



 FIELDWOOD ENERGY



Informe Detallado de la Línea Base Ambiental para el Área Contractual 4 en el Golfo de México

FIELDWOOD ENERGY E&P MÉXICO

PETROBAL UPSTREAM DELTA 1

www.erm.com



Fieldwood Energy E&P México

Petrobal Upstream Delta 1

**Informe Detallado de
la Línea Base
Ambiental para el
Área Contractual 4 en
el Golfo de México**

julio de 2016

Proyecto No. 0340237

[Redacted text]

Eliminados nombres por ser datos personales. Fundamento en el art. 113 Fracción I de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

[Redacted text]

[Redacted text]

ERM México, S.A. de C.V.



Tabla de contenido

Glosario	vi
Resumen Ejecutivo	xi
1. Introducción	1-1
2. Alcance	2-3
3. Objetivos	3-6
4. Personal y embarcaciones	4-8
4.1. Personal	4-8
4.2. Embarcaciones	4-9
4.2.1 Crucero Bio - Oceanográfico	4-9
4.2.2 Pesca Embarcada Exploratoria	4-10
5. Metodología	5-12
5.1. Generalidades	5-12
5.1.1 Contexto regional	5-13
5.1.2 Contexto local	5-13
5.1.2.1 Delimitación del área de estudio	5-14
5.1.2.2 Ubicación de las estaciones de muestreo	5-14
5.2. Medio abiótico	5-17
5.2.1 Clima y meteorología	5-18
5.2.2 Calidad de agua de mar	5-18
5.2.3 Calidad de Sedimento Marino	5-21
5.3. Medio biótico	5-24
5.3.1 Fitoplancton	5-24
5.3.1.1 Muestreo Cualitativo	5-24
5.3.1.2 Muestreo Cuantitativo	5-25
5.3.2 Zooplancton e Ictioplancton	5-26
5.3.3 Macrobentos	5-27
5.3.3.1 Metodología de muestreo en laboratorio	5-28
5.3.3.2 Análisis de diversidad	5-29
5.3.4 Avifauna marina	5-31
5.3.5 Mamíferos y tortugas marinas	5-32



5.3.6	Pesca exploratoria	5-33
5.3.7	Efectos biológicos	5-35
6.	Resultados	6-37
6.1.	Generalidades	6-37
6.1.1	Contexto regional	6-37
6.1.2	Contexto local	6-38
6.1.2.1	Ubicación del Área Contractual 4 con relación a las regiones de gestión ambiental	6-38
6.2.	Medio abiótico	6-40
6.2.1	Geomorfología regional	6-40
6.2.2	Geología regional	6-41
6.2.2.1	Evolución geológica	6-42
6.2.2.2	Geología Estructural	6-43
6.2.2.3	Columna Estratigráfica General	6-45
6.2.3	Geología y geomorfología local	6-48
6.2.3.1	Sedimentos del Fondo Marino	6-48
6.2.3.2	Columna estratigráfica local	6-50
6.2.4	Clima y meteorología	6-51
6.2.4.1	Clima	6-51
6.2.4.2	Temperatura media anual y mensual	6-55
6.2.4.3	Precipitación media anual y mensual	6-59
6.2.4.4	Humedad relativa	6-61
6.2.4.5	Evaporación media anual	6-64
6.2.4.6	Nubosidad promedio anual	6-66
6.2.4.7	Eventos extremos (Ciclones, huracanes, tormentas y depresiones tropicales)	6-67
6.2.4.8	Corrientes marinas	6-71
6.2.4.9	Vientos dominantes, velocidad y dirección	6-78
6.2.4.10	Presión atmosférica	6-84
6.2.5	Hidrodinámica y batimetría	6-86
6.2.5.1	Oleaje	6-86
6.2.5.2	Mareas	6-88
6.2.5.3	Batimetría	6-89
6.2.5.4	Patrones de dispersión de material particulado suspendido	6-89



6.2.6	Calidad de Agua de Mar	6-93
6.2.6.1	Parámetros fisicoquímicos	6-94
6.2.6.2	Resultados analíticos	6-133
6.2.7	Calidad de Sedimento Marino	6-159
6.2.7.1	Resultados analíticos	6-159
6.2.7.2	Propiedades físicas	6-173
6.2.7.3	Propiedades químicas	6-175
6.3.	Medio Biótico	6-176
6.3.1	Fitoplancton	6-176
6.3.1.1	Determinación Semicuantitativa de Fitoplancton	6-176
6.3.1.2	Determinación Cuantitativa de Fitoplancton	6-182
6.3.1.3	Registro de Microalgas Consideradas Potencialmente Tóxicas por la COI	6-201
6.3.2	Zooplancton	6-203
6.3.2.1	Ictioplancton	6-210
6.3.3	Macrobentos	6-215
6.3.4	Fauna íctica	6-225
	Pesca Exploratoria en la Estación IC- 1	6-229
6.3.5	Aves Marinas	6-236
6.3.5.1	Condiciones ambientales durante la evaluación marina	6-236
6.3.5.2	Resultado de los avistamientos durante la evaluación marina	6-237
6.3.5.3	Ubicación y distribución de las especies registradas	6-238
6.3.5.4	Diversidad de especies registradas	6-239
6.3.5.5	Categoría de conservación	6-239
6.3.6	Mamíferos Marinos	6-240
6.3.6.1	Condiciones ambientales durante la evaluación marina	6-241
6.3.6.2	Resultado de los avistamientos durante la evaluación marina	6-241
6.3.6.3	Composición y abundancia de las especies registradas	6-241
6.3.6.4	Ubicación y distribución de las especies registradas	6-242
6.3.6.5	Diversidad de especies registradas	6-243
6.3.6.6	Categoría de conservación	6-243
6.3.7	Tortugas Marinas	6-244
6.3.7.1	Condiciones ambientales durante la evaluación marina	6-245



6.3.7.2	Resultado de los avistamientos durante la evaluación marina	6-245
6.3.7.3	Composición y abundancia de las especies registradas	6-245
6.3.7.4	Ubicación y distribución de las especies	6-246
6.3.7.5	Diversidad de especies registradas	6-246
6.3.7.6	Categoría de conservación	6-246
6.4.	Efectos biológicos	6-247
6.4.1	Presencia de metales pesados en el sedimento marino	6-247
6.4.2	Presencia de hidrocarburos en el sedimento marino	6-250
6.4.2.1	Niveles Guía de Referencia	6-250
6.4.3	Resultados del análisis de metales pesados	6-251
6.4.4	Resultados del análisis de hidrocarburos	6-259
6.5.	Áreas Sensibles	6-262
6.5.1.1	Arrecifes coralinos	6-262
6.5.1.2	Regiones prioritarias	6-263
6.5.1.3	Áreas Naturales Protegidas	6-266
6.5.1.4	Rutas de migración de aves y mamíferos marinos	6-267
6.6.	Identificación de la Infraestructura Existente	6-270
6.6.1	Actividades Económicas	6-270
6.6.1.1	Turismo	6-270
6.6.1.2	Agricultura	6-270
6.6.1.3	Ganadería	6-270
6.6.1.4	Hidrocarburos	6-271
6.6.1.5	Pesca	6-271
6.6.2	Patrimonio Arqueológico	6-280
6.7.	Diagnóstico ambiental	6-281
6.8.	Registro y descripción de daños ambientales	6-285
6.8.1	Identificación de los daños ambientales	6-285
6.8.2	Valor del daño ambiental	6-286
6.8.3	Descripción de los daños ambientales	6-289
6.8.3.1	Daños ambientales y sociales originados por la industria petrolera	6-295
6.8.3.2	Daños ambientales y sociales derivados de actividades antropogénicas	6-296
6.8.4	Conclusiones	6-297
6.9.	Registro y descripción de daños preexistentes (pasivos ambientales)	6-299



6.9.1	Infraestructura petrolera existente	6-299
6.9.2	Inspección de la infraestructura petrolera existente	6-301
6.9.3	Información de las condiciones ambientales históricas	6-303
6.9.4	Resultados de la presente evaluación ambiental	6-305
6.9.5	Conclusión	6-307
7.	Referencias	7-310
8.	Lista de tablas	8-339
9.	Lista de figuras	9-342
10.	Lista de gráficas	10-346
11.	Anexos	11-350
12.	Apéndices	11-350
13.	Cartografía	13-352



Glosario

S. de R.L. de C.V.,	Sociedad de Responsabilidad Limitada de Capital Variable
S. A. de C. V.	Sociedad Anónima de Capital Variable
CNH	Comisión Nacional de Hidrocarburos
ERM Mexico	Environmental Resources Management, Mexico
ASEA	Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
pH	Potencial de Hidrógeno
OD.	Oxígeno Disuelto
mL.	militros
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez
SST	Solidos Suspendidos Totales
HTP	Hidrocarburos totales de Petróleo
HAP	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
BTEX	Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno,
HM	Hidrocarburos Monoaromaticos (BTEX)
Cu	Cobre
V	Vanadio
Ni	Niquel
Cd	Cadmio
TEL	Threshold Effect levels
SQRT	Screening Quick Reference Tables
PEL	Probable Effect Levels
CSQGPAL	Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life de la CCME
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
Hg	Mercurio
Pb	Plomo
Ba	Bario
Mg	Miligramos
Kg.	Kilogramos
Li	Litio
Mo	Molibdeno



