

7
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO GEOLOGICO AMBIENTAL DEL SUR
DEL GOLFO DE MEXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

ROBERTO DOGER BADILLO



MEXICO, D. F.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-020

SR. ROBERTO DOGER BADILLO
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Arturo Carranza Edwards, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo:

ESTUDIO GEOLOGICO AMBIENTAL DEL SUR DEL GOLFO DE MEXICO

	RESUMEN
I	INTRODUCCION
II	AREA DE ESTUDIO
III	METODO DE TRABAJO
IV	DISTRIBUCION DE SEDIMENTOS
V	ZONIFICACION DE SEDIMENTOS POR COLOR
VI	COMPOSICION DE SEDIMENTOS
VII	ANALISIS DE MATERIAL SUSPENDIDO
VIII	GEOLOGIA AMBIENTAL
IX	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
	BIBLIOGRAFIA
	MAPAS E ILUSTRACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 17 de mayo de 1994
EL DIRECTOR

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS*EGLM*gtg

31.

**ESTUDIO GEOLOGICO AMBIENTAL DEL SUR DEL
GOLFO DE MEXICO**

*A mis dos mujeres,
la primera que me dio el ser,
me formó y apoyó;
la segunda que reforzó en mí la confianza
y entereza para seguir adelante.*

*A la familia Montellano,
por ese gran respaldo y confianza.*

	MAPAS E ILUSTRACIONES.....	3
	TABLAS.....	4
	RESUMEN.....	5
I	INTRODUCCION.....	7
II	AREA DE ESTUDIO.....	9
III	METODO DE TRABAJO.....	12
IV	DISTRIBUCION DE SEDIMENTOS.....	22
V	ZONIFICACION DE SEDIMENTOS POR COLOR.....	37
VI	COMPOSICION DE SEDIMENTOS.....	42
VII	ANALISIS DE MATERIAL SUSPENDIDO.....	49
VIII	GEOLOGIA AMBIENTAL.....	57
IX	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
	BIBLIOGRAFIA.....	68

MAPAS E ILUSTRACIONES

Fig. 1	Ubicación de la zona de estudio.....	10
Fig. 2a	Ubicación de las estaciones de muestreo IMCA I.....	13
Fig. 2b	Ubicación de las estaciones de muestreo IMCA II.....	14
Fig. 2c	Ubicación de las estaciones de muestreo IMCA III.....	15
Fig. 2d	Ubicación de las estaciones de muestreo IMCA IV.....	16
Fig. 3a	Ubicación de las estaciones de muestreo DINAMO I.....	18
Fig. 3b	Ubicación de las estaciones de muestreo DINAMO II.....	19
Fig. 4	Distribución de lodos.....	27
Fig. 5	Distribución de arenas.....	28
Fig. 6	Distribución de gravas.....	29
Fig. 7	Sedimentos terrígenos y sedimentos biogénicos.....	31
Fig. 8	Distribución de carbonatos.....	32
Fig. 9	Distribución de estroncio.....	34
Fig. 10	Distribución del aluminio.....	36
Fig. 11	Color de los sedimentos superficiales del fondo oceánico en estado húmedo.....	38
Fig. 12	Color de los sedimentos superficiales del fondo oceánico en estado seco.....	39
Fig. 13	Color del sedimento suspendido.....	40
Fig. 14	Comparación gráfica de la textura de los sedimentos superficiales del fondo oceánico de las campañas IMCA I, II, III Y IV.....	43
Fig. 15	Distribución textural y composicional de los sedimentos superficiales del fondo oceánico.....	44
Fig. 16	Fotografías de láminas delgadas de minerales.....	46
Fig. 17	Distribución de sílice.....	48
Fig. 18	Transparencia de agua.....	50
Fig. 19	Cantidad de sedimento suspendido (mg/l) del DINAMO I.....	51
Fig. 20	Cantidad de sedimento suspendido (mg/l) del DINAMO II.....	52
Fig. 21	Sedimentos suspendidos (mg/l).....	54
Fig. 22	Gráficas de contenido de metales, analizados por fluorescencia de rayos X.....	55
Fig. 23	Distribución de cromo.....	59
Fig. 24	Distribución de bario.....	62

TABLAS

Tabla 1	Concentraciones de elementos (%) en sedimentos suspendidos colectados durante las campañas DINAMO I y II.....	20
Tabla 2	Granulometría de los sedimentos superficiales del fondo oceánico de la campaña IMCA I.....	23
Tabla 3	Granulometría de los sedimentos superficiales del fondo oceánico de la campaña IMCA II.....	24
Tabla 4	Granulometría de los sedimentos superficiales del fondo oceánico de la campaña IMCA III.....	25
Tabla 5	Granulometría de los sedimentos superficiales del fondo oceánico de la campaña IMCA IV.....	26
Tabla 6	Coefficiente de correlación en sedimentos superficiales.....	33
Tabla 7	Grupos de colores para los sedimentos superficiales del fondo oceánico en estado húmedo.....	38
Tabla 8	Grupos de colores para los sedimentos superficiales del fondo oceánico en estado seco.....	39
Tabla 9	Grupos de colores para sedimentos suspendidos.....	40
Tabla 10	Concentración de minerales pesados (ppm) en diferentes zonas cercanas a la costa.....	60

RESUMEN

Con base en el estudio granulométrico y en el análisis químico de elementos traza efectuados a las muestras colectadas en las campañas oceanográficas IMCA, se concluyó que la distribución y el comportamiento de los sedimentos superficiales del fondo oceánico indican un importante aporte de sedimentos de origen detrítico proveniente de los ríos Grijalva y Usumacinta, con una tendencia en su desplazamiento y deposición en dirección al noreste.

Con la determinación del contenido de carbonatos en los sedimentos superficiales del fondo oceánico se pueden definir tres zonas principales. Una caracterizada por el alto contenido de material terrígeno ubicada frente a al sistema fluvial Grijalva-Usumacinta principalmente. Frente a la laguna de Términos, al noreste de esta zona colinda la segunda área, la cual presenta una transición en la composición del sedimento entre terrígenos y carbonatos biogénicos, y por último, la zona rica en carbonatos se extiende hacia la plataforma de Yucatán.

Con respecto al análisis del color, el material con mayor contenido de carbonatos de tipo biogénico y de mayor tamaño presenta colores claros (en húmedo y seco), ya que los sedimentos terrígenos aportados por el sistema fluvio-lagunar tienen una tendencia a los colores oscuros.

Durante las campañas oceanográficas DINAMO se colectaron un total de 164 muestras de agua a menos de 1 m de profundidad. El análisis del material suspendido mayor de 0.45 micras se realizó en dichas muestras, y se obtuvieron en promedio concentraciones mayores que 5 mg/l al norte del sistema fluvio-lagunar, que sugieren la influencia de una corriente con dirección noreste y, los mismos valores en la parte septentrional de la plataforma de Yucatán, con una tendencia hacia el suroeste, indican otra posible corriente en este sentido.

Se analizaron cuatro elementos, Cd, Pb, Cr y Ba, para determinar la posible repercusión ambiental que puedan generar las actividades antrópicas en la zona. El bario fue el único que presentó valores anómalos, que van de 33 a 767 ppm; los valores más altos se registraron en las cercanías de las plataformas de explotación petrolera.

I. INTRODUCCION

México es un país afortunado por tener grandes litorales, lo cual es de gran importancia desde el punto de vista científico y constituye una fuente importante para la economía de la nación, parte de esos litorales conforman las costas del Golfo de México. En éste se encuentra La Sonda de Campeche, que es importante por sus recursos pesqueros y extracción petrolífera; alrededor de ésta, gira gran parte de la economía del país, no obstante genera deterioro ambiental.

Por otra parte, las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta tienen un área que en conjunto excede los $70 \times 10^3 \text{ km}^2$ (Tamayo, 1990). El promedio anual de escurrimiento del río Usumacinta es mayor que $50 \times 10^9 \text{ m}^3$ y el promedio del río Grijalva es de alrededor de $10 \times 10^9 \text{ m}^3$, por lo cual resulta importante analizar la influencia del sistema Grijalva-Usumacinta en los sedimentos superficiales del fondo oceánico.

El océano es el destino final de los sedimentos, y debido a que éstos representan el destino final de los metales traza disueltos y suspendidos, el estudio de los sedimentos superficiales del fondo oceánico permite identificar áreas importantes de depósitos de metales. Dado que las corrientes costeras varían en magnitud y dirección a lo largo del tiempo, es difícil estimar los flujos difusivos en la columna de agua; por ello resulta conveniente estudiar la concentración de metales en los sedimentos de plataforma, con la finalidad de evaluar su origen (Rosales-Hoz et al., 1992).

Los estudios granulométricos, por sí solos, son necesarios pero no suficientes para explicar completamente el comportamiento dinámico de los sedimentos y su distribución textural. Es común suponer que la textura más fina se va a encontrar a mayor distancia de la fuente de origen y esto no siempre se cumple. Aún cuando el análisis textural permite tener una idea de la distribución de los sedimentos, no siempre define el camino seguido por éstos, ya que en la distribución pueden intervenir corrientes de turbidez, corrientes de fondo, relieve submarino, etc. (Carranza-Edwards et al., 1993).

La diferencia química de los sedimentos puede usarse como un método indirecto para definir los patrones de distribución de los mismos y, con la combinación de los datos texturales, se pueden realizar estudios de la dinámica del transporte que permitan tener una mejor idea del recorrido y distribución de ellos. Por otro lado, el contenido de carbonatos se puede utilizar como indicador de fuentes de procedencia de sedimentos.

Como adición a este estudio se toma en cuenta el color de los sedimentos superficiales del fondo oceánico, y se hace una relación de éste con la distribución que presenta; de esta manera se trata de observar si el color del sedimento se puede utilizar como herramienta en el estudio de la dinámica del sedimento.

El objetivo del presente trabajo, con base en el análisis granulométrico, la composición química, el material suspendido, el contenido de carbonatos y el color del sedimento, es determinar en el sur del Golfo de México la distribución del sedimento y su posible origen, así como estimar si las actividades antrópicas se reflejan de alguna manera en los sedimentos superficiales del fondo oceánico.

II. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza al sur del Golfo de México, entre los 18° 30' y 20° 40' N. y 91° 00' y 93° 20' W (Fig. 1). En la parte suroeste del área de estudio se encuentran las desembocaduras de los ríos Grijalva y Usumacinta. Al oriente de estos ríos se ubica la laguna de Términos, la cual está bordeada en su porción meridional por planicies lagunares, y en la parte septentrional por planicies bajas marinas (Lugo-Hubp y Córdova-Fernández de Arteaga, 1991).

De acuerdo con Tamayo (1990), alrededor de la laguna de Términos la precipitación varía de 1200 a 1600 mm por año, sin embargo, en la porción del sistema fluvial Grijalva-Usumacinta la precipitación media anual alcanza los 2000 mm, lo que da lugar a un gran aporte de sedimentos detríticos hacia el mar, por lo que, los ríos Usumacinta y Grijalva son las principales fuentes de aporte de sedimentos a la línea de costa y representan una tercera parte de toda la descarga fluvial de México (Tamayo, 1990).

El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano (García, 1973). Yañez-Arancibia y Day (1982) refieren que existen tres periodos climáticos en el área: estación de secas (Febrero-Mayo), estación de lluvias, con precipitación durante las tardes y noches (Junio-Septiembre), y estación de nortes, con lluvias ocasionales (Octubre-Febrero).

La laguna de Términos tiene comunicación con el mar, al oriente de la isla del Carmen a través de la boca de Puerto Real y al occidente por Boca del Carmen. Esta laguna recibe el aporte de varios pequeños ríos, como son: el Candelaria, Palizada, Chumpán y Sabancuy y otros más (Tamayo, 1990). De acuerdo con Mancilla-Peraza y Vargas-Flores (1980), la laguna presenta un flujo promedio de 1,370 m³/s.

En la zona de estudio, la mayor parte del año existe una corriente hacia el este, en tanto que de Abril a Junio y en Agosto, la corriente se dirige al oeste (Monreal-Gómez y Salas de León, 1990).

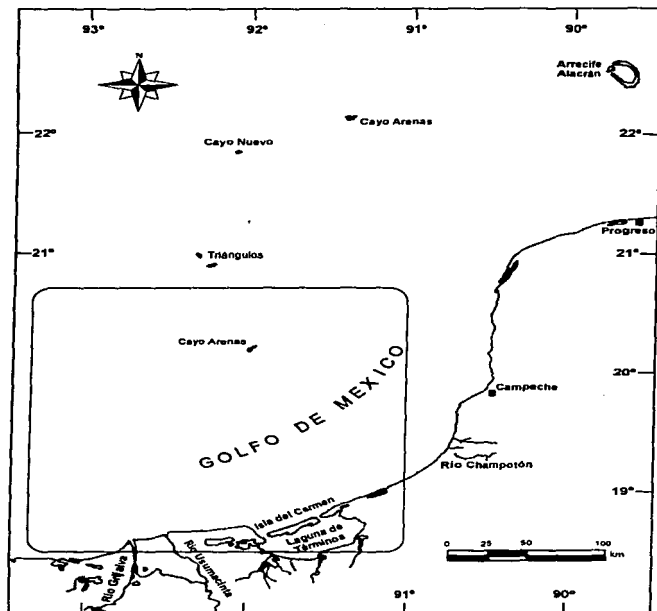


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio.

