, PEMEX luchó para controlar la fuga y el derrame. Se movilizaron 4 aviones, varios helicópteros, dos plataformas autoelevables, una chalana-grúa, un buque-grúa, buques de la Armada de México, una barcaza, numerosas chalanas, abastecedores, remolcadores, un buque con sistema de posicionamiento dinámico, un buque perforadora, un abastecedor, un submarino, dos estructuras fijas para la campana, unos cientos de metros de barrera de U.S. Coaste Guard, algunos kilómetros de barreras de aguas tranquilas, 6 recolectores de aceite y cerca de 3.5 millones de litros de dispersante, los cuales señalan que el accidente del pozo Ixtoc-I, ha costado muchos esfuerzos que tuvieron que adoptar ante una contaminación nunca conocida por derrames de petróleo. Principalmente PEMEX luchó contra este incidente por su responsabilidad, pues es evidente la insuficiencia e imposibilidad para que una sola institución realizara el control necesario, por eso se estableció una coordinación intersecretarial para la investigación científica. La lección de este accidente indica que es necesario que el Gobierno participe directamente para el control y prevención de este tipo de desastres, contando con sus recursos económicos materiales y humanos para emergencia, con la participación de todas las Secretarías responsables ante problema de la contaminación marina.

La Secretaría de Marina, está en proceso de preparación para combatir la contaminación marina por hidrocarburos adquiriendo sus propias embarcaciones, equipos y materiales necesarios incluso cuenta ya con personal entrenado que se encuentra en toda la República Mexicana, de manera que PEMEX podría coordinar más estrechamente para aumentar la eficiencia de trabajo y finalmente esto nos brindará mayor protección del medio ambiente, la conservación de los recursos pesqueros y turísticos, redundando en bienestar del pueblo mexicano.

Con esta experiencia se han aprendido muchísimas cosas a través de este accidente, especialmente en aspectos socio-económicos,

administrativos, técnicos y científicos, cuya experiencia se debe aprovechar al máximo para el progreso del país, desarrollando las medidas más amplias con mejor coordinación institucional a fin de cumplir con las metas de protección del medio marino.

A N E X O I

(D A T O S)