Ag	Plata
Cr ^{VI}	Cromo hexavalente
Sn	Estaño
M.O.	Materia Orgánica
mV	Milivoltios
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NOM	Norma Oficial Mexicana
(Pr)	Estatus de protegido dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010.
RMP	Región Marina Prioritaria
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
ANP	Área Natural Protegida
INAH	Instituto Nacional de Antropología e Historia
ITS	Intertek Testing Services S. A. de C. V.
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
ICMyL	Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UTM	Universal Transversa de Mercator
X	Eje del Plano Cartesiano
Y	Eje del Plano Cartesiano
MSc	Maestro en Ciencias
Ton	Toneladas
SEMAR	Secretaría de Marina-Armada de México
CICIMAR	Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
SENER	Secretaría de Energía
JNCC	Joint Nature Conservation Committee (Comité Conjunto para la Conservación de la Naturaleza)
EPA	Agencia de Protección Ambiental
WGS	World Geodesic System (sistema geodésico mundial)
CNP	Carta Nacional Pesquera
HYCOM	HYbrid Coordinate Ocean Model
GODAE	US Global Data Assimilation Experiment
US	United States (Estados Unidos)
US NRL	Laboratorio de Investigación Naval de los Estados Unidos)
EMA	Entidad Mexicana de Acreditación



CTD	Sonda para la medición de la Conductividad Temperatura y profundidad
FL	Fraccion Ligera
FM	Fracción Media
NMX	Norma Mexicana
HNO ₃	Ácido Nítrico
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
CEQG	Guía Canadiense de Calidad Ambiental
SQuiRTs	Tablas de Referencia Rapida publicadas por la NOAA
ABC	ABC Química Investigación y Análisis, S.A. de C.V.
ISO 9001	Organización Internacional de estandarización
ISQG	Guía Interina de Calidad de Sedimento Marino
COI	Comisión Oceanográfica Internacional de la UNESCO
µM	Micrometros
n° células /l	Número de células por litro
m ³	Metros cúbicos
Box Corer	Draga
	H' = índice de diversidad de Shannon-Wiener
	- Σ = sumatoria
H' = - Σ pi Log pi	Pi = pi es la proporción de individuos hallados de la i-ésima especie y que es estimada mediante ni/N (el máximo estimador probable, Pielou 1969),
	Log = bits/individuo
	Índice de Equidad
E = $\frac{H'}{1.45}$	S = número de especies encontradas en la muestra.
	N = abundancia total.
	Indice de Jaccardi
$C_j = \frac{a}{(a+b+c)}$	a = Número de especies en la muestra A y en la muestra B.
	b = Número de especies en la muestra B pero no en la muestra A.
	c = Número de especies en la muestra A pero no en la muestra B.
CMH = $2 \Sigma (a_i b_j) / (d_a + d_b) aN$	Indice Morisita-Horn
bN	CMH = Índice cuantitativo de similitud de Morisita-Horn.



aN = Número total de individuos en el transecto A.

ani = Número de individuos en la i-ésima especie en A.

IUCN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
CITES	Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre
CMS	Convención Sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres
UBM	Unidad Base muestral
GPS	Geoposicionador geográfico
TSO	Temperatura superficial del Océano
SMN	Servicio Nacional Meteorológico
hPa	Pascal Unidad de Presión
H	H Huracán;
TT	TT Tormenta Tropical;
DT	DT Depresión Tropical H1, 119-153 (km/h); H2, 154-177 (km/h); H3, 178-209 (km/h); H4, 210-250 (km/h) y H5, mayor de 250 (km/h).
Escala Saffir-Simpson	
UPS	Unidades Prácticas de Salinidad
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del agua
CICESE	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
GEBCO	General Bathymetric Chart of the Oceans
MOS	Material Orgánico Suspendido
MST	Materia Suspendida Total
PMVA	Programa de Monitoreo y Vigilancia Ambiental
B2-Lsed	Muestra de sedimento para el punto B2-L
B2-Dsed	Muestra de sedimento para el punto B2-D
cel/L	Celulas por litro
COFEPRIS	Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios.
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
CPUE	Captura por unidad de esfuerzo
(Pr)	Protección Especial
(A)	Amenazadas
(R)	Raras



AICAS	Área de importancia para la Conservación de las Aves
CONANP	Comisión Nacional De Áreas Naturales Protegidas
SQG	Guía de Calidad de Sedimentos
ERL	Efecto de Rango Bajo
ERM	Efecto de Rango Medio
SAV	Sistema Arrecifal Veracruzano
INAPESCA	Instituto Nacional de Pesca
CONAPESCA	Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca
SC	Sociedades Cooperativas
OFOS	Otras Formas de Organización Social
UP	Union de Pescadores
UPP	Unidades o Uniones de producción
GS	Grupos Solidarios
SE	Sección especializada
SSS	Sociedades de Seguridad Social
SP	Sociedad Pesquera
SAGARPA	Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación
FAC	Fuera de la zona del Área Contractual
DAC	Dentro del Área Contractual
PIB	Producto Interno Bruto
SAS	Subdirección de Arqueología Subacuática
ACD	Disminución en la calidad del agua como consecuencia de la descarga de aguas continentales.
PEMEX	Petróleos Mexicanos



Resumen Ejecutivo

Fieldwood Energy E&P México, S. de R.L. de C.V., en asociación con Petrobal Upstream Delta 1, S.A. de C.V., obtuvo la adjudicación del Área Contractual 4 de la Ronda 1 - Aguas Someras licitado por la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) mediante contrato CNH-R01-L02-A4/2015, firmado el 7 de enero de 2016.

Como se indica en las cláusulas 3.4 y 13.4 del contrato mencionado arriba y en relación a la Etapa de Transición de Arranque, el Consorcio inició los estudios dirigidos a la identificación, caracterización y registro de los pasivos ambientales mediante la contratación de un tercero acreditado por la CNH: ERM México S.A. de C.V.

Con base en la *Guía para Definir la Línea Base Ambiental Previo al Inicio de las Actividades Petroleras* elaborada por la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA), órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el Consorcio solicitó aprobación de la metodología para la Elaboración de Línea Base Ambiental y Registro de Daños Ambientales y Daños Preexistentes en el Área Contractual 4, Golfo de México, obteniendo dicha autorización mediante el oficio No. ASEA/UGI/DGGEERC/0256/2016.

Para la obtención de información primaria de Línea Base Ambiental se definió como área de estudio los campos Ichalkil y Pokoch del Área Contractual 4, estableciéndose 16 estaciones de muestreo para la caracterización de componentes de los medios abiótico y biótico indicados en los lineamientos de la Guía de ASEA.

En este marco, se organizó un crucero bio-oceanográfico para caracterizar la columna de agua y el fondo marino mediante la colecta de muestras de agua, sedimento, plancton y macrobentos. Adicionalmente, se realizaron avistamientos de aves, mamíferos y tortugas marinas; y, en paralelo, se implementó una evaluación de pesca artesanal exploratoria para la captura de fauna íctica.

En base a la evaluación integral de la información generada se estableció un diagnóstico ambiental dirigido a la identificación y registro de daños ambientales, así como también de daños preexistentes o pasivos ambientales.



En lo que concierne a calidad de agua de mar, los principales hallazgos se resumen a continuación:

- *Los valores de temperatura, salinidad y pH se caracterizaron por su estabilidad espacial, no registrándose mayor variación a nivel de la columna de agua. Las concentraciones de oxígeno disuelto se encontraron entre 3.88 y 5.63 mL/L, el cual es un rango considerado normal en el Golfo de México (de la Lanza, 2001); la turbidez se encontró entre 0.20 y 1.01 UNT, lo cual se encuentra por debajo del nivel de referencia establecido por la Canada British Columbia (8.00 UNT /24 hr); Sólidos Suspendedos Totales, los cuales determinan el grado de turbidez, se encontró entre 118 y 304 mg/L.*
- *Los niveles de concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP), Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) e Hidrocarburos Monoaromáticos (BTEX) estuvieron por debajo de los límites de cuantificación de los métodos analíticos de laboratorio. Únicamente en las muestras colectadas en las locaciones P1-F y P2-S del campo Pokoch se registraron niveles de concentración de HTP - Fracción Pesada de 0.81 y 17.60 mg/L respectivamente, los cuales superaron el valor límite de referencia establecido por la UNESCO (1976) (0.01 mg/L).*
- *Entre los nutrientes, la concentración de Amonio se mantuvo por debajo del límite de cuantificación del método analítico, mientras que la de Nitritos y Nitratos varió entre 0.05 y 0.143 mg/L, concnentraciones que se encuentran por debajo del nivel de referencia establecido por el Canadian Council of Ministers of the Environment (CMME) para nitratos (200.00 mg/L)*
- *Los niveles de concentración de Silicatos-Silíce variaron entre 0.44 y 5.76 mg/L, y la de Silicatos-Silicio entre 0.20 mg/L y 0.69 mg/L, los cuales están, en general, por debajo de la concentración promedio reportada para ambientes marinos de 5 mg/L, en tanto que los niveles de Fosfatos oscilaron entre 0.054 y 0.209 mg/L, que se encuentra por debajo de las concentraciones reportadas para ambientes marinos (0.088 mg/L). No se evidenciaron condiciones de eutrofización en la columna de agua.*
- *Las concentraciones detectables de "hierro" (Fe) variaron entre 0.0124 y 0.0630 mg/L, registrándose un único valor en la locación P1-F del campo Pokoch que superó el nivel de referencia establecido por la NOAA (0.0500 mg/L).*
- *Las concentraciones detectables de "zinc" (Zn) fluctuaron entre 0.0011 y 0.0050 mg/L, no excediendo el nivel de referencia establecido por la NOAA (0.081 mg/L).*
- *Las concentraciones detectables de "bario" (Ba) oscilaron entre 0.0011 y 0.0023 mg/L, no excediendo el nivel de referencia establecido por la NOAA (0.02 mg/L).*



- Las concentraciones detectables de “vanadio” (V) variaron entre 0.0011 y 0.0017 mg/L, no excediendo el nivel de referencia establecido por la NOAA (0.05 mg/L).
- Se registraron niveles detectables de “cromo” (Cr), entre 0.0014 y 0.0061 mg/L, en todas las estaciones de muestreo, y un único valor de concentración de “cobre” (Cu) del orden de 0.00551 mg/L.
- Los niveles de concentración de los metales “cadmio” (Cd), “cobalto” (Co), “estaño” (Sn), “mercurio” (Hg), “níquel” (Ni) y “plomo” (Pb), estuvieron por debajo de los límites de cuantificación de los métodos analíticos.