Estudios sobre patrones de circulación en invierno en el Golfo de México muestran una alta salinidad en aguas superficiales con valores que van de 36.0 a 36.6 partes por mil para el norte y oeste de la península de Yucatán (Nowlin, 1972).

III. METODO DE TRABAJO

Durante el proyecto "Determinación del impacto ambiental provocado por las actividades de extracción petrolera en La Sonda de Campeche a través de estudios biológicos, geoquímicos y sedimentológicos" (IMCA), abordo del B/O Justo Sierra de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se realizaron las campañas oceanográficas IMCA I (3-13 de Marzo del 1988) (Fig. 2a), IMCA II (19-29 de Septiembre de 1988) (Fig. 2b), IMCA III (6-15 de Marzo de 1989) (Fig. 2c) e IMCA IV (25 de Septiembre-7 de Octubre de 1989) (Fig. 2d), donde se colectaron muestras de sedimento superficial del fondo oceánico con una draga Smith McIntyre, con las cuales se elaboraron y compilaron mapas que muestran la distribución de sedimentos que aportan los ríos Grijalva y Usumacinta, y mapas que muestran la correlación del color de los sedimentos con su distribución.

El contenido de arcilla y limo se determinó mediante el tamizado en húmedo de las muestras con malla de 4 ϕ (0.0625 mm), para las arenas de -1 ϕ (2 mm), y el sedimento mayor o igual que 2 mm de diámetro se clasificó como grava de acuerdo con la escala tamaños de Wentworth (1922). Las arcillas y los limos se agrupan bajo el término de "lodos" según Folk (1969).

Las muestras del sedimento se mantuvieron almacenadas en bolsas de plástico a una temperatura de 4° C hasta su estudio. Para el análisis químico, en el laboratorio de Química Marina las muestras se secaron a 110° C, se homogeneizaron y se tomó una porción representativa. La extracción de metales de los sedimentos se llevó a cabo con una mezcla de agua:ácido nítrico:ácido fluorhídrico:ácido clorhídrico (10:5:4:1) por 30 minutos en un horno de microondas CEM (Chemical, Electronic and Mechanic).

Los carbonatos se evaluaron mediante el calcímetro de Bernard. El contenido de carbonato en los sedimentos superficiales del fondo oceánico se determinó al medir el gas de CO₂ generado al tratar las muestras con ácido clorhídrico y solución de agua en una relación 1:1, y 4 ml de ácido clorhídrico al 50 % se agregaron a una muestra de 0.1 g.

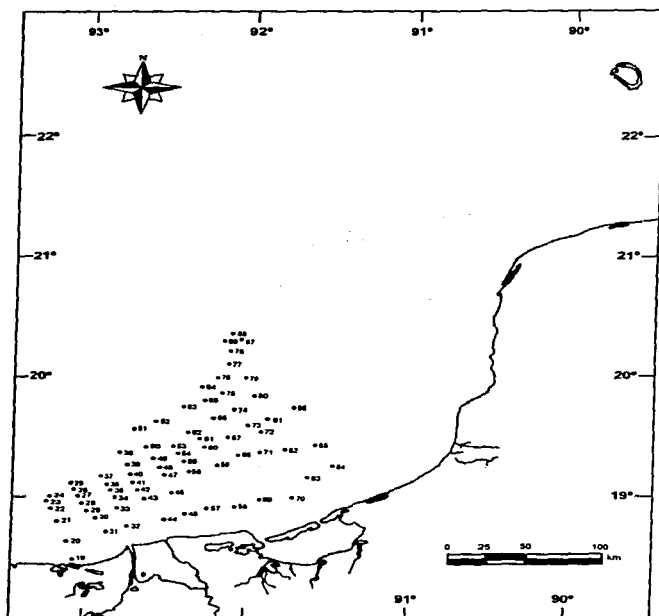


Fig. 2a. Ubicación de las estaciones de muestreo IMCA I.

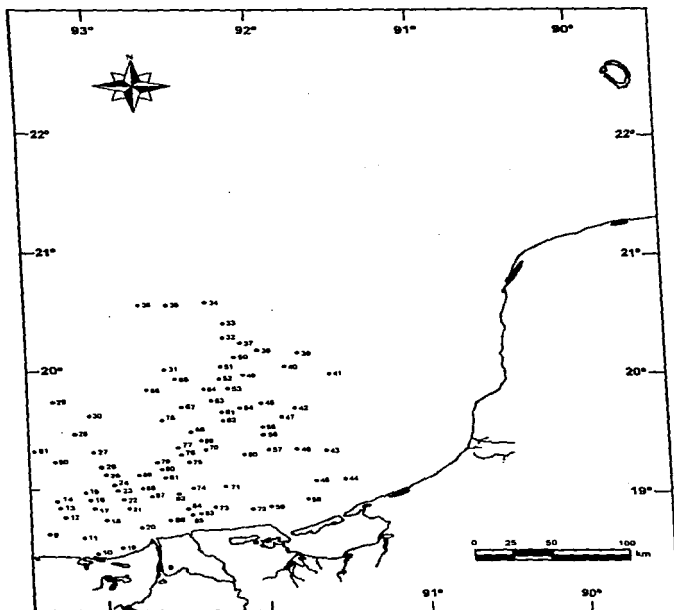


Fig. 2b. Ubicación de las estaciones de muestreo IMCA II.

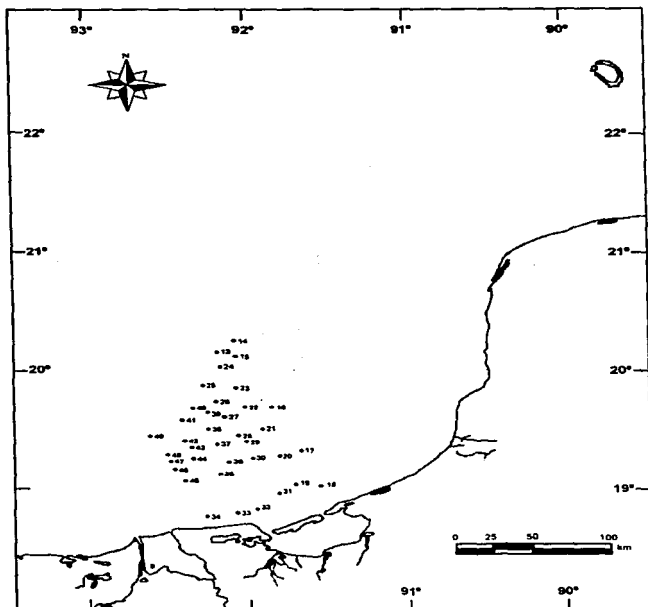


Fig. 2c. Ubicación de las estaciones de muestreo IMCA III.

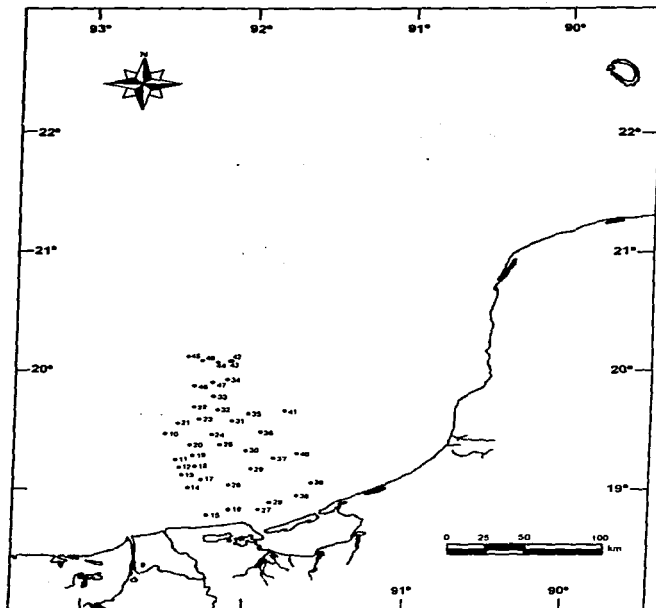


Fig. 2d. Ubicación de las estaciones de muestreo IMCA IV.

El dióxido de carbono producido es medido sobre una columna graduada (Hesse, 1971), con este método el coeficiente de variación fue de 21.49 % y el método se estandarizó con Na_2CO_3 puro.

Abordo de la misma embarcación, por parte del proyecto "Dinámica oceánica y su relación con el deterioro ecológico en el sur del Golfo de México" (DINAMO), dos cruceros oceanográficos más se realizaron en 1990. DINAMO I (7-12 de Marzo) (Fig. 3a) y el DINAMO II (26 de Octubre-8 de Noviembre) (Fig. 3b). En estas dos campañas se colectaron muestras de agua superficial para la determinación de la distribución de sedimento suspendido y muestras de los sedimentos superficiales del fondo oceánico con el mismo tipo de draga, estas muestras se utilizaron para la compilación de mapas de color de sedimentos y su respectiva correlación con su distribución.

Durante la campaña DINAMO I se hicieron lecturas con el disco de Secchi para determinar el grado de penetración de la luz en el agua marina. Los datos obtenidos de las lecturas del disco se consideran dentro del análisis del sedimento suspendido.

Setenta y seis muestras de agua se colectaron durante el DINAMO I y ochenta y ocho en DINAMO II. A menos de un metro de profundidad se realizó el muestreo de agua y se filtró a través de filtros de nucleoporo de 0.45 μm . El intervalo del volumen del agua filtrada fue de 1 a 10 l lo que depende de la cantidad de materia suspendida que presentaban las muestras.

Para la determinación de la composición principal de la materia suspendida, se utilizaron 14 muestras del DINAMO I y 19 muestras del DINAMO II (Tabla 1), las cuales fueron seleccionadas cerca del sistema Grijalva-Usumacinta-Términos y en las proximidades de las plataformas petroleras localizadas entre 19° 20' y 19° 30' N, y 92° 00' y 92° 24' W. Los filtros con los que se obtuvieron las muestras se secaron y se sujetaron a análisis fluorescente de rayos X con un espectrómetro fluorescente de rayos X Rigaku. Los resultados se normalizaron al 100 % para cada filtro.

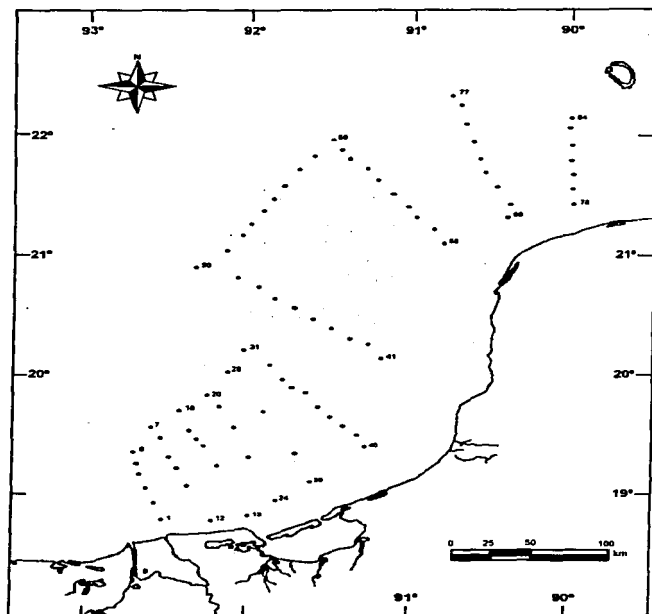


Fig. 3a. Ubicación de las estaciones de muestreo DINAMO I.

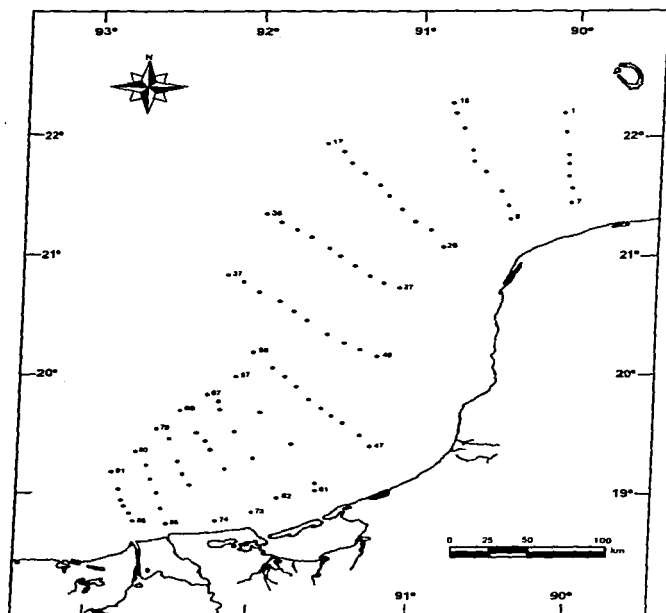


Fig. 3b. Ubicación de las estaciones de muestreo DINAMO II.