Y para calidad de sedimento marino se obtuvo lo siguiente:

- Al igual que en el agua de mar, se detectó una concentración de HTP – Fracción Pesada de 833.33 mg/kg en la estación IC2 del campo Ichalkil, valor que excedió el nivel de referencia TEL (Threshold Effect Levels) del SQRT (Screening Quick Reference Tables) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) o valor de concentración por debajo del cual los efectos adversos esperados son raramente observados (10%) (TEL=70 mg/kg).
- No se reportaron valores detectables de HAP en las muestras de sedimento marino.
- Los valores de concentración de “cobre” (Cu), “mercurio” (Hg), “plomo” (Pb) y “zinc” (Zn) estuvieron por debajo de los niveles de referencia del TEL del SQRT de la NOAA.
- Todas las muestras de sedimento presentaron concentraciones de “cadmio” (Cd) que superaron el nivel de referencia del TEL pero no excedieron el PEL (Probable Effect Level) o nivel de concentración por encima del cual los efectos adversos son frecuentemente observados (50%).
- Todas las muestras de sedimento presentaron concentraciones de “níquel” (Ni) que superaron el nivel de referencia del PEL.
- Se registraron concentraciones de “bario” (Ba) por encima del TEL en cinco estaciones de muestreo.
- Las concentraciones de “cromo hexavalente” (CrVI), “estaño” (Sn), “molibdeno” (Mo), “plata” (Ag) y “selenio” (Se), estuvieron por debajo de los límites de cuantificación de los métodos analíticos.
- Se registraron niveles detectables de “hierro” (Fe), “litio” (Li), “manganeso” (Mn), “molibdeno” (Mo) y “vanadio” (V) en la mayoría de estaciones de muestreo. No existen criterios de comparación en la normativa internacional para las concentraciones de los referidos metales.



- La granulometría se caracterizó por la mayor presencia de la fracción “limo” respecto a la “arena” y “arcilla”, determinándose una marcada dominancia de la textura franco-limosa, con un contenido de materia orgánica entre 2.52 y 4.35% y de carbono orgánico total entre 1.29 y 1.94%.
- Los valores de potencial redox variaron entre 121 y 190.3 mV, evidenciando en el medio marino condiciones favorables para las reacciones de oxidación.

En lo que concierne a biota acuática, durante las colectas de muestras de plancton y macrobentos realizadas a nivel de columna de agua y fondo respectivamente, no se observaron sectores marinos con eutrofización o proliferación excesiva de microalgas. Asimismo, la comunidad macrobéntica se caracterizó por la ausencia de macroalgas y pastos marinos.

Se determinaron 273 taxa de microalgas o productores primarios: 139 dinoflagelados, 128 diatomeas, 3 silicoflagelados, 2 cianofíceas y 1 criptófita. La composición del fitoplancton se caracterizó por la dominancia de las diatomeas *Cylindrotheca closterium*, *Diploneis* cf. *bombus*, *Diploneis* cf. *incurvata*, *Navicula* cf. *platyventris*, *Navicula* cf. *pelliculosa*, *Psammodictyon* cf. *panduriforme*, *Pseudo-nitzschia* aff. *delicatissima*, *Pseudo-nitzschia* aff. *pseudodelicatissima*, *Pseudo-nitzschia* aff. *pungens*; los dinoflagelados *Gonyaulax digitale*, *Gymnodinium* cf. *simplex*, *Gymnodinium* spp., *Heterocapsa* aff. *horiguchi*; la cianofícea *Nodularia harveyana*; y la criptófita *Teleaulax* sp.

Asimismo, entre los productores secundarios se registraron 33 taxa de organismos del zooplancton, siendo los grupos Cladocera y Copepoda los de mayor abundancia. En cuanto al ictioplancton, se determinaron 50 taxa de larvas de peces, identificándose a los géneros taxonómicos *Anchoa*, *Leiostomus* y, en menor grado, *Chloroscombrus*, *Gobiosoma* y *Syacium* como los más representativos.

A nivel de fondo marino, se reportó la presencia de 16 taxa de organismos macrobénticos pertenecientes a los phyla Annelida, Arthropoda, Echinodermata y Nemertea; evidenciándose la dominancia en la composición específica de los poliquetos *Aricidea gracilis*, *Nephtys incisa*, *Notomastus hemipodus* y *Ninoe leptognatha*, así como también del ofiuroido *Amphioplus sepultus* y de un nemertino no determinado taxonómicamente.

De la evaluación de pesca embarcada exploratoria en dos locaciones situadas en los campos Ichalkil y Pokoch, se registraron 11 especies de peces: “pargo huachinango” (*Lutjanus campechanus*), “pega pega” (*Remora remora*), “morena de margen negro” (*Gymnothorax nigromarginatus*), “anguila” (*Ophichthus gomesi*), “conejo” (*Lagocephalus laevigatus*), “raya diablito” (*Raja texana*), “cojinuda” (*Caranx crysos*), “bandera” (*Bagre marinus*), “bota” (*Balistes caprisicus*), “bacalao” (*Rachycentron canadum*) y “barracuda” (*Sphyraena barracuda*).



Ninguna de ellas se encuentra incluida en alguna categoría de protección ambiental establecida por la Legislación mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010).

Por otra parte, durante la evaluación de fauna marina (aves, mamíferos y tortugas) a lo largo de un recorrido de 35 millas náuticas se registraron 5 especies de aves pertenecientes a 3 órdenes y 5 familias taxonómicas: “fragata tijereta” (*Fregata magnificens*), “piquero marrón” (*Sula leucogaster*), “salteador robusto” (*Stercorarius pomarinus*), “playero” (*Calidris* sp.) y un Paseridae no determinado. Ninguna de ellas se encuentra incluida en alguna categoría de protección ambiental.

Entre los mamíferos marinos, solo se reportó la presencia del “delfín moteado pantropical” (*Stenella attenuata*), especie incluida en la categoría *Sujetas a Protección (Pr)*. Del mismo modo, se avistaron 2 ejemplares de “tortuga laúd” o “tortuga dorso de cuero” (*Dermochelys coriacea*), especie categorizada como *En Peligro de Extinción (P)* por la Legislación mexicana.

En lo que concierne a Áreas Sensibles, el Área Contractual 4 se encuentra dentro de la Región Marina Prioritaria (RMP) N° 53 “Pantanos de Centla - Laguna de Términos” establecida por la Comisión Nacional para la Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Cabe señalar que no existen sistemas de arrecifes coralinos en el Área Contractual 4 ni Áreas Naturales Protegidas (ANP) en sus inmediaciones. Las ANP más cercanas serían la “Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla” y el “Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos”, ubicadas en la zona costera de Campeche, a 45 km al sur del campo Ichalkil.

La pesca artesanal constituye la principal actividad económica que se lleva a cabo en las inmediaciones del Área Contractual 4. De acuerdo a lo reportado durante la campaña de campo, los pescadores que realizan faenas en el área de estudio pueden ser libres, trabajar para permisionarios o pertenecer a una sociedad cooperativa.

Por otra parte, y de acuerdo a la Subdirección de Arqueología Subacuática (SAS) del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), no existen sitios arqueológicos e históricos sumergidos, incluyendo naufragios, en el área de estudio.

Sobre los efectos biológicos, el contenido de contaminantes en el sedimento marino evidencia la presencia de metales pesados con potencial toxicogénico cuyos niveles de concentración superan el TEL, y en el caso del níquel inclusive el umbral del PEL, lo cual podría significar un potencial riesgo a la biota béntica, especialmente aquella asociada con hábitats intersticiales y de relativamente baja movilidad, como serían las especies de las clases taxonómicas Polychaeta, Ophiuroidea y Nemertea.



De acuerdo a la valoración realizada para la identificación y registro de daños ambientales, se determinó que la actividad de la industria petrolera en el Golfo de México causa en su mayoría daños moderadamente relevantes sobre los componentes “columna de agua” y “calidad de sedimento”, los cuales deben ser tomados en cuenta para efectos de formulación de medidas de mitigación.

Entre la infraestructura petrolera existente en el Área Contractual 4, y sus inmediaciones, se tienen tres pozos en abandono (Ichalkil-1, Ichalkil-1DL y Pokoch-1) dentro de los campos Ichalkil y Pokoch, y cuatro pozos de explotación cercanos (Uech TB, Jaatsul-1, Pich y ChucA) cuya operación se encuentra a cargo de PEMEX y sus productos son transportados a la zona costera a través de un sistema de oleoductos y oleogasoductos.

A fin de determinar la presencia de daños preexistentes en los campos del Área Contractual 4 se realizó una inspección visual detallada de la integridad de los pozos Ichalkil-1, Ichalkil-1DL y Pokoch-1, específicamente de sus sistemas de suspensión mud line, detectándose emanaciones de burbujas de gas en los cabezales de Ichalkil-1 y Pokoch-1, así como también la descolocación del capuchón y de los tornillos de opresión en Pokoch-1.

La ASEA establece que “Daño Ambiental significa, la pérdida, cambio, deterioro, menoscabo, afectación o modificación adversa y mensurable de los ecosistemas y de los elementos y recursos naturales que los comprenden, incluyendo de manera enunciativa más no limitativa sus hábitats, el agua, el suelo, el subsuelo, la flora y la fauna, así como de las condiciones químicas, físicas o biológicas de dichos ecosistemas, elementos y recursos naturales, de las relaciones de interacción que se dan entre estos, así como de los servicios ambientales que proporcionan, derivada de hechos de la naturaleza o actividades humanas”. Además, indica que “Pasivo Ambiental, significa, sin importar su causa u origen, aquellos sitios contaminados por la liberación de materiales o residuos peligrosos, que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de contaminantes, y cualesquier otros Daños Ambientales, presentes en el Área Contractual antes del inicio de la Fecha Efectiva”.

De acuerdo con la información bibliográfica, el Área Contractual 4 se ha visto afectada en mayor o menor grado por actividades antropogénicas como la extracción de hidrocarburos, pesca, tráfico marino, diversas industrias y desechos urbanos, entre las principales, que se han llevado a cabo históricamente en la zona costera y marina, impactando por tanto los ecosistemas acuáticos desde tiempos previos a la instalación de los pozos Ichalkil-1, Ichalkil-1DL y Pokoch-1.

Del mismo modo, los niveles de concentración en el sedimento de HTP-Fracción Pesada y de ciertos metales como cadmio, níquel y bario, obedecerían a los procesos geoquímicos propios del Golfo, incluyendo la existencia de emanaciones naturales



de hidrocarburos (o chapopoterías) cercanas al Área Contractual 4; y también tendrían relación con los aportes de origen antrópico a través del aforo de los ríos o de las actividades propias de la industria del petróleo, en especial la probable descarga incidental de cortes y lodos de perforación. Las concentraciones detectadas durante la presente evaluación, superan los valores guía de referencia y podrían representar un riesgo para el ecosistema en cuanto a sus efectos biológicos. A esta condición actual se le considera un daño ambiental.

A fin de determinar la presencia de daños preexistentes en los campos del Área Contractual 4 se realizó una inspección visual detallada de la integridad de los pozos Ichalkil-1, Ichalkil-1DL y Pokoch-1, específicamente de sus sistemas de suspensión mud line, detectándose emanaciones de burbujas de gas en los cabezales de Ichalkil-1 y Pokoch-1, así como también la descolocación del capuchón y de los tornillos de opresión en Pokoch-1.

Por lo tanto, con base en a los resultados obtenidos y cuyos resultados hacen referencia a un único momento temporal, se concluye que existen evidencias de daño ambiental en el ecosistema marino así como de pasivos ambientales en el Área Contractual 4, los cuales constituyen daños preexistentes conforme se estipula en las cláusulas 1.1 y 13.4 del Contrato Para la Extracción de Hidrocarburos Bajo la Modalidad de Producción Compartida. En particular, se hace notar, independientemente de su causa u origen, la existencia de emanaciones de burbujas de gas detectadas en los cabezales de los pozos Ichalkil-1 y Pokoch-1, así como la remoción del capuchón y de los tornillos de presión reportada

Finalmente, y en el marco de los hallazgos obtenidos, cabe recalcar que no se descarta la existencia de daños ambientales o daños preexistentes en aquellas cinco locaciones donde no pudieron colectarse muestras de sedimento por disposición de Control Marino de PEMEX.



1. Introducción

Fieldwood Energy E&P México, S. de R.L. de C.V. (en adelante “Fieldwood”), en asociación con Petrobal Upstream Delta 1, S.A. de C.V., obtuvo la adjudicación del Área Contractual 4 mediante el contrato CNH-R01-L02-A4/2015 firmado el 7 de enero de 2016. Tal como se indica en los incisos 3.4 y 13.4 en relación a la Etapa de Transición de Arranque, Fieldwood inició los estudios ambientales que permitieron la identificación, caracterización y predicción de los pasivos ambientales mediante la contratación de un tercero acreditado.

Para tal efecto, de acuerdo con el oficio ASEA/UGI/DGGEERC/129/2016 emitido por la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) se resolvió autorizar la contratación de ERM México, S.A. de C.V. (en adelante “ERM”), como dicho tercero acreditado para la realización de los mencionados estudios, en conjunto con los laboratorios acreditados por la Entidad Mexicana de Acreditación señalados en el referido oficio. Asimismo, la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA) se manifestó en el sentido de no tener inconveniente para que ERM realizará dichos estudios.

Finalmente, con base en la Guía para Definir la Línea Base Ambiental Previo al Inicio de las Actividades Petroleras (Guía) facilitada por la ASEA, órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), solicitó aprobación de la metodología para la Elaboración de Líneas Base Ambiental y Registro de Daños Ambientales y Daños Preexistentes en el Área Contractual 4, Golfo de México, obteniendo dicha autorización el día 22 de marzo de 2016 mediante el oficio ASEA/UGI/DGGEERC/0256/2016 (el “Oficio de Aceptación de la Propuesta de Línea Base Ambiental”).

Una vez obtenida dicha autorización se iniciaron las actividades de preparación de la campaña de campo dirigida a la colecta de muestras para la caracterización biótica y abiótica de la zona de interés, la cual se realizó entre los días 10 al 15 de abril de 2016.

El presente informe contiene la descripción de la metodología específica empleada, los resultados de las investigaciones bibliográficas y del trabajo de campo, así como los resultados analíticos de laboratorio disponibles a la fecha de entrega del mismo. El documento sigue la estructura establecida en el Anexo 1 de la Guía y contiene las conclusiones respecto a los daños ambientales y a los daños preexistentes (según se definieron dichos conceptos en la propuesta de metodología aprobada por ASEA mediante el Oficio de Aprobación de la Metodología) de los que se tiene conocimiento mediante la información proporcionada por CNH a Fieldwood y de la propia investigación realizada por ERM.



Para efectos del presente informe se emplearán los siguientes conceptos teniendo estas definiciones:

- ***Daño Ambiental:***

Significa la pérdida, cambio, deterioro, menoscabo, afectación o modificación adversa y mensurable de los ecosistemas y de los elementos y recursos naturales que los comprenden, incluyendo de manera enunciativa más no limitativa sus hábitats, el agua, el suelo, el subsuelo, la flora y la fauna, así como de las condiciones químicas, físicas o biológicas de dichos ecosistemas, elementos y recursos naturales, de las relaciones de interacción que se dan entre estos, así como de los servicios ambientales que proporcionan, derivada de hechos de la naturaleza o actividades humanas. No se considera Daño Ambiental a aquellas pérdidas, cambios, deterioros, menoscabos, afectaciones o modificaciones, aún y cuando sean adversas y mensurables, cuando no se rebasen los límites máximos permisibles establecidos en la Normatividad Aplicable.

- ***Daño Preexistente:***

Los Pasivos Ambientales presentes en el Área Contractual, identificados en la Línea Base Ambiental de conformidad con lo establecido en las Cláusulas 3.4 y 13.4.

- ***Pasivo Ambiental:***

Significa, sin importar su causa u origen, aquellos sitios contaminados por la liberación de materiales o residuos peligrosos, que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de contaminantes, y cualesquier otros Daños Ambientales, presentes en el Área Contractual antes del inicio de la Fecha Efectiva. En esta definición se incluye la contaminación generada por una emergencia ambiental que tenga efectos a largo plazo sobre el medio ambiente.



2. Alcance

El presente documento contiene la aproximación metodológica y resultados de los estudios ambientales realizados en el Área Contractual 4 para determinar la línea base ambiental biótica y abiótica previa al inicio de las actividades petroleras, el registro de los daños ambientales y daños preexistentes en dicha área.

Como se establece en el contrato CNH-R01-L02-A4/2015 el Área Contractual 4 se encuentra comprendida dentro de los polígonos formados por los vértices que se indican en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 *Ubicación geográfica del Área Contractual 4*

Polígono	Vértice	Ubicación Geográfica (Coordenadas UTM 15 Sur)	
		X	Y
Campo Ichalkil	1	92° 30' 00"	19° 04' 30"
	2	92° 30' 00"	19° 04' 00"
	3	92° 29' 30"	19° 04' 00"
	4	92° 29' 30"	19° 03' 30"
	5	92° 29' 00"	19° 03' 30"
	6	92° 29' 00"	19° 03' 00"
	7	92° 28' 00"	19° 03' 00"
	8	92° 28' 00"	19° 03' 30"
	9	92° 26' 30"	19° 03' 30"
	10	92° 26' 30"	19° 03' 00"
	11	92° 25' 30"	19° 03' 00"
	12	92° 25' 30"	19° 01' 30"
	13	92° 26' 00"	19° 01' 30"
	14	92° 26' 00"	19° 01' 00"
	15	92° 28' 00"	19° 01' 00"
	16	92° 28' 00"	19° 01' 30"
	17	92° 29' 00"	19° 01' 30"
	18	92° 29' 00"	19° 01' 00"
	19	92° 31' 00"	19° 01' 00"
	20	92° 31' 00"	19° 02' 00"
	21	92° 31' 30"	19° 02' 00"
	22	92° 31' 30"	19° 03' 30"
	23	92° 31' 00"	19° 03' 30"
	24	92° 31' 00"	19° 04' 30"
Campo Pokoch	1	92° 25' 30"	19° 11' 00"
	2	92° 25' 30"	19° 10' 30"
	3	92° 24' 30"	19° 10' 30"
	4	92° 24' 30"	19° 09' 00"
	5	92° 25' 00"	19° 09' 00"
	6	92° 25' 00"	19° 09' 30"
	7	92° 27' 30"	19° 09' 30"
	8	92° 27' 30"	19° 10' 30"



Polígono	Vértice	Ubicación Geográfica (Coordenadas UTM 15 Sur)	
		X	Y
		9	92° 27' 00"
10	92° 27' 00"	19° 11' 00"	

Fuente: ERM, 2016

La línea base presentada en este informe cuenta con dos fuentes principales de información: la información primaria recabada en campo y la secundaria obtenida a través de la revisión de fuentes bibliográficas disponibles públicamente. La información secundaria se empleó con la finalidad de contextualizar las condiciones en las que se encuentra el Área Contractual con respecto a su ubicación en el Golfo de México. Asimismo, tiene la finalidad de complementar y servir de base para la comparación y análisis de la información primaria recabada en campo.