DINAMO - I							
EST.	Fe	Mn	Ti	Si	Al	Ca	Mg
1	1.26	0.03	0.24	40.90	12.21	8.32	10.56
2	1.18	0.04	0.20	39.14	12.86	6.44	11.21
3	1.43	0.03	0.15	30.32	9.83	5.00	15.78
10	1.24	0.03	0.09	19.85	4.06	3.13	9.57
11	0.88	0.02	0.12	25.82	8.03	8.77	8.95
12	1.11	0.02	0.20	42.95	13.18	12.12	9.55
13	0.98	0.03	0.14	33.16	7.29	9.22	10.44
14	1.12	0.02	0.09	15.04	3.73	5.12	10.61
15	1.16	0.01	0.06	15.23	2.53	2.90	9.30
22	1.12	0.02	0.11	24.42	5.34	5.98	7.47
24	0.96	0.02	0.04	16.61	4.68	6.97	8.26
25	0.72	0.02	0.04	16.99	4.20	13.27	7.95
26	1.48	0.01	0.11	31.08	7.20	16.62	9.05
27	0.98	0.04	0.02	6.34	1.95	3.26	7.61
DINAMO - II							
EST.	Fe	Mn	Ti	Si	Al	Ca	Mg
58	0.90	0.04	0.00	9.78	2.96	2.95	8.49
59	1.44	0.03	0.00	15.98	4.64	6.28	10.00
61	0.55	0.02	0.00	38.73	2.03	8.32	10.71
62	0.85	0.03	0.00	26.00	2.47	6.90	8.78
63	1.47	0.03	0.03	28.28	9.34	10.61	15.77
64	1.14	0.02	0.00	27.67	5.77	6.29	8.74
71	1.10	0.03	0.00	24.07	2.68	3.32	10.54
72	0.84	0.01	0.02	33.59	5.39	6.62	8.73
73	0.77	0.01	0.01	25.74	6.36	7.46	10.37
74	1.06	0.03	0.04	38.14	10.06	7.23	14.13
75	1.33	0.05	0.00	32.69	3.42	4.94	10.07
76	1.22	0.05	0.00	22.74	3.71	4.20	8.97
83	1.01	0.03	0.00	9.26	1.53	2.05	8.33
84	0.73	0.03	0.00	9.48	2.38	1.65	9.53
85	1.09	0.03	0.11	44.09	15.53	2.00	13.72
86	0.74	0.02	0.01	23.80	7.43	1.60	9.85
87	1.20	0.03	0.00	24.01	8.10	2.23	9.62
88	1.00	0.04	0.00	5.15	2.11	1.36	11.78
89	1.41	0.08	0.00	18.22	2.58	2.59	9.12

Tabla 1. Concentraciones de elementos (%) en sedimentos suspendidos colectados durante las campañas DINAMO I y II. Elementos detectados mediante análisis FRX a través del sistema Fluvio-lagunar. (Modificado de Carranza-Edwards et al., 1993)

El color de los sedimentos superficiales del fondo oceánico se determinó en todas las muestras colectadas, tanto en los cruceros oceanográficos IMCA I, II, III y IV, como en los cruceros DINAMO I y II. Con la tabla de color de Munsell (Kollmorgen Corporation, 1975) se realizó la determinación del color en muestras húmedas; posteriormente se secaron para la determinación del color en seco.

IV. DISTRIBUCION DE SEDIMENTOS

Para la evaluación de los patrones de distribución de sedimentos en la zona de estudio, se elaboraron y posteriormente se compilaron mapas con base en el contenido de lodo, arena y grava de las muestras obtenidas en los cruceros oceanográficos IMCA I, II, III, y IV (Tablas 2, 3, 4 y 5).

El resultado del análisis granulométrico de las muestras determinó que los más altos valores pertenecen a los lodos, que en mucho menor medida se tiene la presencia de arenas y que en muy escasa proporción se obtuvieron dimensiones muy escasas de grava.

La distribución de lodo como se puede observar (Fig. 4), muestra que la principal fuente de aporte es el sistema Grijalva-Usumacinta-Términos, con distribución en dirección norte.

Los sedimentos caracterizados por tener valores mayores que el 5 % de contenido de arena (Fig. 5) presentan una distribución inversa a la expuesta por los lodos, ya que los valores de las arenas son mínimos frente a las desembocaduras de los ríos Grijalva y Usumacinta y de la parte oriental de la laguna de Términos. De tal manera que existe una tendencia en el aumento de los valores de la arena hacia el noreste de la zona de estudio, donde el lodo empieza a disminuir.

Los valores de la grava son en promedio del 1 % (Fig. 6), y presentan en general una disposición similar al sedimento arenoso.

Frente a la laguna de Términos, donde el sedimento predominante es el lodo, existen algunas anomalías con respecto a la distribución de la grava (Fig. 6). Estas manifestaciones se deben principalmente a material biogénico, ya que la grava en la zona de estudio está constituido generalmente por fragmentos de conchas.

Estudio geológico ambiental del sur del Golfo de México

IMCA I													
EST.	LATITUD	LONG.	GRAVAM.	ARENAM.	LODOM.	EST.	LATITUD	LONG.	GRAVAM.	ARENAM.	LODOM.	EST.	LATITUD
4	18	13.20	94	3.80	0.00	83.00	17.00	46	18	38.00	92	30.30	2.18
5	18	17.40	94	4.80	0.02	30.19	69.78	47	19	4.90	92	33.40	0.01
6	18	23.00	94	11.40	2.96	95.62	1.42	48	19	9.30	92	35.10	0.00
7	18	26.50	94	5.00	17.24	81.73	1.03	49	19	12.80	92	36.10	0.00
8	18	22.90	94	3.40	1.99	96.52	1.49	50	19	19.70	92	39.40	0.08
11	18	17.90	93	38.20	1.66	97.49	0.85	51	19	28.00	92	43.20	0.02
11a	18	17.90	93	38.20	0.53	41.30	58.37	52	19	31.60	92	34.50	0.02
12	18	29.10	94	3.50	7.87	91.18	0.95	53	19	19.0	92	29.60	0.00
13	18	29.10	93	56.60	2.80	95.63	1.56	54	19	16.10	92	28.20	0.12
14	18	21.30	93	35.20	0.35	37.51	62.14	55	19	11.80	92	26.10	0.03
15	18	18.60	93	52.50	0.01	90.03	9.95	56	19	5.70	92	23.3	0.03
16	18	19.70	93	49.00	0.20	87.49	12.01	57	18	49.90	92	16.6	0.07
17	18	22.30	93	49.60	0.03	24.78	75.18	58	18	50.10	92	6.7	0.20
18	18	29.80	93	49.90	10.80	87.40	1.80	59	19	6.00	92	12.60	0.10
19	18	27.70	93	1.70	0.00	3.94	96.06	60	19	18.90	92	20.30	0.09
20	18	35.50	93	5.00	0.83	26.85	72.30	61	19	22.70	92	21.20	0.01
21	18	46.40	93	10.00	0.01	1.99	97.99	62	19	26.80	92	24.40	0.00
22	18	50.80	93	11.50	0.03	0.80	99.17	63	19	38.80	92	26.30	0.10
23	18	52.90	93	13.00	0.00	0.23	99.77	64	19	46.40	92	20.50	0.43
24	18	57.00	93	13.60	0.03	0.71	99.26	65	19	40.30	92	13.10	4.36
25	19	2.60	93	5.30	0.02	0.53	99.45	66	19	32.40	92	14.60	0.09
26	19	0.10	93	4.50	0.03	0.92	99.03	67	19	29.90	92	13.80	0.02
27	18	56.90	93	3.30	0.01	0.28	99.71	68	19	15.30	92	7.10	0.01
28	18	34.90	93	1.90	0.02	0.34	99.64	69	18	52.70	91	38.00	0.36
29	18	50.10	92	59.70	0.00	0.35	99.65	70	18	24.90	91	47.20	0.09
30	18	44.80	92	56.80	0.02	7.98	91.99	71	19	17.10	91	38.40	0.16
31	18	34.20	92	55.30	0.00	4.03	95.97	72	19	37.30	92	7.70	0.20
32	18	41.80	92	44.80	0.03	2.52	97.45	73	19	44.30	92	11.30	0.02
33	18	51.60	92	48.70	0.03	7.48	92.49	76	19	52.50	92	14.70	0.43
34	18	55.60	92	49.70	0.04	0.65	99.31	78	20	3.20	92	9.20	0.01
35	18	59.30	92	52.00	0.02	0.21	99.77	79	19	53.20	92	4.40	0.71
36	19	1.50	92	53.00	0.00	0.22	99.78	80	19	43.80	92	1.50	0.01
37	19	3.30	92	56.50	0.04	0.82	99.14	81	19	34.00	91	35.20	0.08
38	19	16.50	92	48.10	0.07	3.01	96.92	82	19	13.20	91	49.20	0.58
39	19	11.50	92	45.60	0.04	0.60	99.36	83	19	4.30	91	42.00	0.00
40	19	6.80	94	43.40	0.00	0.23	99.77	84	19	4.50	91	33.00	1.25
41	19	3.10	92	43.40	0.00	0.18	99.82	85	19	19.50	91	39.50	0.14
42	19	0.30	92	43.00	0.02	0.25	99.73	86	19	38.00	91	48.30	2.27
43	18	55.60	92	39.40	0.08	1.16	98.75	87	20	8.40	92	3.70	0.06
44	18	44.40	92	32.70	0.07	0.77	99.16	88	20	10.50	92	7.20	0.06
45	18	46.10	93	24.80	0.16	3.89	95.85	89	20	9.50	92	9.80	0.01

Tabla 2. Granulometría de los sedimentos superficiales del fondo oceánico de la campaña IMCA I.

IMCA II															
EST.	LATITUD	LONG.	GRAVIA%	ARENA%	LUDOS%	EST.	LATITUD	LONG.	GRAVIA%	ARENA%	LUDOS%				
4	18	21.70	94	4.30	0.97	97.16	1.88	53	19	44.20	92	11.20	0.00	0.48	99.52
5	18	21.20	93	55.50	0.00	29.22	70.78	54	19	37.30	92	7.60	0.00	0.19	99.81
6	18	24.80	93	45.00	32.08	67.06	0.86	55	19	29.50	92	3.00	0.00	0.70	99.30
7	18	30.20	93	36.30	0.01	17.55	82.44	56	19	27.60	92	0.70	2.39	1.99	95.62
8	18	34.30	93	27.60	11.94	86.76	1.30	57	19	16.90	91	58.30	0.14	1.30	98.56
9	18	39.3	93	15.80	1.53	97.07	1.39	58	18	54.70	91	47.30	0.00	8.08	91.92
10	18	28.10	93	2.60	0.06	79.39	20.56	59	18	50.90	91	58.70	0.01	2.22	97.77
11	18	37.30	93	5.10	23.26	75.11	1.64	60	19	15.50	92	7.40	0.00	0.48	99.52
12	18	46.50	93	10.20	10.07	4.48	95.46	61	19	36.00	92	13.60	0.00	0.34	99.66
13	18	50.90	93	11.50	0.00	0.75	99.25	62	19	33.50	92	14.60	0.00	1.00	99.00
14	18	53.00	93	13.00	0.01	0.35	99.64	63	19	40.90	92	18.60	1.40	12.26	86.34
15	18	56.00	93	3.30	0.00	0.27	99.73	64	19	46.60	92	20.50	8.13	48.02	43.85
17	18	49.90	93	0.00	0.00	0.40	99.60	67	19	38.90	92	26.10	0.12	7.47	92.41
18	18	44.40	92	56.70	0.00	16.01	83.99	69	19	22.80	92	21.10	0.00	0.21	99.79
19	18	31.50	92	52.40	0.00	7.89	92.11	70	19	18.80	92	20.30	0.00	0.47	99.53
20	18	40.90	92	44.50	0.00	6.05	93.95	71	19	6.20	92	12.70	0.08	0.91	99.01
21	18	50.50	92	48.70	0.11	5.64	94.25	72	18	50.10	2	5.40	0.00	1.83	98.15
22	18	55.70	92	49.80	0.00	0.23	99.75	73	18	49.50	92	16.60	0.05	3.04	96.91
23	18	59.40	92	52.10	0.03	0.30	99.66	74	19	5.20	92	24.40	0.00	0.47	99.53
28	19	28.30	93	6.40	0.00	2.03	97.97	75	19	11.90	92	26.00	0.01	4.75	95.24
32	20	11.50	92	10.20	0.00	0.41	99.59	76	19	16.30	92	28.30	0.00	0.07	99.93
37	20	10.60	92	7.10	0.00	0.56	99.44	77	19	19.10	92	29.70	0.00	0.59	99.41
38	20	8.40	92	3.50	0.00	7.80	92.20	78	19	32.00	92	34.50	0.00	0.42	99.58
42	19	37.70	91	48.40	0.16	12.13	87.71	79	19	12.30	92	32.00	0.28	2.16	97.56
43	19	19.50	91	39.40	0.17	1.34	98.49	80	19	9.30	92	33.00	0.00	0.44	99.56
44	19	4.60	91	32.80	0.06	13.93	86.01	81	19	5.00	92	33.50	0.00	0.21	99.79
45	19	4.40	91	42.00	0.01	5.16	94.83	82	18	58.20	92	30.10	0.03	1.65	98.32
46	19	18.20	91	49.20	0.00	0.70	99.30	83	18	46.10	92	24.60	0.04	2.40	97.56
47	19	34.00	91	55.70	0.00	2.26	97.74	86	18	44.50	92	32.90	0.00	0.73	99.27
48	19	44.30	92	1.30	0.00	0.21	99.79	87	18	57.00	92	39.60	0.00	0.88	99.12
49	19	53.30	92	4.50	0.27	0.85	98.88	88	19	0.40	92	41.90	0.00	0.26	99.74
50	19	3.30	92	9.20	0.00	0.39	99.61	89	19	6.90	92	43.50	0.00	0.22	99.78
51	19	59.30	92	11.70	0.24	0.70	99.06	90	19	15.10	93	12.10	0.00	0.50	99.50
52	19	22.50	92	14.60	0.00	1.51	98.49								

Tabla 3. Granulometría de los sedimentos superficiales del fondo oceánico de la campaña IMCA II.