La campaña oceanográfica en el Área Contractual 4 se realizó durante cinco días, recabándose datos primarios en 16 puntos de muestreo (ver Tabla 2.2), efectuándose además un recorrido de 35 millas náuticas en transectos para la observación de fauna marina (aves, tortugas y mamíferos) y faenas de pesca exploratoria en cada uno de los dos polígonos.

Tabla 2.2 *Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo definidas en el Área Contractual 4*

Sector	Estación de Muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 (Zona 15Q)		Coordenadas Geográficas	
		Este	Norte	Longitud (W)	Latitud (N)
Campo Pokoch	PC1	558943.51	2119776.70	92°26'21.8"	19°10'13.4"
	P1	559401.28	2121283.10	92°26'6"	19°11'2.4"
	P2	561810.91	2117584.10	92°24'43.9"	19°09'1.8"
	P3	557454.62	2118433.10	92°27'13"	19°09'29.9"
Campo Ichalkil	IC1	557960.20	2104791.00	92°26'57.1"	19°02'6"
	IC2	553161.60	2104788.00	92°26'41.3"	19°02'6.4"
	I1	560354.91	2106204.00	92°25'35"	19°02'51.7"
	I2	560365.49	2102961.80	92°25'35"	19°01'6.2"
	I3	550672.72	2102932.80	92°31'6.6"	19°01'6.2"
	I4	550656.45	2108863.70	92°31'6.6"	19°04'19.2"
	I5	555318.47	2104926.80	92°28'27.5"	19°02'10.7"
Externo (Ductos)	D1	563301.98	2115193.90	92°23'53.2"	19°07'43.9"
	D2	558033.89	2112498.20	92°26'53.8"	19°06'16.7"
	D3	552111.05	2099658.30	92°30'17.7"	18°59'19.6"
	D4	544199.50	2091245.35	92°34'49"	18°54'46.5"
	D5	539925.55	2086700.55	92°37'15.4"	18°52'19"

Fuente: ERM, 2016



En las estaciones de muestreo se evaluaron parámetros fisicoquímicos y biológicos en tres niveles diferentes de profundidad de la columna de agua, y en el sedimento marino. Las muestras colectadas fueron analizadas en los laboratorios Intertek Testing Services S.A. de C.V. (ITS) acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) y aprobado por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), así como también en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional.

Es importante señalar que, con el objetivo de delimitar una zona que será el objeto del estudio, es necesario definir un sistema espacial arbitrario dentro del cual se puedan evaluar los factores ambientales y las interacciones del proyecto con dichos factores. Tomando en cuenta que Fieldwood desarrollará sus actividades únicamente dentro del Área Contractual 4 y que debido a que el medio ambiente marino es una zona uniforme en cuanto a batimetría y sedimentología, se definió como área de estudio la misma que comprende el Área Contractual 4, tal y como se describe en la sección correspondiente de este documento.



3. Objetivos

Los objetivos generales del estudio y del presente informe se listan a continuación:

- Caracterizar y evaluar los elementos del medio ambiente biótico y abiótico presente en el Área Contractual 4 y su área de influencia,
- Determinar el grado de alteración que presentan los elementos del medio ambiente en el área de estudio ya sea por actividades naturales, humanas o por las propias del sector petrolero, previas en el área de interés, y
- Registrar, cuantificar y declarar los daños preexistentes identificados en el Área Contractual 4.

Derivado de los objetivos generales se desprenden lo siguiente objetivos particulares:

- Plantear la metodología y criterios empleados para caracterización del Área;
- Definir el área de estudio en cuanto a su contexto regional y local;
- Describir el contexto en el que se encuentra el Área, tomando en cuenta las interacciones naturales y humanas en la misma;
- Proporcionar información suficiente para definir el área de influencia;
- Especificar el esfuerzo de muestreo y las características del equipo empleado;
- Presentar los resultados obtenidos de los estudios en campo en el Área, tanto de los parámetros tomados al momento del muestreo como los resultados del procesamiento de las muestras tomadas;
- Realizar un análisis particular por cada parámetro y general a fin de determinar una línea base de la calidad ambiental del área;
- Generar un diagnóstico ambiental que exprese la influencia de las actividades antrópicas sobre el área;
- Determinar la presencia de algún indicio de contaminación y daños preexistentes en la zona de los polígonos Ichalkil y Pokoch;



-
- Definir la importancia de los daños o alteraciones que las actividades humanas hayan tenido previamente sobre el área de estudio;
 - Identificar, caracterizar y declarar aquellos daños preexistentes en el Área Contractual que hayan derivado de las actividades previas en la zona de la industria petrolera; y,
 - Presentar una conclusión global sobre las condiciones ambientales imperantes en el área.



4. Personal y embarcaciones

4.1. Personal

Para el planeamiento y ejecución de las actividades de línea base ambiental en el Área Contractual 4 se conformó un equipo multidisciplinario de profesionales y técnicos ambientales, los cuales se listan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 *Relación de profesionales y técnicos participantes*

Nombre	Cargo	Formación Académica	Experiencia (Años)
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+15
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+15
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+12
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+12
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+12
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+12
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+12
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+10
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+1
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+5
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+5
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+1
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+10
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+5
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+5
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	+3

Fuente: ERM, 2016

Eliminados datos personales. Fundamento en el art. 113 Fracción I de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.



Además del personal mencionado, para las labores de evaluación de ictiofauna se contó con la participación de pescadores artesanales locales, los cuales se desempeñaron como motoristas y auxiliares de pesca.

4.2. Embarcaciones

4.2.1 *Crucero Bio-Oceanográfico*

Para el levantamiento de información primaria mediante el trabajo de campo se contó con un crucero bio-oceanográfico a bordo del buque “Riviera Maya” (ver Figura 4.1), cuyas características técnicas se indican en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 *Características técnicas del buque “Riviera Maya”*

Tipo de embarcación	Carga general
Número de matrícula	2304064021
Servicio	Mixto carga y pasaje
Arqueo bruto (ton)	136.03
Arqueo neto (ton)	40.81
Eslora (m)	28.1
Manga (m)	6.72
Puntal (m)	3.07
Material del casco	Aluminio
Potencia de cada motor (Hp)	700

Fuente: ERM, 2016



Fuente: ERM, 2016

Figura 4.1 *Vista del buque “Riviera Maya”*



4.2.2

Pesca Embarcada Exploratoria

Para las actividades de pesca exploratoria se emplearon tres embarcaciones menores (pangas o lanchas) denominadas Ilse Dayan V, La Niña III y María Teresa I (ver Figura 4.2), cuyas características técnicas se detallan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 *Características técnicas de las embarcaciones menores empleadas para la evaluación de pesca exploratoria en el Área Contractual 4*

Nombre de embarcación	Ilse Dayan V	La Niña III	María Teresa I
Tipo de embarcación	Lancha	Lancha	Lancha
Servicio	Pesca	Pesca	Pesca
Arqueo bruto (ton)	1.20	1.20	1.20
Arqueo neto (ton)	0.84	0.84	0.84
Eslora (m)	7.00	7.62	7.00
Manga (m)	1.65	1.80	1.65
Puntal (m)	0.60	0.74	0.60
Material del casco	Fibra de vidrio/ policarbonato	Fibra de vidrio/ policarbonato	Fibra de vidrio/ policarbonato
Potencia del motor (HP)	Yamaha 75	Yamaha 60	Yamaha 85

Fuente: Certificado de Seguridad de las embarcaciones Ilse Dayan V, La Niña III y María Teresa I

Fotografías eliminadas por ser datos personales. Fundamento en el art. 113 Fracción I de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.



Fuente: ERM, 2016

Figura 4.2 *Vista de embarcación menor empleada en la evaluación de pesca exploratoria*



Es relevante indicar que, de acuerdo a los estándares internos de seguridad de ERM, todas las embarcaciones fueron inspeccionadas previamente para verificar el cumplimiento de los requerimientos de salud y seguridad expuestos en las herramientas internas de ERM conocidas como los Análisis de Riesgos Laborales (JHA) y en el Plan de Salud y Seguridad (HASP) del proyecto, considerando adicionalmente a esto, las directivas establecidas por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes en la NOM-034-SCT4-2009 (equipo mínimo de seguridad, comunicación y navegación para embarcaciones nacionales).



5. Metodología

5.1. Generalidades

La presente línea base se fundamenta en la caracterización del estado biótico y abiótico actual del área del proyecto, respecto a sus componentes físicos y biológicos. En tal sentido, el estudio de la línea base se ha enfocado en reunir, establecer y generar información sobre los componentes ambientales listados a continuación a partir de fuentes primarias y secundarias, con la finalidad se identificarán y evaluarán los probables impactos.

- Contexto regional
- Contexto local
- Clima y meteorología
- Hidrodinámica y batimetría
- Calidad de agua
- Calidad de sedimento
- Biota acuática
- Efectos biológicos
- Áreas sensibles
- Identificación de infraestructura existente
- Patrimonio arqueológico

Para dicho fin se llevó a cabo la implementación de cuatro fases con las cuales se obtuvo la información de los aspectos ambientales relevantes y la identificación de eventuales pasivos ambientales.

- Fase I: Revisión bibliográfica y evaluación rápida
- Fase II: Caracterización ambiental
- Fase III: Caracterización de los pasivos ambientales en el área contractual



- Fase IV: Elaboración de reportes de línea base ambiental, registro de daños ambientales y daños preexistentes

5.1.1 *Contexto regional*

El contexto regional se definió a partir de la información secundaria disponible en medios de consulta pública, tal como se menciona en la Fase I (Revisión bibliográfica y evaluación rápida). Dentro del contexto regional se presentan datos generales del Golfo de México.

Las principales fuentes consultadas en esta etapa fueron:

- NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos),
- SEMAR (Secretaría de Marina de México),
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad),
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México),
- CICIMAR (Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas),
- SENER (Secretaría de Energía),
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas)
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua)
- JNCC (Comité Conjunto para la Conservación de la Naturaleza),
- EPA (Agencia de Protección Ambiental),
- ICMYL (Instituto de Ciencias del Mar y Limnología), entre otros.

5.1.2 *Contexto local*

A partir de la información obtenida en el contexto regional se realizó una revisión bibliográfica a nivel local, como parte de la Fase I. Asimismo, en esta fase se implementó una evaluación rápida en campo (scoping), la cual permitió determinar el esfuerzo de muestreo y los parámetros a considerar en la línea base ambiental marina, la cual consistió en un recorrido terrestre (a lo largo del borde costero), efectuándose algunas entrevistas con pobladores de comunidades pesqueras. Las locaciones visitadas fueron Ciudad del Carmen y Atasta en el estado de Campeche, y Frontera en el estado de Tabasco.

El criterio de selección de las áreas con potencial de interés ambiental y su ubicación a lo largo de la costa, delimitada por la proyección ortogonal del Área Contractual 4, se basa en la importancia de los recursos ambientales presentes en esa región, de los servicios ambientales que brindan y del grado de sensibilidad que presentan frente a una potencial afectación por las actividades de un proyecto petrolero.

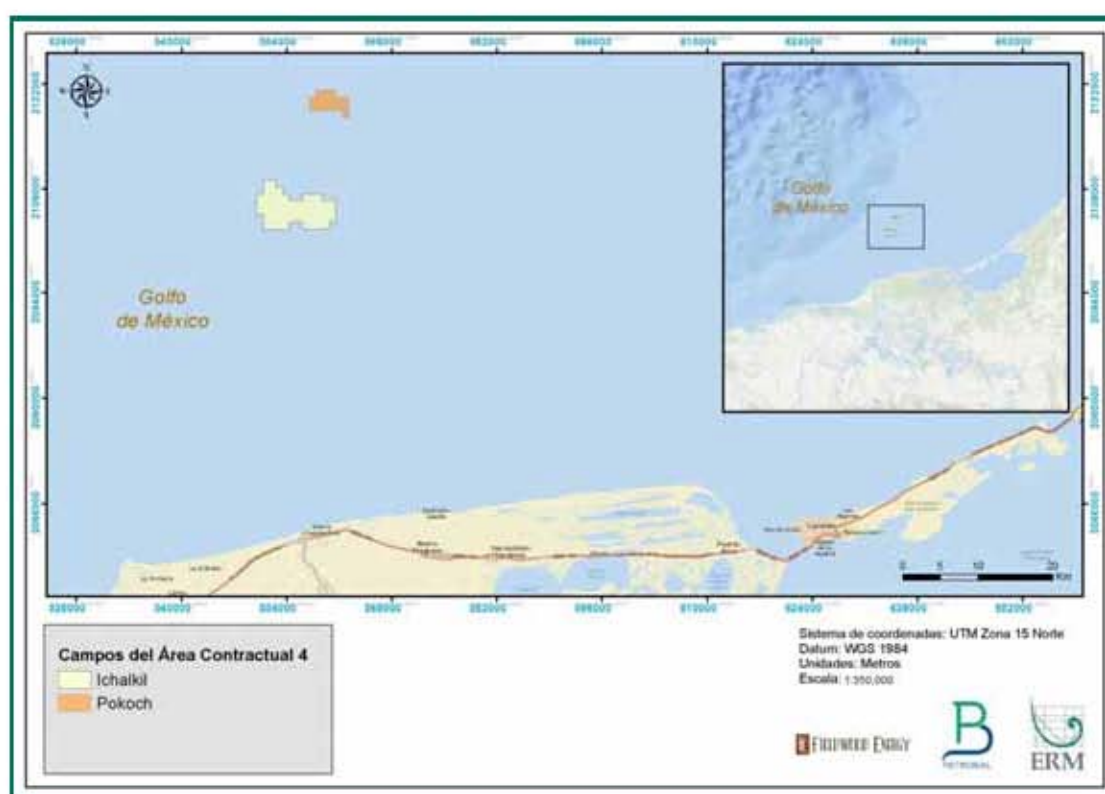


5.1.2.1

Delimitación del área de estudio

A partir de la información obtenida en la Fase I, correspondiente al contexto tanto regional como a la pre-evaluación ambiental local, se definió la caracterización ambiental del área de estudio (Fase II), la cual consistió en ubicar las estaciones de monitoreo para los distintos parámetros (bióticos y abióticos), como parte de la información necesaria para la elaboración de la línea base marina.

El área de estudio, la cual es conocida como el Área Contractual 4, fue previamente establecida por la Comisión Nacional de Hidrocarburos a través de la licitación CNH-R01-L02-A4/2015. Dicha área está definida por los polígonos Pokoch e Ichalkil, cuya ubicación geográfica se observa en la Figura 5.1.



Fuente: ERM, 2016

Figura 5.1

Ubicación geográfica del Área Contractual 4 en el Golfo de México

5.1.2.2

Ubicación de las estaciones de muestreo

Dentro del área de estudio se definieron tres sectores para efectos de evaluación, los polígonos Pokoch e Ichalkil y un área externa adyacente con presencia de ductos, y se localizaron un total de 16 estaciones de muestreo para caracterizar los componentes ambientales contemplados (ver Tabla 5.1). El criterio de selección de estas estaciones se fundamentó en la batimetría y la homogeneidad de los

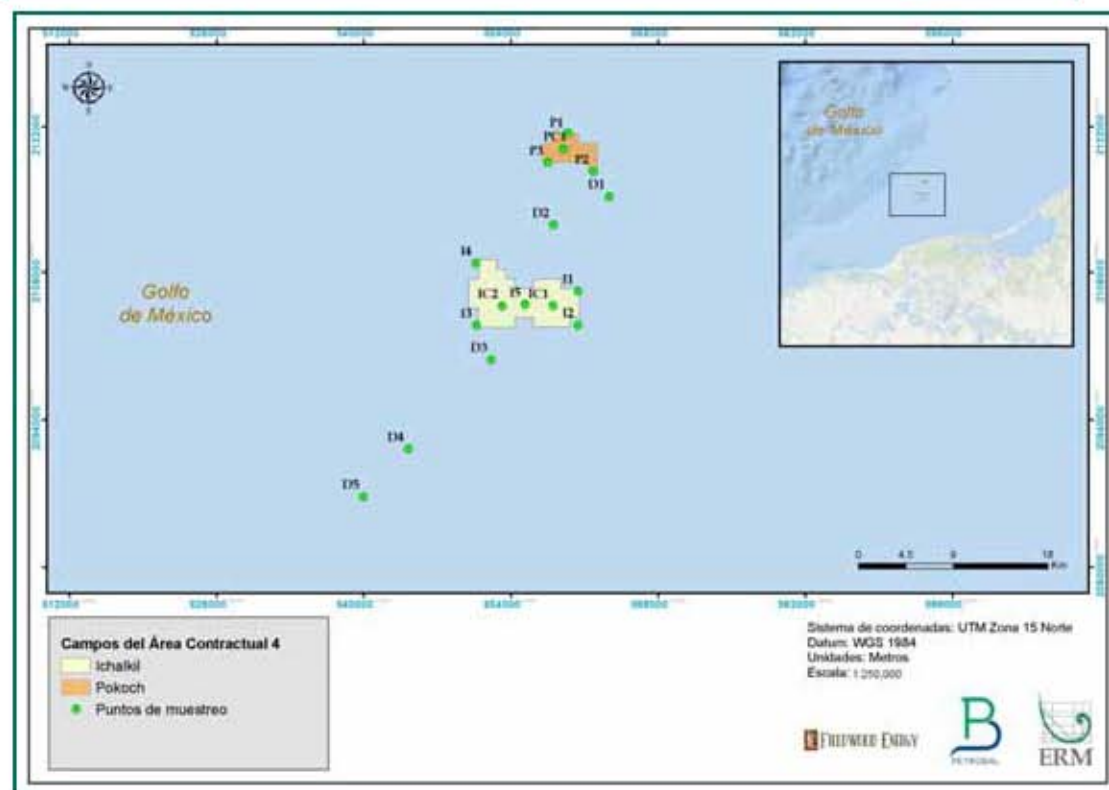


sedimentos dentro del Área Contractual 4. La disposición de los puntos de muestreo se observa en la Figura 5.2.