Estudio geológico ambiental del sur del Golfo de México

IMCA III															
EST.	LATITUD	LONG.	GRAVA	ARENA	LODOS	EST.	LATITUD	LONG.	GRAVA	ARENA	LODOS				
1	21	17.60	97	13.60	0.02	27.31	72.66	30	19	17.70	91	58.10	0.33	0.68	98.99
2	21	16.80	97	3.30	2.75	41.60	55.65	31	18	56.50	91	46.80	0.00	2.42	97.58
3	21	17.10	97	1.20	0.00	1.49	98.51	32	18	52.50	91	58.60	0.04	2.08	97.88
4	21	37.20	97	8.30	0.00	2.54	97.46	33	18	50.10	92	6.20	0.08	0.10	99.81
5	21	33.70	97	14.90	1.27	62.52	36.20	34	18	49.20	92	16.30	0.00	0.98	99.02
6	21	33.70	97	17.80	0.00	60.96	39.04	35	19	11.90	92	11.30	0.00	0.26	99.74
7	21	54.20	97	33.10	6.88	90.44	2.68	36	19	15.20	92	8.30	0.00	0.25	99.75
8	21	57.50	97	23.60	12.97	52.39	34.64	37	19	24.30	92	12.40	0.26	2.07	97.67
9	21	59.40	97	19.40	0.00	2.45	97.55	38	19	31.80	92	15.00	0.05	0.85	99.10
10	22	30.50	97	26.30	0.00	0.62	99.38	39	19	40.80	92	17.50	13.50	59.78	26.72
11	22	28.90	97	33.80	0.00	5.91	94.09	40	19	46.20	92	19.90	16.70	60.81	22.49
12	22	24.80	97	41.00	0.03	31.59	68.38	41	19	33.30	92	24.10	0.04	1.75	98.21
13	20	10.00	92	9.90	0.00	0.56	99.44	42	19	26.20	92	22.70	0.03	0.53	99.44
14	20	11.10	92	7.00	0.07	5.49	94.44	43	19	23.30	92	21.10	0.00	0.20	99.80
15	20	8.00	92	4.00	0.97	2.50	96.54	44	19	18.20	92	20.10	0.00	0.42	99.58
16	19	42.30	91	4.10	0.80	16.02	83.18	45	19	5.80	92	22.90	0.00	0.32	99.68
17	19	20.90	91	39.60	0.06	0.95	98.98	46	19	12.20	92	26.00	0.00	0.16	99.84
18	19	4.80	91	33.30	0.42	16.56	73.02	47	19	15.70	92	28.00	0.00	0.20	99.80
19	19	4.00	91	42.10	0.00	1.28	98.72	48	19	18.30	92	28.90	0.00	0.37	99.63
20	19	20.00	91	49.80	0.00	0.32	99.68	49	19	28.80	92	35.50	0.07	16.02	83.91
21	19	33.30	91	54.70	0.04	1.81	98.16	50	20	21.40	96	36.50	0.00	5.88	94.12
22	19	42.90	92	0.80	0.04	0.46	99.51	51	20	18.90	96	41.00	0.04	13.97	85.99
23	19	52.10	92	3.90	0.00	0.62	99.38	52	20	16.00	96	44.50	0.44	54.53	45.03
24	20	3.60	92	9.20	0.00	0.71	99.29	53	20	32.10	96	57.00	0.26	51.38	48.37
25	19	52.10	92	16.40	0.00	3.33	96.67	54	20	33.40	96	52.30	0.03	16.55	83.42
26	19	44.90	92	11.60	0.17	3.33	96.30	55	20	45.10	96	48.70	0.00	5.31	94.69
27	19	37.20	92	8.00	0.00	0.87	99.13	56	21	1.70	96	55.80	0.00	0.54	99.46
28	19	29.40	92	3.50	0.06	0.71	99.21	57	20	56.60	97	10.70	1.86	55.20	42.93
29	19	1.70	92	1.70	0.00	0.57	99.43								

Tabla 4. Granulometría de los sedimentos superficiales del fondo oceánico de la campaña IMCA III.

Estudio geológico ambiental del sur del Golfo de México

IMCA IV															
EST.	LATITUDE	LONG.	GRAVIM.	ARENIM.	LOCON.	EST.	LATITUDE	LONG.	GRAVIM.	ARENIM.	LOCON.				
1	20	53.80	97	11.00	0.10	52.42	47.49	28	18	57.20	91	48.50	0.02	11.94	88.03
2	20	59.90	97	0.50	0.00	11.35	88.63	29	19	17.00	91	56.60	0.06	0.62	99.33
3	21	2.50	96	56.10	0.00	0.38	99.62	30	19	25.40	92	0.60	0.00	0.55	99.45
4	20	36.50	96	46.10	0.00	3.23	96.77	31	19	37.40	92	7.80	0.00	1.92	98.08
5	20	35.30	96	49.70	0.02	34.16	65.82	32	19	47.70	92	11.10	1.14	0.76	98.11
6	20	32.50	96	57.30	0.12	49.46	50.42	33	19	52.60	92	14.50	0.00	1.30	98.70
7	20	15.80	96	44.00	0.00	6.01	93.99	34	20	3.20	92	9.20	0.00	0.52	99.48
8	20	18.80	96	41.10	0.05	8.22	91.73	35	19	43.80	92	1.30	0.00	1.87	98.13
9	20	22.70	96	39.00	0.00	1.86	98.14	36	19	33.40	91	54.60	0.14	19.13	80.73
10	19	32.10	92	34.20	0.22	13.95	83.84	37	19	18.00	91	49.30	0.04	0.71	99.25
11	19	19.10	92	28.60	0.05	0.28	99.67	38	18	59.20	91	38.20	0.00	6.75	93.25
12	19	16.30	92	28.20	0.00	2.63	97.37	39	19	5.00	91	32.80	0.06	8.05	91.90
13	19	11.90	92	26.00	0.00	1.05	98.93	40	19	20.30	91	39.40	0.00	0.85	99.15
14	19	4.50	92	23.80	0.00	0.68	99.32	41	19	43.10	91	45.60	20.36	62.15	17.49
15	18	47.40	92	15.20	0.16	2.90	96.94	42	20	9.80	92	6.20	2.25	34.28	63.17
16	18	51.00	92	7.80	0.17	1.81	98.02	43	20	11.10	92	6.90	0.00	3.17	96.83
17	19	8.20	92	18.10	0.03	0.31	99.66	44	20	11.20	92	11.20	0.00	0.53	99.47
18	19	16.70	92	20.30	0.07	0.58	99.35	45	20	14.30	92	21.00	0.00	1.62	98.38
19	19	23.70	92	21.40	0.00	0.40	99.60	46	22	30.40	97	28.10	0.03	1.62	98.34
20	19	26.00	92	23.60	0.00	0.21	99.79	50	22	28.40	97	34.90	0.00	0.95	99.05
21	19	38.00	92	28.00	0.10	9.20	90.69	51	22	24.5	97	42.9	0.06	40.95	38.99
22	19	46.60	92	20.60	0.35	31.05	48.61	52	21	54.5	97	32.9	0.42	68.02	31.26
23	19	40.50	92	18.30	11.56	30.68	37.76	53	21	57.7	97	23.4	12.95	32.82	54.23
24	19	34.20	92	13.20	0.00	0.38	99.62	54	21	59.5	97	19.2	0.00	2.47	97.53
25	19	25.50	92	10.70	0.00	0.51	99.49	55	21	36.9	97	8.3	0.00	0.44	99.56
26	19	13.90	92	7.40	0.00	0.43	99.57	56	21	35.9	97	13.7	3.73	61.60	34.67
27	18	50.40	91	55.70	0.00	1.30	98.70	58	21	37.2	97	20.3	0.46	90.03	9.51

Tabla 5. Granulometría de los sedimentos superficiales del fondo oceánico de la campaña IMCA IV.

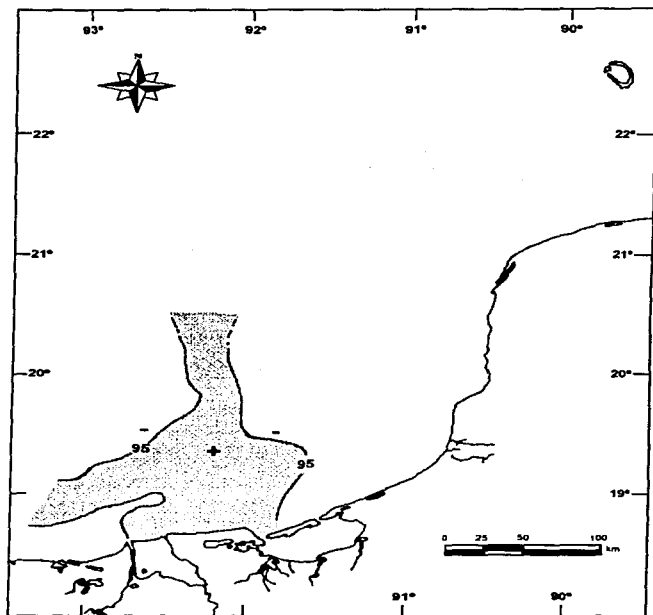


Fig. 4. Distribución de lodos.

El área sombreada indica valores mayores de 95 % de contenido de lodos.

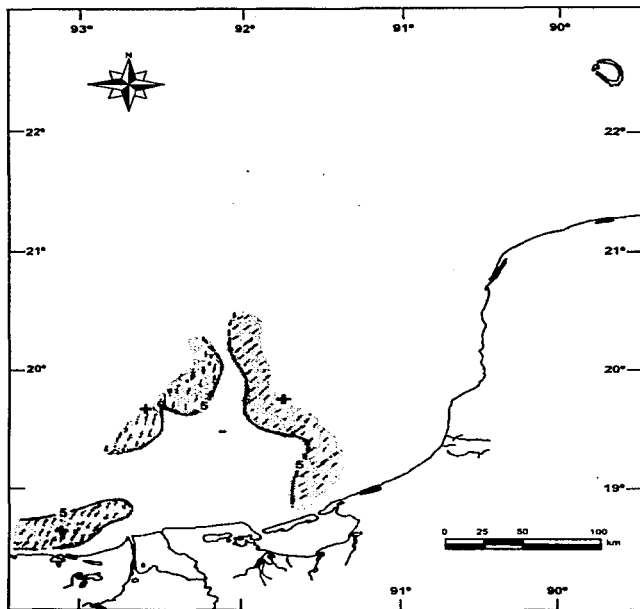


Fig. 5. Distribución de arenas.

Las áreas sombreadas indican valores mayores del 5 % de contenido de arenas.

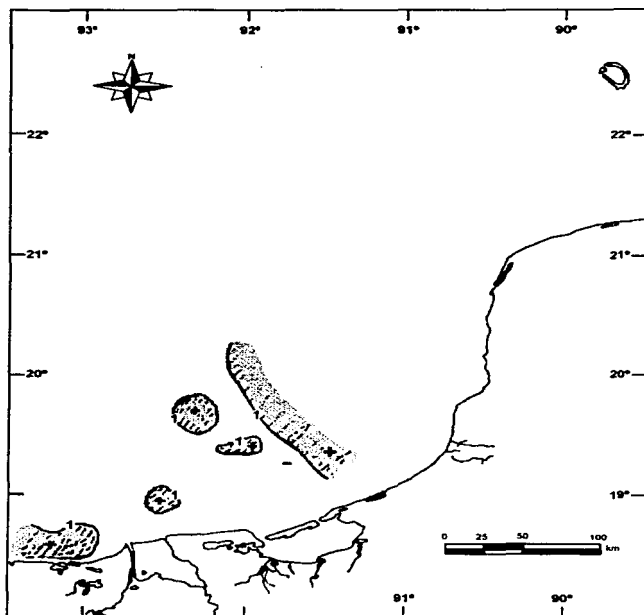


Fig. 6. Distribución de gravas.

Las áreas sombreadas indican valores mayores del 1 % de contenido de gravas.

El contenido de carbonatos en los lodos colectados es menor del 25 % al norte de los ríos Grijalva y Usumacinta (Fig. 7). Esto se debe principalmente al hecho de que existe un gran aporte fluvial al ambiente marino desde estos ríos (Shirasago-German, 1991).

Al noreste de la zona delimitada por los sedimentos terrígenos, frente a la Isla del Carmen y de una de las bocas de la laguna de Términos se presenta una zona de transición (Fig. 7), en la cual el contenido de carbonatos en los sedimentos superficiales del fondo oceánico va desde un 25 % que es la zona limítrofe de los sedimentos terrígenos, hasta un 75 % en dirección noreste. Este punto se puede considerar un límite natural entre la influencia del aporte fluvial y lagunar del sistema Grijalva-Usumacinta-Términos y de las inmediaciones del banco de Campeche que es una provincia de carbonatos.

Estudios sobre los sedimentos de la plataforma continental frente a Campeche, indican que los mayores porcentajes de sedimentos terrígenos se ubican hacia la Sonda de Campeche, en tanto que los materiales biogénicos son más abundantes dentro de la plataforma continental (Campos-Castán, 1981).

El contenido de carbonatos en los sedimentos (Fig. 8) permite observar como los valores se incrementan hacia el noreste de las desembocaduras de los ríos Grijalva y Usumacinta.

Los sedimentos carbonatados son generalmente biogénicos y no contienen metales traza con excepción del Sr y del Mg (Chester, 1990).

Estudios realizados por Rosales-Hoz et al. (1992), indican que el Sr es uno de los metales que presenta una distribución con los valores más altos en la región de sedimentos carbonatados por lo que tiene una gran correlación con éstos (Tabla 6 y Fig. 9).

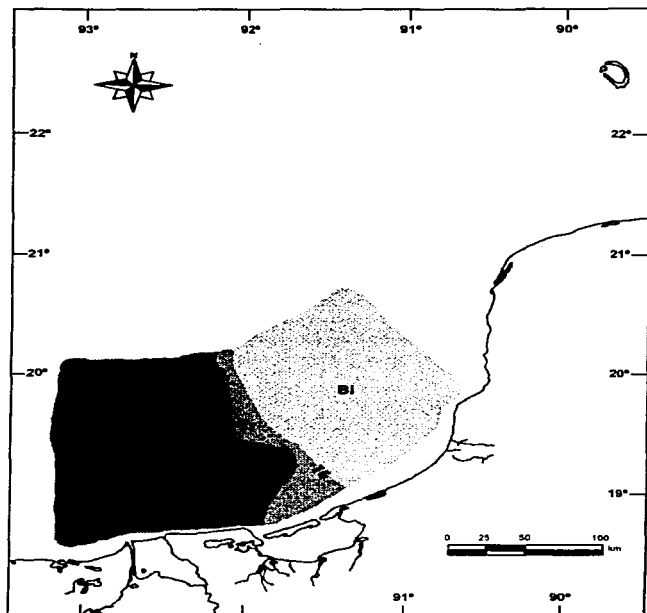


Fig. 7. Sedimentos terrígenos y sedimentos biogénicos.

Zona de terrígenos "Te" (contenido menor del 25 % de carbonatos), zona de transición "Tr" (entre 25 y 75 % de contenido de carbonatos) y zona de biogénicos "Bi" (más del 75 % de contenido de carbonatos).

(Modificado de Carranza-Edwards et al., 1993)

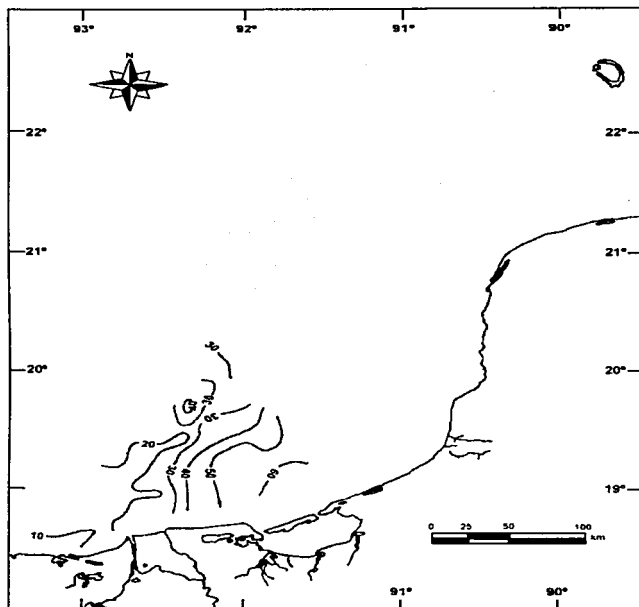


Fig. 8. Distribución de carbonatos. Concentraciones en %.
(Modificado de Rosales-Hoz et al., 1992)

	CO ₂	M.O.	Al	Fe	Zn	Ni	Sr	Cr	Si	Mn	Ti	Ba	Lodo
CO ₂	1.00	0.09	-0.03	-0.89	-0.89	-0.24	0.84	-0.42	-0.76	-0.62	-0.86	-0.14	-0.14
M.O.		1.00	0.07	-0.18	-0.02	0.16	0.07	0.02	-0.23	0.04	-0.20	0.29	0.11
Al			1.00	0.21	0.29	0.22	-0.04	0.16	0.11	0.45	0.17	0.39	-0.24
Fe				1.00	0.87	0.25	-0.76	0.42	0.73	0.58	0.78	0.14	0.13
Zn					1.00	0.29	-0.84	0.31	0.62	0.67	0.79	0.21	0.12
Ni						1.00	-0.12	0.68	-0.17	0.69	-0.01	0.31	0.10
Sr							1.00	-0.31	-0.64	-0.49	-0.79	-0.02	-0.12
Cr								1.00	0.21	0.62	0.26	0.07	0.10
Si									1.00	0.27	0.80	-0.02	-0.13
Mn										1.00	0.38	0.27	0.04
Ti											1.00	0.14	0.00
Ba												1.00	1.16
Lodo													1.00

Tabla 6. Coeficiente de correlación en sedimentos superficiales.
Valores significativos con nivel de confianza de 99 % > 0.325 (n=68)
(Tomado de Rosales-Hoz et al., 1992)

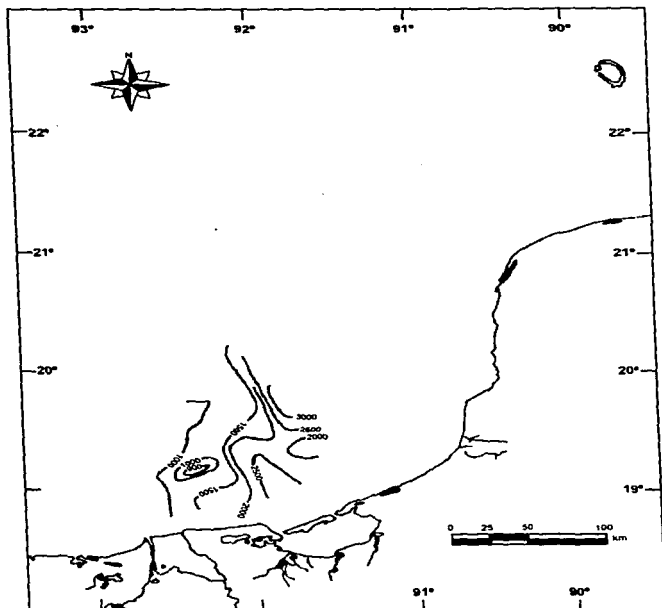
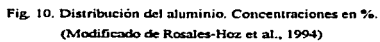


Fig. 9. Distribución de estroncio. Concentraciones en ppm.
(Modificado de Rosales-Hoz et al., 1992)

Como el aluminio es uno de los componentes más importantes que conforman a los minerales arcillosos, los cuales son parte de los componentes del material de origen terrígeno, se realizaron medidas en el Laboratorio de Química Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM con base en la concentración de este elemento en los sedimentos superficiales del fondo oceánico en el área de estudio durante las campañas IMCA, con la finalidad de hacer una evaluación de los patrones de distribución de los sedimentos aportados por sistema fluvial Grijalva-Usumacinta desde un punto de vista químico.

Los valores del aluminio van de 0.26 % hasta 8.11 % (Fig. 10), donde los valores más altos se registraron en las cercanías de las descargas del sistema fluvial, donde se presenta una tendencia en la distribución en dirección norte (Rosales-Hoz et al., 1994).



V ZONIFICACION DE SEDIMENTOS POR COLOR

Al realizar la observación del color de las muestras colectadas (sedimentos superficiales del fondo oceánico), se obtuvieron diversas gamas de colores, por lo que, para facilitar la compilación de los mapas que muestran la distribución y la posible procedencia del sedimento, se crearon grupos de colores dependiendo de la similitud entre ellos (Tabla 7 y 8).

En las muestras colectadas frente a la laguna de Términos, los sedimentos superficiales del fondo oceánico presentan un color gris claro como color predominante en estado húmedo (Fig. 11), en este material cabe esperar una mayor concentración de materia orgánica dada la cercanía e influencia del aporte lagunar.

La variación de color que presentan las muestras cuando cambian de estado húmedo a estado seco, tiene cierta correspondencia con la composición del sedimento ya que los colores del grupo II coinciden con la zona determinada como zona de transición (Fig. 12). Hacia el grupo III se incrementa el contenido de Zn y hacia el grupo I el de carbonatos y el de Sr (Carranza-Edwards y Doger-Badillo, 1990).

En el análisis del color de los sedimentos superficiales del fondo oceánico se crearon grupos de colores para facilitar la compilación de mapas, en la elaboración del mapa del color de sedimentos suspendidos también se crearon grupos de colores (Tabla 9) que ayudan a simplificar la tarea.

Los resultados de los colores obtenidos con respecto a los sedimentos suspendidos fueron en su mayoría blancos, amarillos pálido y amarillos (Fig. 13). Un factor importante a considerar en este estudio es el color blanco del papel filtro, ya que el análisis de filtrado se suspende apenas el papel se empieza a tapar, por lo que el material colectado apenas es una delgada película y como la determinación de cada muestra se realizó directamente sobre el material que cubría al filtro, éste pudo haber influido en el color obtenido.

Grupo I	Bianco, amarillo pálido y olivo pálido
Grupo II	Gris claro
Grupo III	Gris olivo claro, gris olivo y gris olivo oscuro
Grupo IV	Pardo grisáceo oscuro y pardo grisáceo muy oscuro

Tabla 7. Grupos de colores para los sedimentos superficiales del fondo oceánico en estado húmedo.

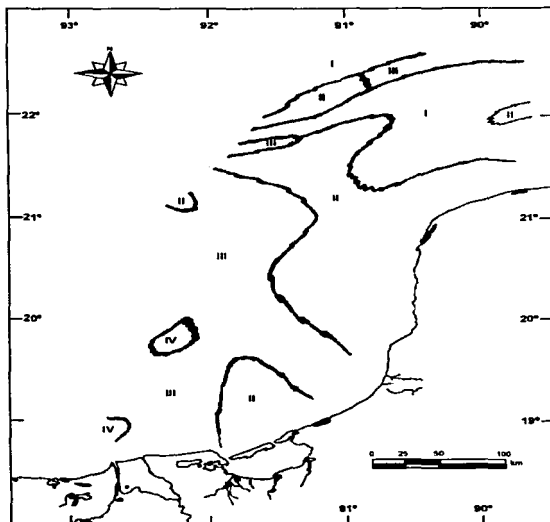


Fig. 11. Color de los sedimentos superficiales del fondo oceánico en estado húmedo.

Grupo I	Blanco y amarillo pálido
Grupo II	Gris claro
Grupo III	Gris olivo claro, gris olivo y gris olivo oscuro

Tabla 8. Grupos de colores para los sedimentos superficiales del fondo oceánico en estado seco.

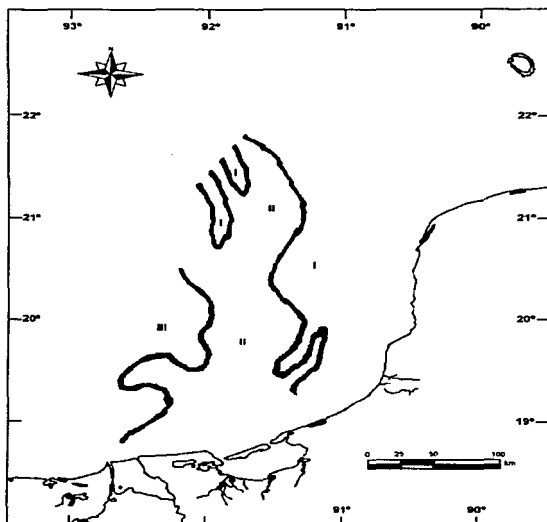


Fig. 12. Color de los sedimentos superficiales del fondo oceánico en estado seco.

Grupo I	Amarillo pálido y amarillo
Grupo II	Blanco
Grupo III	Pardo muy pálido
Grupo IV	Gris claro

Tabla 9. Grupos de colores para sedimentos suspendidos.

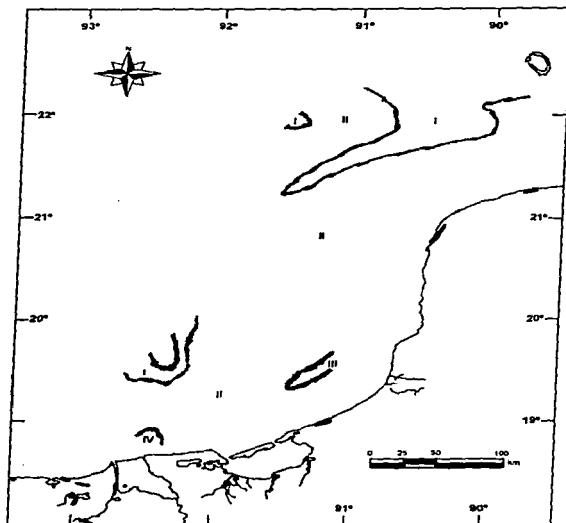


Fig. 13. Color del sedimento suspendido.

Con los datos obtenidos de la determinación del color del sedimento suspendido, casi es nula la percepción de la influencia del sistema fluvio-lagunar sobre el Golfo de México, no así, en los sedimentos superficiales del fondo oceánico.

VI COMPOSICION DE SEDIMENTOS

De acuerdo con la composición textural del sedimento se observa que en los resultados obtenidos en las cuatro campañas del proyecto IMCA, en general el material más abundante es el lodo (limo y arcilla), y que éste es en promedio mayor del 95 % (Fig. 14). En mucho menor medida se tiene un promedio alrededor del 5 % de arena y valores menores del 1 % de grava.