Tabla 5.1 *Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo definidas*

Sector	Estación de Muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 (Zona 15Q)		Profundidad (m)
		Este	Norte	
Campo Pokoch	PC1	558943.51	2119776.70	44
	P1	559401.28	2121283.10	50
	P2	561810.91	2117584.10	38
	P3	557454.62	2118433.10	45
Campo Ichalkil	IC1	557960.20	2104791.00	30
	IC2	553161.60	2104788.00	30
	I1	560354.91	2106204.00	29
	I2	560365.49	2102961.80	29
	I3	550672.72	2102932.80	33
	I4	550656.45	2108863.70	41
	I5	555318.47	2104926.80	31
Externo (Ductos)	D1	563301.98	2115193.90	35
	D2	558033.89	2112498.20	35
	D3	552111.05	2099658.30	29
	D4	544199.50	2091245.35	26
	D5	539925.55	2086700.55	25

Fuente: ERM, 2016



Fuente: ERM, 2016

Figura 5.2 *Ubicación de las estaciones de muestreo propuestas*

Por otro lado, y para efectos de la evaluación de pesca artesanal, se consideró la última Carta Nacional Pesquera (CNP) del 2012, la cual establece para cada zona de pesca del Golfo de México un número correlativo, de acuerdo al siguiente criterio de regionalización: Zona I - Tamaulipas y Veracruz; Zona II - Tabasco, Campeche y Yucatán; y Zona III - Quintana Roo. En consecuencia, las especies pesqueras reportadas para la presente evaluación se encontrarían dentro del alcance de la Zona II del Golfo de México (ver Figura 5.3). Cabe señalar que la CNP es el único documento oficial e instrumento regulatorio pesquero ambiental que indica el estado de los organismos marinos comerciales en México, además de plantear restricciones y límites para algunas pesquerías.



Fuente: *Biodiversidad*, 2015

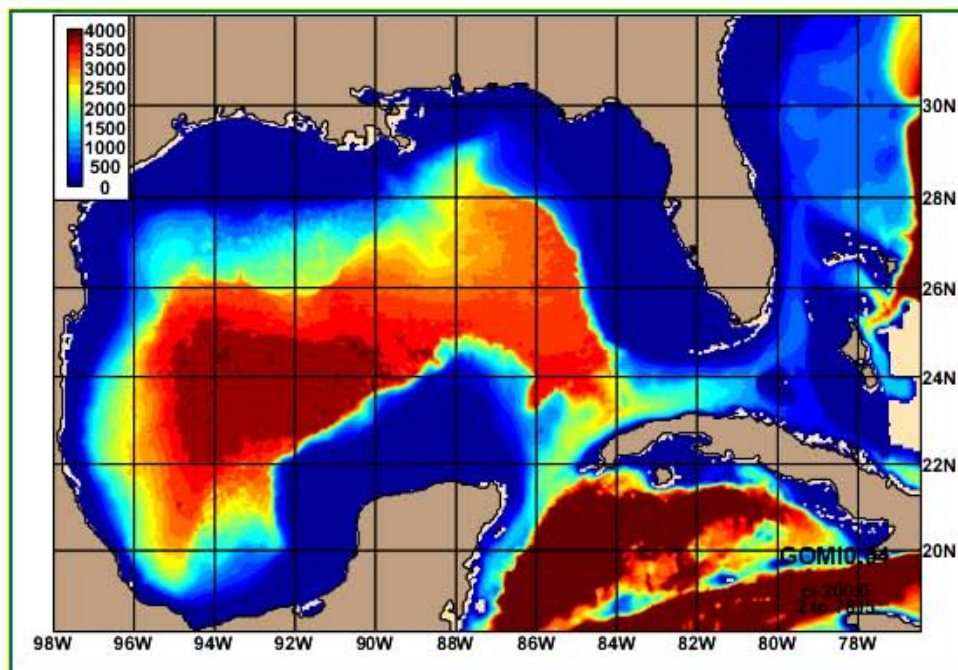
Figura 5.3 Distribución de Zonas Pesqueras en México

5.2. Medio abiótico

Para caracterizar las condiciones fisicoquímicas del medio marino en el área de estudio, se obtuvieron valores de corrientes, salinidad y temperatura del agua generados mediante el modelo HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model). HYCOM (2016) es un modelo oceánico generalizado, producido por el consorcio HYCOM, el cual está formado por varias instituciones como parte del US Global Data Assimilation Experiment (GODAE).

El modelo HYCOM es una rejilla tridimensional que provee datos para los océanos con valores cada $1/12^\circ$ (0.0833°), tanto de latitud como longitud. Para el Golfo de México existe una versión especial de HYCOM (GOMI0.04_72) manejada por el Laboratorio de Investigación Naval de los Estados Unidos (US NRL por sus siglas en inglés). Esta versión especial de HYCOM ofrece una rejilla con una resolución más detallada con espacios de $1/25^\circ$ (0.04°) de aproximadamente 4.5 kilómetros (km) en dirección norte-sur y 4.3 km en dirección este-oeste en la región sur del Golfo de México.

Verticalmente, el modelo HYCOM tiene 20 capas, las cuales varían en tamaño dependiendo de la batimetría en un lugar determinado. En la Figura 5.4 se muestran las profundidades para todo el modelo HYCOM del Golfo de México. Otra característica de la versión del modelo HYCOM para el Golfo de México, es la incorporación de los efectos de las mareas dentro del modelo hidrodinámico.



Fuente: HYCOM, 2015

Figura 5.4 Profundidades en metros del Golfo de México versión GOMI0.04_72

5.2.1 *Clima y meteorología*

La caracterización de las condiciones climáticas fue realizada en base a información secundaria tomada de estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio y que contaban con registros lo suficientemente representativos, así como de la revisión de bibliográfica especializada.

5.2.2 *Calidad de agua de mar*

Para las determinaciones de calidad del agua de mar del Área Contractual 4, se definieron 16 estaciones de muestreo, las cuales se distribuyeron de la siguiente manera: cuatro (4) estaciones en el campo Pokoch, siete (7) estaciones en el campo Ichalkil y cinco (5) estaciones en el área externa a los campos (ver Tabla 5.1).

Las estaciones de muestreo fueron denominadas como se menciona a continuación:

- P1, P2, P3 y PC1 en el campo Pokoch.
- I1, I2, I3, I4, I5, IC1 e IC2 en el campo Ichalkil.
- D1, D2, D3, D4 y D5 en el área externa a los campos, denominada Ductos.

En ambos campos se localizan pozos petroleros antes explorados por PEMEX (uno en Pokoch y dos en Ichalkil), por lo cual las estaciones de muestreo denominadas PC1, IC1 e IC2 fueron colocadas sobre las coordenadas de estos pozos y tuvieron el



fin de evaluar las características fisicoquímicas del agua marina, y de esta manera determinar potenciales daños preexistentes.

En las estaciones de muestreo sobre las coordenadas de los pozos se colectó una muestra de agua marina de fondo; por otro lado, en el resto de las estaciones de muestreo se colectaron muestras a tres profundidades en la columna de agua (superficial, media y fondo), sumando un total de 45 muestras de agua (incluyendo tres duplicados).

Para la obtención de las muestras de agua de mar se utilizó una roseta de botellas Niskin SBD de la marca Ocean Test Equipment Inc. (ver Figura 5.5), la cual fue equipada con 12 botellas de 5 L de capacidad cada una. En cada estación la roseta estuvo programada para coleccionar muestras de agua a las tres profundidades solicitadas.



Fuente: ERM, 2016

Figura 5.5 *Roseta de botellas Niskin utilizada en el muestreo de agua*

De modo simultáneo a la inmersión de la Roseta, se sumergió un equipo CTD de la marca Seabird Electronics, modelo SBE 9 Plus y una unidad en cubierta SBE 11 Plus V 5.2, el cual registró datos de los parámetros fisicoquímicos (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez y fluorescencia) en la columna de agua. Asimismo, se llevó a cabo el registro de pH del agua muestreada mediante un equipo multiparamétrico de la marca HANNA Instruments modelo 9829.



Las muestras tomadas fueron etiquetadas, selladas, empaquetadas en bolsas y posteriormente se almacenaron en hieleras a 4 °C, manteniendo las condiciones de frío necesarias para su adecuada conservación, hasta el ingreso al laboratorio.

El análisis de las muestras lo realizó el laboratorio Intertek Testing Services de México, S.A. de C.V. (ITS), el cual está acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) con la acreditación número AG-188-051/11 y aprobado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) con la aprobación número CNA-GCA-1172, para esta matriz (ver Anexo 5.2).

Los parámetros de calidad de agua de mar se analizaron de acuerdo a los lineamientos de la ASEA y a los Términos de Referencia, así como los métodos de análisis y tipo de contenedor. Las muestras de agua se analizaron para uno o más de los parámetros listados a continuación en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 *Parámetros analíticos de calidad de agua de mar*

Parámetro		Método	Contenedor
Salinidad		SM 2520-Ed.20th 1998	Plástico de 1 L y medición en campo
Potencial hidrógeno (pH)		NMX-AA-008-SCFI-2011	Plástico de 1 L y medición en campo
Temperatura		Medición en campo	Medición en campo
Oxígeno disuelto		NMX-AA-012-SCFI-2001	Plástico de 1 L y medición en campo
Turbidez		NMX-AA-038-SCFI-2001	Plástico de 1 L y medición en campo
Fluorescencia		Medición en campo	Medición en campo
Clorofila a ¹		SM 10200H Ed.19-1995	Vidrio ámbar 1 L
Sólidos Suspendedos Totales (SST)		EPA 160.2 1971	Plástico de 1 L
Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP)	Fracción Ligera (FL)	EPA 8015 D-2003	Vial ámbar de 40 ml + HCl
	Fracción Media (FM)	EPA 8015 D-2003	Vidrio ámbar de 1 L
	Fracción Pesada (FP)	EPA 3510C-1996 / EPA 1664-1999	Vidrio ámbar de 1 L + HCl
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)		EPA 8270 D-2007	Vidrio ámbar de 1 L
Hidrocarburos Monoaromáticos (BTEX)		EPA 8260C-2006	Vial ámbar de 40 ml + HCl

¹ Cabe mencionar que la clorofila b y c no fue analizada debido a la dificultad técnica de evaluar dichos parámetros en agua marina.