Con base en la compilación hecha por Carranza-Edwards y Aguayo-Camargo (1992), las arcillas calcáreas son los sedimentos más abundante en la zona de estudio; se encuentran en una franja que abarca la mayor parte de la zona de estudio y se localiza frente a la desembocadura del río Usumacinta y la laguna de Términos, que se extiende hacia el noreste (Fig. 15). Con la franja colindan dos zonas de limos, arenas y gravas calcáreas, una ubicada al occidente de las arcillas calcáreas y la segunda localizada por encima de éstas hacia el oriente, y por último las arcillas calcáreas limitan en su margen septentrional con una franja de arcillas margosas, que a su vez, se sitúa en medio de las dos zonas de limos, arenas y gravas calcáreas.

Al hacer la relación de la compilación anterior con los datos de la distribución de sedimentos, se observa que, frente a la desembocaduras de los sistemas fluvial y lagunar los sedimentos se caracterizan por ser principalmente arcillosos y con un contenido significativo de carbonatos, sin embargo, al oeste de la laguna de Términos se observan valores de carbonatos menores del 50 % y hacia el este de la laguna los valores son mayores del 50 %.

Cuantitativamente, los componentes más importantes de los sedimentos de los ambientes marinos de tipo terrígeno son el cuarzo y los minerales arcillosos (Chester, 1990).

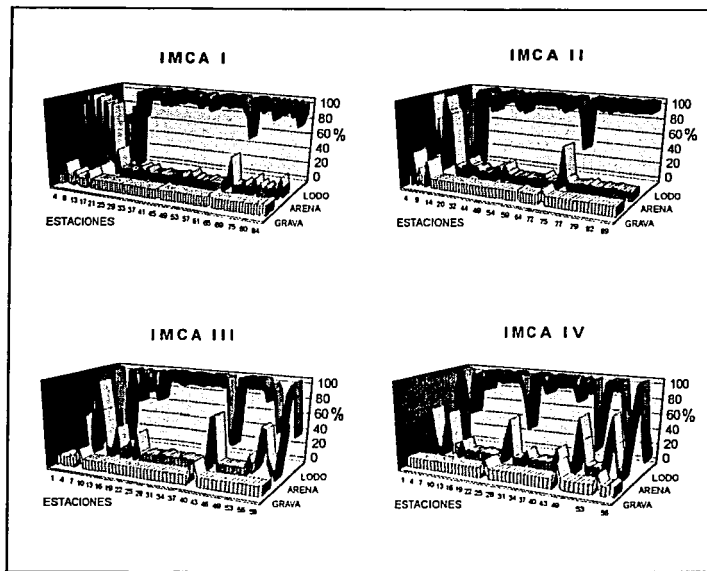


Fig. 14. Comparación gráfica de la textura de los sedimentos superficiales del fondo oceánico de las campañas IMCA I, II, III Y IV.

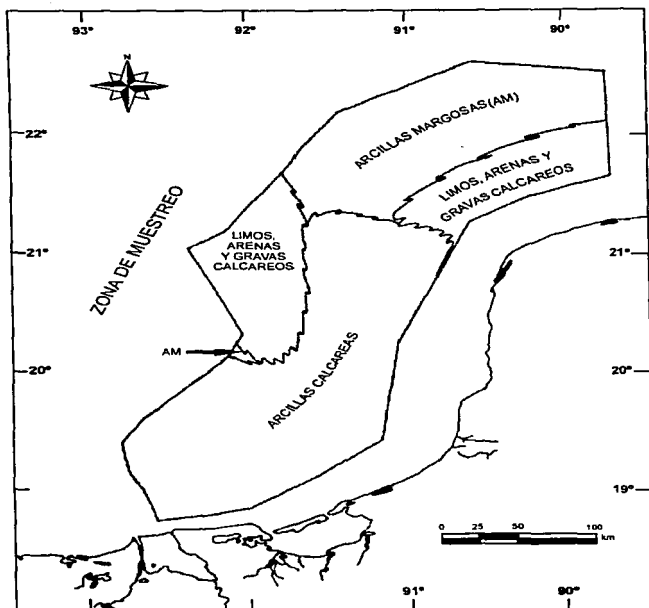


Fig. 15. Distribución textural y composicional de los sedimentos superficiales del fondo oceánico.
(Tomado de Carranza-Edwards y Aguayo-Camargo, 1992)

La composición promedio de los lodos en la parte cercana a la costa es del 25 % de Si, 8.4 % de Al, 6.5 % de Fe, 4 % de Na, 2.9 % de Ca, 2.5 % de K y 2.1 % de Mg (Chester, 1990), aunque por otro lado, esta composición química es altamente variable dado que las condiciones de depósito en esta zona están sujetas a una gran variedad de condiciones y aparte es influida por los aportes continentales.

Los factores más importantes que influyen en las condiciones de depósito de los sedimentos recientes son: a) la cantidad del aporte de sedimentos, b) el nivel de la marea, y c) la intensidad del movimiento del agua local que ocasiona un retrabajo en el sedimento y a su vez proporciona nuevo material (Calvert, 1976).

Del crucero oceanográfico IMCA I se seleccionaron muestras obtenidas al norte y noroeste de la desembocadura del río Grijalva, con el objeto de realizar observaciones al microscopio y estimar la diferente composición de los sedimentos superficiales del fondo oceánico, donde texturalmente el lodo es mayor del 90 %.

En la estación de muestreo número 33 localizada al norte de la desembocadura del río Grijalva a una profundidad aproximada de 20 brazas se pueden observar partículas minerales de calcita (Fig. 16a).

Rumbo al norte de dicha desembocadura, donde la profundidad se acerca a las 100 brazas y el porcentaje de arena es menor de 5 % son más abundantes los agregados de minerales arcillosos (Fig. 16b). Este material fue colectado en la estación número 38.

En la parte más occidental de la zona en estudio, las estaciones 24 y 25, también alrededor de las 100 brazas de profundidad y donde los sedimentos superficiales del fondo oceánico alcanzan casi el 100 % de contenido lodoso se tiene una gran concentración de colonias de diatomeas penales (Fig. 16c y 16d).

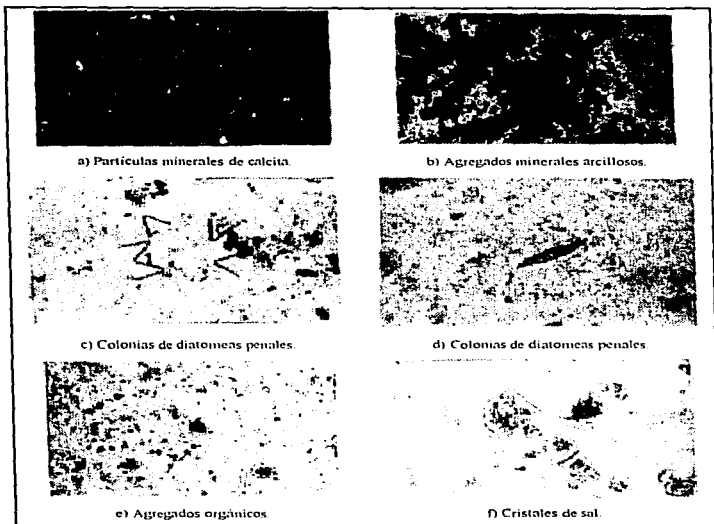


Fig. 16. Fotografías de láminas delgadas de minerales.
Muestras colectadas en la campaña IMCA I.

Los agregados orgánicos (Fig. 16e) se hacen presentes de igual manera a las 100 brazas de profundidad al noroeste de la boca del río Grijalva, localizándose esta composición mineral en la estación 37 al oriente de las colonias de diatomeas penales de la estación 38 y al occidente de los agregados minerales arcillosos. Aquí el contenido de lodos es similar al de las estaciones 24 y 25, siendo mayor que el 99 %.

La estación de muestreo número 29 está ubicada al noroeste del río Grijalva y tiene un contenido de lodos semejante a las estaciones anteriores, pero donde los sedimentos superficiales del fondo oceánico se encuentran alrededor de las 20 brazas de profundidad presenta cristales de sal (Fig. 16f) en el análisis microscópico.

Al existir muestras en las cuales se presentan agregados orgánicos y colonias de diatomeas, éstas pueden aportar Si en la zona de estudio; sin embargo, las partículas terrígenas (limos y arcillas) son el principal aporte de este elemento, ya que, cerca de la desembocadura de los ríos Grijalva y Usumacinta se observan las mayores cantidades de sílice (Fig. 17), el cual va disminuyendo gradualmente hacia el noreste del área en cuestión.

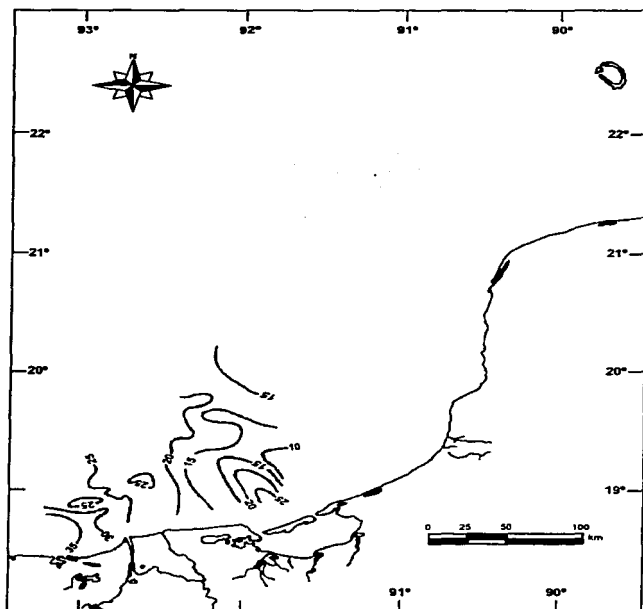


Fig. 17. Distribución de sílice. Concentraciones en %.
(Modificado de Rosales-Hoz et al., 1992)

VII ANALISIS DE MATERIAL SUSPENDIDO

El estudio sobre material suspendido, se realizó con muestras colectadas en los cruceros DINAMO I y DINAMO II, donde también se determinó la transparencia con el disco de Secchi.

Las determinaciones de transparencia se realizaron entre las 8:00 hrs. y la 17:00 hrs. durante el crucero DINAMO I, se observa que en los transectos más septentrionales existe una mayor transparencia hacia aguas más profundas (Fig. 18).

Las partículas arcillosas son más abundantes en las bocas de los ríos Grijalva y Usumacinta (Carranza-Edwards et al., 1993). De acuerdo con Scafe y Kunze (1960), la montmorillonita es el mineral arcilloso más abundante en los sedimentos del Golfo de México.

Los valores más altos de material suspendido son alrededor de 20 mg/l y se observan cerca de las desembocaduras de los ríos Grijalva y Usumacinta (Fig. 19). Esta alta concentración está limitada al este por Boca del Carmen de la laguna de Términos, donde se presenta una corriente de salida (Yañez-Arancibia y Day, 1982).

Para la campaña DINAMO II, los valores máximos están alrededor de 25 mg/l, y también se ubican en las cercanías de los ríos Grijalva y Usumacinta (Fig. 20). El ligero incremento en el material suspendido durante el período de nortes puede ser una respuesta al aporte fluvial o lagunar que ocurre al final de la temporada de lluvias (Carranza-Edwards et al., 1993).

En general, el promedio del material suspendido en temporada de secas es de 5.1 mg/l en contraste con 5.5 mg/l para la temporada de nortes, y los valores más bajos para ambos cruceros están por debajo de 3 mg/l y se ubicaron a 150 km al noroeste de la laguna de Términos.

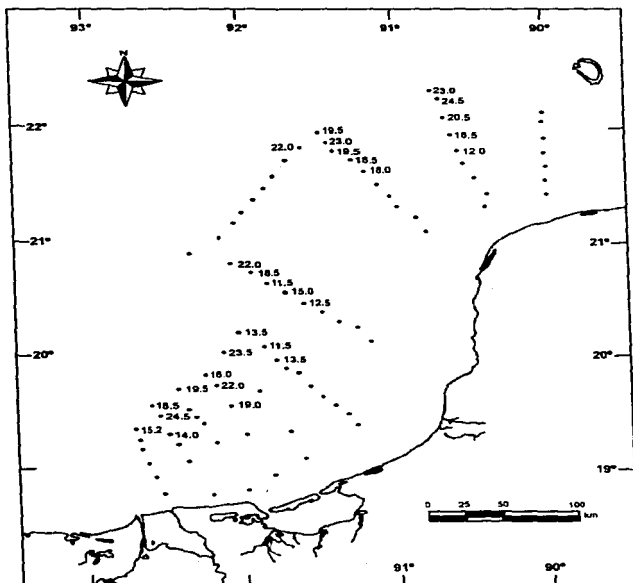


Fig. 18. Transparencia de agua.

Valores obtenidos con el disco de Secchi, profundidad en metros.

(Modificado de Carranza-Edwards y Doger-Badillo, 1990)

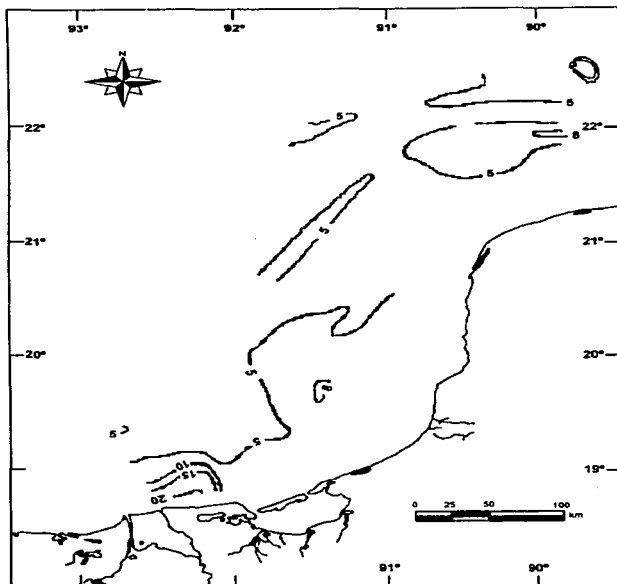


Fig. 19. Cantidad de sedimento suspendido (mg/l) del DINAMO I.
Muestras obtenidas en temporada de secas.
(Modificado de Carranza-Edwards et al., 1993)

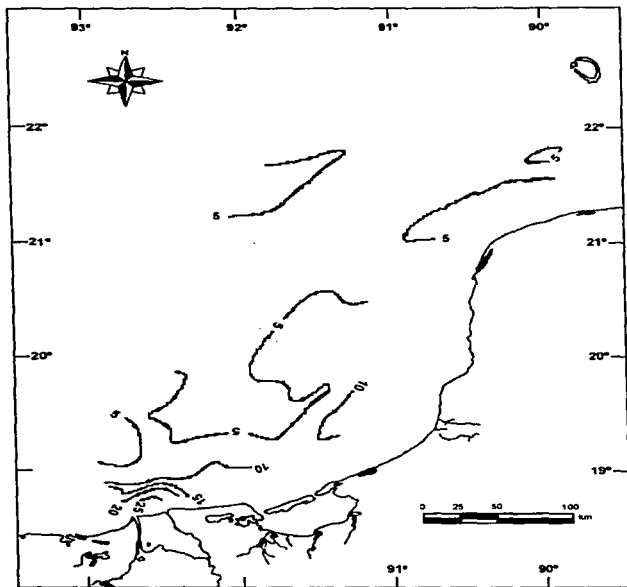


Fig. 20. Cantidad de sedimento suspendido (mg/l) del DINAMO II.
Muestras obtenidas en temporada de nortes.
(Modificado de Carranza-Edwards et al., 1993)

Se detectó una concentración de más de 7 mg/l de material suspendido en ambos cruceros aproximadamente a 150 km al oeste de Campeche y otra de 5 mg/l se encontró al noroeste de Progreso.

Los patrones medidos de material suspendido durante el crucero DINAMO II muestran una gradación horizontal más cerca de la línea de costa que los patrones medidos del DINAMO I (Carranza-Edwards et al., 1993).

La diferencia que se presenta entre los patrones del DINAMO I y II puede ser debida a que el primero se realizó en temporada de secas y el segundo en la de nortes, en donde se tiene mayor influencia fluvio-lagunar.

Con base en la distribución de los sedimentos suspendidos mayores que 0.45 micras, cabe suponer dos corrientes principales (Fig. 21), la primera con rumbo noreste y que desplaza en la misma dirección a los sedimentos fluviales del sistema Grijalva-Usumacinta, y la segunda con rumbo suroeste en la porción septentrional de la plataforma de Yucatán que redistribuye a los sedimentos mayores de 0.45 micras que están en concentraciones superiores del promedio de material suspendido (5 mg/l).

El análisis sobre las muestras colectadas del sistema fluvio-lagunar y en el área de explotación petrolera con fluorescencia de rayos-X muestran una tendencia similar relativa en el contenido de metales (Fig. 22). El contenido relativo de las muestras permite observar cationes de Mg, Ca, Al, Si, Ti, Mn y Fe, que son comunes en minerales arcillosos.

Los datos químicos obtenidos para partículas, arrojan como resultado una alta correlación ($r^2 = 0.76$) de concentraciones entre el Si y Al con un 99 % de nivel de confianza. Estos resultados pueden estar asociados con material detrítico aportado por los ríos. Entre el Ca y Si también se observó una alta correlación ($r^2 = 0.42$), la cual se puede atribuir al material originado por la plataforma y península de Yucatán (Carranza-Edwards et al., 1993).

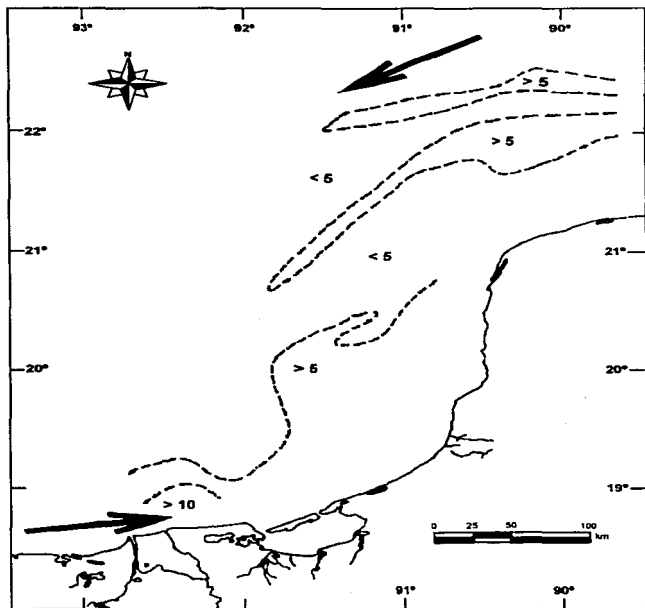


Fig. 21. Sedimentos suspendidos (mg/l).

Compilación hecha a partir del DINAMO I Y II.

Las flechas indican corrientes superficiales inferidas.

(Modificado de Carranza-Edwards y Doger-Badillo, 1990)

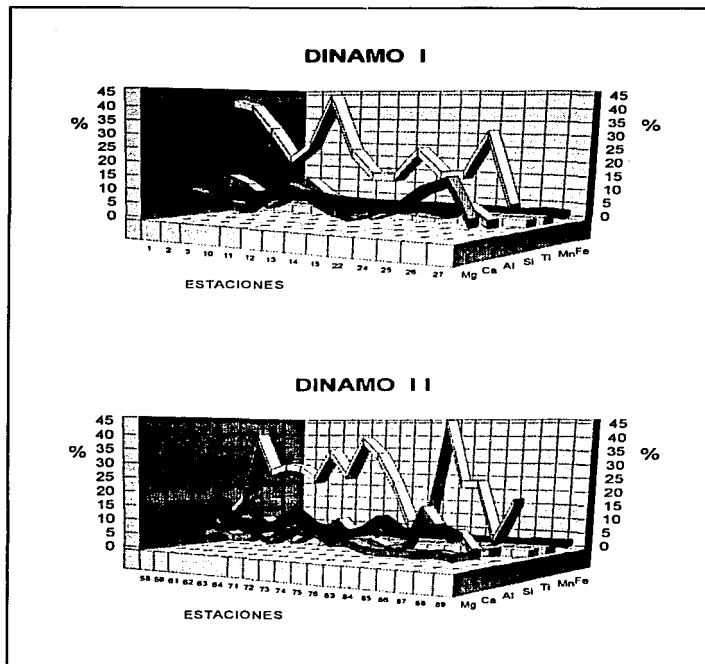


Fig. 22. Gráficas de contenido de metales, analizados por fluorescencia de rayos X.

El sílice también puede ser relacionado a partículas autógenas laminares (Carranza-Edwards et al., 1993). En estudios realizados en el estrecho de Yucatán y el este del Golfo de México se encontró que por abajo de 1250 m de profundidad en aguas del Golfo de México son más ricas en Sílice disuelto que en aguas a la misma profundidad en el noreste del Caribe (Carder et al., 1977).

El fósforo se determinó en menor cantidad en ambos cruceros, y éste puede ser derivado de plantas del sistema fluvio-lagunar (Carranza-Edwards et al., 1993). Del titanio y manganeso se obtuvieron las más bajas concentraciones en las muestras colectadas en las dos campañas. La distribución de estos elementos en los sedimentos superficiales del fondo oceánico reflejan claramente la influencia de los ríos Grijalva y Usumacinta (Carranza-Edwards et al., 1993).

VIII GEOLOGIA AMBIENTAL

En algunos estudios, se ha encontrado un enriquecimiento de Cu, Ni y Cd en las aguas someras del Golfo de México, lo que se atribuye a aportes fluviales y a la difusión en sedimentos de la plataforma continental. En particular se informan concentraciones de Cu y Ni de alrededor de 9 nmol/kg y de Cd aproximadamente de 200 nmol/kg en la plataforma continental del Mississippi, lo que sugiere aportes fluviales (Boyle et al., 1984). También se ha podido observar que los mecanismos de transporte sedimentario juegan un papel importante en la distribución de arcillas y metales traza (Ba, Pb y Mn) en sedimentos del sur de Texas (Boyle et al., 1984).

Por otro lado, Doyle y Feldhausen (1981), por análisis multivariado consideran que un factor importante que afecta la distribución de los metales traza (Ba, Cr, Cu, Fe, Pb y Zn) en los sedimentos es el contenido de carbón orgánico total, por lo que sugieren que en el Golfo de México oriental son importantes los complejos orgánicos dentro de los sedimentos.

De los metales pesados, existen algunos que son indicadores de la influencia antrópica en el medio ambiente, como el Cd, Pb, Cr y Ba.

Los contenidos de cadmio (0.034 ppm) están muy por debajo de los límites de la detección analítica en la zona de estudio; sin embargo, el plomo sí se detectó, pero con valores normales alrededor de 18 ppm y sin presentar grandes variaciones (Rosales-Hoz et al., 1994).

El cromo se hace presente en la naturaleza en una gran cantidad de minerales en la corteza terrestre, así como parte esencial en la vida de los organismos. Dado que el hombre a través de los años lo ha utilizado para diferentes fines, este elemento se ha introducido en el medio ambiente por causas externas a éste.

En los suelos, el cromo generalmente se encuentra en concentraciones que van de 10 a 99 ppm (Merian, 1991). Para tierras de agricultura, la máxima concentración recomendada es de 100 ppm. Sin embargo, en las zonas cercanas a la costa las concentraciones son muy variables (Tabla 10). Datos sobre los sedimentos de las costas mexicanas muestran que en la laguna del Ostión los valores alcanzan hasta 210 ppm y en la laguna de Alvarado son de 175 ppm en el estado de Veracruz (Villanueva y Botello, 1992).

En la zona de estudio se ha detectado el cromo en un rango de 66 a 366 ppm, con un promedio de 166 ppm. Los patrones de distribución del cromo (Fig. 23) sugieren que su origen es producto del aporte fluvial (Rosales-Hoz et al., 1994).

En la industria de la exploración y explotación petrolera se utiliza en gran medida la barita (BaSO_4) como lodo de perforación, por lo que ésta es introducida en gran medida a los sedimentos de plataforma. Como la barita es un compuesto del bario, las concentraciones de este elemento son un buen indicador del aporte antrópico.

Por otro lado, la barita es un compuesto muy fino con una densidad relativa alta y con un equivalente hidráulico de arena fina o limo grueso. Por lo que el desplazamiento de esta sustancia refleja el comportamiento de material granular mayor que el limo y la arcilla (Holmes, 1982). Los intervalos registrados del bario en el área de estudio van del 33 al 767 ppm con un promedio de 147 ppm (Rosales-Hoz et al., 1994).

La concentración del Ba varía considerablemente en la plataforma continental (Tabla 10). En la parte noroeste del Golfo de México se detectó bario concentrado en cuatro áreas con valores que van más allá de las 200 ppm (Holmes, 1982). De estas cuatro áreas, tres colindan directamente con el mayor campo petrolero sobre el interior de la plataforma, y enfrente del río Bravo en el mar se encuentra el área restante. Para ese caso en la parte septentrional de la región el área de alta concentración de bario es un indicador del transporte del sedimento proveniente de la bahía Matagorda (Texas, EUA).

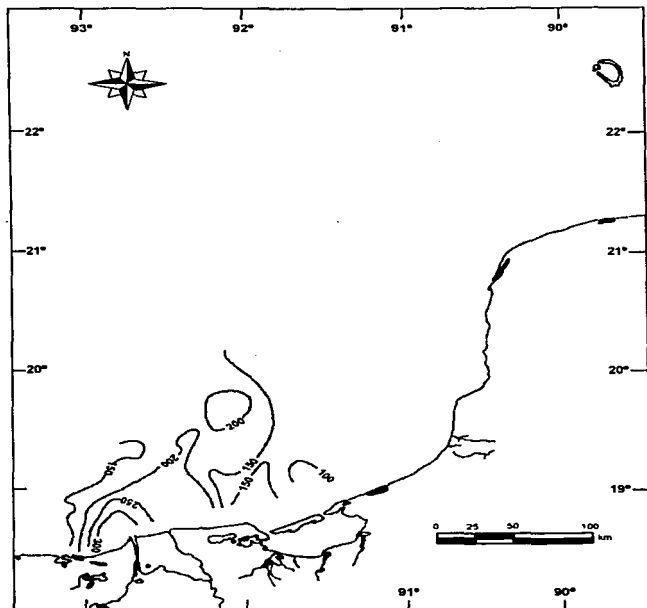


Fig. 23. Distribución de cromo. Concentraciones en ppm.

Metal	Golfo de Paria* (Venezuela)	Massachusetts* (EUA)	Oregon Cont. Shelf* (EUA)	Golfo de México** (México)
Ba	301-394	310	661	33-767
Cr	31-93	33	191	66-366
Pb	13-22	25	10	18
Calvert, 1976*				
Rosales-Hoz et al., 1994**				

Tabla 10. Concentración de minerales pesados (ppm) en diferentes zonas cercanas a la costa.
(Modificado de Rosales-Hoz et al., 1994)

En el presente caso la distribución del Ba en la zona de estudio (Fig. 24) también es un indicador que refleja la actividad petrolera, ya que las máximas concentraciones se observaron en las cercanías al área de actividad petrolera frente a la laguna de Términos. A partir de esta zona los valores tienen en general un comportamiento decreciente.

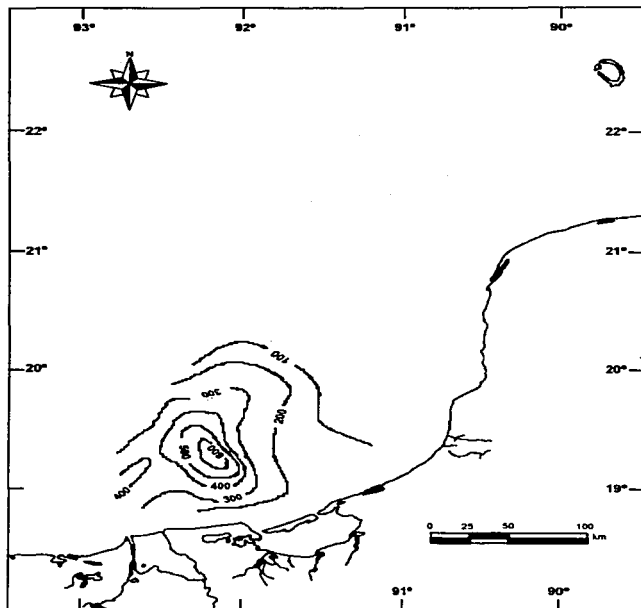


Fig. 24. Distribución de bario. Concentraciones en ppm.

IX CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1) La distribución y el comportamiento de los sedimentos superficiales del fondo oceánico observada, a partir del estudio granulométrico y del análisis químico de algunos elementos traza en los sedimentos de la zona, sugiere un importante aporte de sedimentos de origen detrítico proveniente del sistema fluvial Grijalva-Usumacinta. Dicho aporte de sedimentos presenta una tendencia en su desplazamiento y depositación en dirección al noreste. Una evidencia de este comportamiento es la distribución del aluminio en la zona de estudio, ya que ésta coincide con la disposición de los sedimentos con textura lodosa; este elemento se encuentra con mayores concentraciones frente a las desembocaduras de los ríos Grijalva y Usumacinta, con una distribución con dirección noreste, donde disminuyen sus concentraciones.

2) Al noroeste de la laguna de Términos se observan irregularidades en la distribución del sedimento del tamaño de grava, ocasionado por la presencia de fragmentos de conchas.

3) Con ayuda del análisis del contenido de carbonatos en la zona se puede observar que el material terrígeno sufre una disminución hacia el noreste de la laguna de Términos, donde a su vez los valores de carbonatos se incrementan, lo que determina tres zonas principales. La primera formada por un alto contenido de material terrígeno frente a la desembocadura de los ríos Grijalva y Usumacinta principalmente, abarcando parte de la región septentrional y al oriente a partir de las bocas de este sistema fluvial; la segunda frente a la laguna de Términos donde se tiene la zona de transición entre terrígenos y carbonatos y por último la zona rica en carbonatos con sedimentos más gruesos que se extiende hacia la plataforma de Yucatán.

4) Con la textura, la composición de sedimentos y los colores obtenidos (en seco), se observa que limos, arenas y gravas calcáreos resultaron en su mayoría blancos y amarillos pálidos y cuando se presenta una influencia de terrígenos fluviales o lagunares tienden a oscurecerse exhibiendo generalmente colores grises.

5) Debido a que la laguna de Términos tiene un aporte mayor de materia orgánica, los sedimentos arcillosos calcáreos en estado húmedo que se colectaron frente a ella muestran en general un color gris claro, y los sedimentos más gruesos de carácter biogénico en estado húmedo presentan colores que van desde el amarillo y pasan por colores pálidos hasta llegar al blanco.

6) En la zona de los lodos, el elemento más abundante es la sílice, siendo de alguna manera, producto de los agregados orgánicos, pero en su mayor parte este elemento es de origen detrítico, dado que la mayor concentración se encuentra frente a las desembocaduras de los ríos Grijalva y Usumacinta. Sin embargo, la zona en estudio se caracteriza por su alto contenido de carbonatos, con los valores más altos hacia el este, donde el contenido de sílice disminuye considerablemente.

7) Las concentraciones de más de 5 mg/l de material suspendido ubicadas al norte y noreste del sistema fluvio-lagunar, presentan un comportamiento similar a la distribución de arcillas calcáreas del fondo marino descritas anteriormente en el presente trabajo, lo que sugiere la influencia de una corriente predominante con dirección noreste. En la porción septentrional de la plataforma de Yucatán, se localizan dos porciones más con concentraciones de material suspendido con valores mayores que 5 mg/l con una tendencia hacia el suroeste, lo que supone otra corriente en este sentido.

8) Los tamaños mayores que 0.45 micras de los sedimentos suspendidos se encuentran en mayor proporción hacia las desembocaduras del sistema fluvio-lagunar, teniendo los máximos valores desplazados hacia el noreste debido probablemente a corrientes superficiales.

9) Las mediciones hechas con el disco de Secchi sólo indican que en los transectos más septentrionales se tiene una mayor transparencia hacia aguas más profundas, pero este instrumento es susceptible de proporcionar información errónea, ya que, las lecturas pueden variar según el observador, la hora y las condiciones atmosféricas al momento de hacer la

medición, por lo que no se considera como un parámetro de utilidad para la determinación de la abundancia de sedimentos finos suspendidos.

10) De los metales pesados analizados para determinar la influencia antrópica en la zona de estudio, el cadmio presentó valores que están por debajo de los límites de una detección analítica por lo que se considera que este elemento no representa un contaminante para la zona. Por otro lado, los valores obtenidos del plomo indican que este metal se encuentra en concentraciones normales.

11) Con relación al cromo, las concentraciones máximas se ubicaron en las cercanías de las desembocaduras de los ríos Grijalva y Usumacinta y su distribución es similar al comportamiento de los sedimentos arcillosos aportados por el sistema fluvial, por lo que se infiere un origen detrítico.

12) El bario, otro de los metales analizados, es anómalamente alto en la zona de estudio. Como ya se mencionó el bario es un elemento ampliamente utilizado durante la exploración y explotación de hidrocarburos. Al realizar las investigaciones sobre las concentraciones de metales pesados, los valores más altos sobre la concentración del bario se encuentra en las cercanías de las plataformas petroleras frente a la laguna de Términos, indicando así que este metal es introducido al ambiente marino por las acciones antrópicas.

RECOMENDACIONES

1) Determinar la granulometría de las campañas DINAMO I Y II, con el objeto de poder establecer la distribución y comportamiento de los sedimentos superficiales del fondo oceánico en una mayor extensión dentro del Golfo de México.

2) Realizar el análisis mineralógico de las muestras sedimentológicas colectadas durante los cruceros oceanográficos IMCA y DINAMO, esto permitirá identificar con mayor precisión su posible origen.

3) Mediante otros tipos de análisis químicos, definir si las concentraciones de Ba detectadas hasta ahora representan un factor de contaminación, así como su eventual repercusión ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Arturo Carranza-Edwards por la dirección de esta tesis y a la Dra. Leticia Rosales-Hoz por el apoyo y asesoría proporcionados durante el desarrollo del presente trabajo.

Un especial agradecimiento a los Sres. Ings. Germán Arriaga García, Miguel Vera Ocampo, Arturo Tapia Crespo y Eduardo A. Morales de la Garza por la revisión del presente y sus desinteresadas observaciones, así como por la orientación y enseñanzas brindadas a través de la carrera.

A las autoridades del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo, así como al personal científico y a la tripulación del B/O Justo Sierra, por su colaboración en las campañas IMCA I, IMCA II, IMCA III, IMCA IV, DINAMO I y DINAMO II.

BIBLIOGRAFIA

- Boyle, E. A., Reid, D. F., Husted, S. S. y Hering, J., 1984. Trace metals and radium in the Gulf of Mexico: An evaluation of river and continental Shelf sources. *Earth Planet Sci. Lett.*, 69 (1): 69-87.
- Calvert, S. E., 1976. The mineralogy and geochemistry of near-shore sediments. In: *Chemical Oceanography* (J. P. Riley and R. Chester, Eds.) Academic Press, London, Chap. 33, pp 187-280.
- Carder, K. L., Fanning, K. A., Betzer, P. R. y Maynard, V., 1977. Dissolved silica and the circulation in the Yucatán Strait and deep eastern Gulf of Mexico. *Deep-Sea Res.*, 24: 1149-1160
- Carranza-Edwards, A. y Doger-Badillo, R., 1990. Dinámica oceánica y su relación con el deterioro ecológico en el sur del Golfo de México: -Estudio de sedimentos y material suspendido en las aguas superficiales del sur del Golfo de México. *Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México.*
- Carranza-Edwards, A. y Aguayo-Camargo, J. E., 1992. Sedimentología Marina. Carta de Geología Marina (esc. 1:12,000,000) del Atlas Nacional del Instituto de geografía, Vol. II, *Naturaleza.*
- Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L. y Monreal-Gómez, A., 1993. Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Mar. Geol.*, 112: 257-259.
- García, E., 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. *Inst. Geograf., Univ. Nal. Autón. México*, 264 pp
- Campos-Castan, J., 1981. Contribución a la sedimentología y morfología de la plataforma continental frente a las costa de Campeche, México. Primera Parte. *Secretaría de Marina, México, D.F.*, 42p.
- Chester, R., 1990. *Marine Geochemistry*. Unwyn Hyman, London, 735p.
- Doyle, L. J. y Feldhausen, P. H., 1981. Bottom sediments of the Eastern Gulf of Mexico examined with traditional and multivariate statistical methods. *Math. Geol.*, 13 (2): 93-117.
- Folk, R. L., 1969. *Petrología de Rocas Sedimentarias*. Trad. por Schlaepfer C. y Schmitter R. M., *Inst. Geol., UNAM*, 405 p

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Estudio geológico ambiental del sur del Golfo de México

- Hesse, P. R., 1971. A. textbook of soil chemical analysis. Murray, London, 519 p.
- Holmes, Ch., 1982. Geochemical indices of fine sediment transport, northwest Gulf of Mexico. J. Sed. Petrol. 52, 307-321.
- Kollmorgen Corporation, 1975. Munsell Soil Color Charts. Baltimore, Maryland.
- Lugo-Hubp, J. y Córdova-Fernández de Arteaga, C., 1991. Geomorfología I. Hoja iv.3.3 Esc:1:4,000,000 del Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, UNAM.
- Mancilla-Peraza, M. y Vargas-Flores, M., 1980. Los primeros estudios sobre la circulación y el flujo neto de agua a través de la laguna de Términos, Campeche. An. Cent. Cienc. Mar. Limnol. Univ. Nal. Auton. México, 7 (2): 1-12.
- Merian, E., 1991. Metals and their compounds in the environment. VCH Publishers, New York, 1438 p.
- Monreal-Gómez, M. A., y Salas de León, D. A., 1990. Simulación de la circulación de la bahía de Campeche. Geofísica Internacional, 29 (2): 101-111.
- Nowlin, W. D., 1972. Winter circulation patterns and property distributions. In: L. R. A. Capurro and J. L. Reids (Editors). Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico. Gulf. Publ. Co., Houston, pp. 3-15.
- Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., Arias-Reynada, S. y Santiago-Pérez, S., 1992. Distribución de metales en sedimentos recientes del sureste del Golfo del México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Auton. México, 19 (2): 123-130.
- Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., Santiago-Pérez, S., Méndez-Jaime, C. y Doger-Badillo, R., 1994. Study of anthropogenically induced trace metals on the continental shelf in the southeastern part of the Gulf of Mexico. Rev. Int. Contam. Ambient., 10 (1): 9-13.
- Scafe, D. W. y Kunze, G. W., 1960. A clay mineral investigation of six cores from Gulf of Mexico Mar. Geol., 10: 69-85.

- Shirasago-German, B., 1991. Hidrografía y análisis frontogenético en el sur de la bahía de Campeche. M. C. Tesis. Univ. Nal. Autón. México, 141 pp.
- Tamayo, J. L., 1990. Geografía Moderna de México. Ed. Trillas, S.A. México, 141 p.
- Villanueva, S. y Botello, A. V., 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión. Rev. Int. Contam. Ambient. 8, 47-61.
- Wentworth, C. K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments, J. Geol., vol. 30, pp. 377 - 392.
- Yañez-Arancibia, A., y Day, J. W. Jr., 1982. Ecological characterization of Terminos Lagoon, a tropical lagoon estuarine system in the southern Gulf of Mexico. Oceanol. Acta, 5: 431-500.