Parámetro	Método	Contenedor
Amonio (Nitrógeno Amoniaco)	EPA 350.1 - 1993	Plástico de 1 L + H ₂ SO ₄
Nitritos	EPA 353.2 - 1993	Plástico de 1 L + H ₂ SO ₄
Nitratos	EPA 353.2 - 1993	Plástico de 1 L + H ₂ SO ₄
Fosfatos	EPA 350.1 - 1993	Plástico de 1 L + H ₂ SO ₄
Silicatos (Sílice)	EPA 6010C-2007	Plástico de 1 L + HNO ₃
Metales (Hierro, Zinc, Cadmio, Plomo, Cobre, Cromo Total, Mercurio, Níquel, Cobalto, Vanadio, Bario y Estaño) ²	EPA 6010C-2007 / NMX-051-SCFI-2001	Plástico de 1 L + HNO ₃ y plástico de 250 ml

Fuente: ERM, 2016

Los resultados analíticos fueron comparados contra el criterio de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), establecido en 1976, así como los criterios de la Guía Canadiense de Calidad Ambiental (CEQG) publicadas por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME) y las Tablas de Referencia Rápida (SQuiRTs) publicadas por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA) para muchos otros parámetros.

Los límites de cuantificación que maneja el laboratorio analítico están validados para los análisis usuales que se realizan en agua, para los parámetros acreditados y aprobados por lo cual, están calculados para agua continental y pueden ser ligeramente altos para agua marina. Sin embargo, todos los análisis y metodologías mantienen la calidad y validez.

En el Anexo 5.3 se presentan los certificados de calibración de los equipos de muestreo empleados en campo.

5.2.3 Calidad de Sedimento Marino

Originalmente, para la determinación de calidad del sedimento marino se propuso evaluar 16 estaciones de muestreo ubicadas en las mismas coordenadas que las estaciones de evaluación de agua, sin embargo, en campo solo se colectaron 12 muestras (incluyendo un duplicado) en las estaciones P1, P2, P3, PC1, I1, I2, I4, IC1, IC2, D3 y D4, debido a que el resto de estaciones estaban localizadas potencialmente sobre ductos preexistentes de PEMEX y como medida de seguridad no se lanzó a la mar el equipo de muestreo.

² Cabe señalar que el parámetro Ar (Argón) no fue analizado al no existir una metodología de laboratorio para su análisis.

³ Es importante indicar que Control Marino de PEMEX no autorizó al equipo de campo de ERM a bordo del buque "Riviera Maya" la colecta de muestras de sedimento y macrobentos en los puntos I3,



Para la obtención de las muestras de sedimento marino se utilizó un equipo Boxcore de la marca KC DENMARK A/S, con el cual se colectó 400 cm³ de sedimento aproximadamente por cada punto de muestreo (ver Figura 5.6). Este equipo aseguró la integridad de la muestra en su desplazamiento hasta la cubierta del buque.

El sedimento obtenido se colocó en los contenedores para el análisis de cada parámetro los cuales fueron etiquetados, sellados y empaquetados para su almacenamiento en hieleras a 4 °C, manteniendo la cadena de frío necesaria para su adecuada conservación, hasta su ingreso al laboratorio.



Fuente: ERM, 2016

Figura 5.6 *Boxcore de corte cuadrado utilizado en el muestreo de sedimento*

Los parámetros de calidad de sedimento se analizaron de acuerdo a los lineamientos de la ASEA y los Términos de Referencia, así como los métodos de análisis y tipo de contenedor, como se listan en la Tabla 5.3.

El análisis de las muestras lo realizó el laboratorio ITS, el cual está acreditado ante la EMA a través del número R-0044-003/11 y aprobado por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPa) a través del número PFPA-APR-LP-RP-0012/13, para esta matriz (ver Anexo 5.2).

15, D1, D2 y D5 debido a la existencia de infraestructura de transporte de hidrocarburos en el fondo marino. La bitácora del crucero bio-oceanográfico se adjunta en el Anexo 5.1.



Tabla 5.3 *Parámetros analíticos de calidad del sedimento marino*

Parámetro		Método	Contenedor
Materia orgánica (MO)		NOM-021-SEMARNAT-2000	Vidrio boca ancha de 1 L
Carbono orgánico total		NOM-021-SEMARNAT-2000	Vidrio de 125 ml
Granulometría		NOM-021-SEMARNAT-2000	Vidrio boca ancha de 1 L
Textura del sedimento		NOM-021-SEMARNAT-2000	Vidrio boca ancha de 1 L
Redox ⁴		SM 2580 B	Vidrio boca ancha de 1 L
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos		NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012	Vidrio de 125 ml
Hidrocarburos Totales del Petróleo	Fracción Ligera	NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012	Vidrio de 125 ml
	Fracción Media	NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012	Vidrio de 125 ml
	Fracción Pesada	NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012	Vidrio de 125 ml
Metales (Hierro, Zinc, Cadmio, Plomo, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Vanadio, Plata, Bario, Litio, Manganeso, Molibdeno, Selenio y Estaño)		NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 / EPA 6010C-2007	Vidrio boca ancha de 1 L y vidrio de 125 ml

Fuente: ERM, 2016

Los resultados analíticos fueron comparados contra el criterio de HTP de la UNESCO, establecido en 1976, así como los criterios de la Guía Interina de Calidad de Sedimento Marino (ISQG) publicada por el CCME y los límites TEL (Nivel de Efecto en el Umbral - amenaza no potencial) y PEL (Nivel de Efecto Probable) presentados en las SQUIRTs de la NOAA para muchos otros parámetros.

Los límites de cuantificación que manejan los laboratorios analíticos están validados por la EMA para los análisis usuales de suelo para los parámetros acreditados y aprobados, mencionados anteriormente, por lo cual están calculados para suelo continental y pueden ser ligeramente altos para sedimento marino. Sin embargo, todos los análisis y metodologías mantienen la calidad y validez.

⁴ Cabe señalar que el parámetro contenido de oxígeno no fue analizado al no existir una metodología de laboratorio.



5.3. Medio biótico

5.3.1 *Fitoplancton*

El muestreo de fitoplancton estuvo dirigido a la determinación de las especies más representativas del eslabón inicial de la cadena trófica marina, así como también a la identificación de microalgas consideradas potencialmente tóxicas por la Comisión Oceanográfica Internacional (COI) de la UNESCO y de aquellas comúnmente involucradas en ciertos eventos de importancia ecológica: “mareas rojas”, “floraciones algales nocivas” o procesos de eutrofización.

En base a los lineamientos de la *Guía para el Diseño y Puesta en Marcha de un Plan de Seguimiento de Microalgas Productoras de Toxinas (COI, 2011)*, se implementaron dos metodologías diferentes de muestreo aunque complementarias entre sí en las mismas estaciones de muestreo de calidad de agua de mar.

5.3.1.1 *Muestreo Cualitativo*

El muestreo cualitativo consistió en realizar arrastres verticales con una red estándar cónica provista con malla colectora de 20 μm de abertura de malla a lo largo de la columna de agua (ver Figura 5.7). Las 13 muestras obtenidas, fueron debidamente rotuladas y acondicionadas, y preservadas con solución de formalina al 4% neutralizada con bórax.



Fuente: ERM, 2016

Figura 5.7 *Red estándar de 20 μm empleada para la colecta de muestras de fitoplancton*

La información de campo relativa a la colecta de muestras de fitoplancton de red se presenta en la Tabla 5.4.



Tabla 5.4 *Relación de muestras de fitoplancton de red colectadas en el Área Contractual 4*

Código de Muestra/ Punto de Muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 (Zona 15Q)		Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Profundidad de arrastre (m)	Volumen Estimado de Agua Filtrada (m ³)
	Este	Norte				
D5	539925.55	2086700.55	13/04/2016	00:10	20	1.41
D4	544199.50	2091245.35	13/04/2016	01:30	20	1.41
D3	552111.05	2099658.30	13/04/2016	03:35	25	1.77
I3	550672.72	2102932.80	13/04/2016	05:35	30	2.12
I4	550656.45	2108863.70	13/04/2016	06:45	35	2.47
I5	555318.47	2104926.80	13/04/2016	10:40	25	1.77
I2	560365.49	2102961.80	13/04/2016	13:05	25	1.77
I1	560354.91	2106204.00	13/04/2016	14:20	25	1.77
D2	558033.89	2112498.20	13/04/2016	15:45	30	2.12
D1	563301.98	2115193.90	13/04/2016	16:55	30	2.12
P2	561810.91	2117584.10	13/04/2016	18:10	35	2.47
P3	557454.62	2118433.10	13/04/2016	19:25	40	2.83
P1	559401.28	2121283.10	13/04/2016	21:25	45	3.18

Fuente: ERM, 2016

El análisis de las muestras estuvo a cargo del ICMyL de la UNAM⁵, donde fueron sometidas a centrifugación y, posteriormente, se determinaron las microalgas presentes hasta el menor nivel taxonómico posible, agrupándolas en las categorías de diatomeas, dinoflagelados, cianofitas o fitoflagelados.

5.3.1.2 Muestreo Cuantitativo

En el estrato superficial y de fondo de cada punto de muestreo se captó con botella Niskin un volumen conocido de agua (250 mL), el cual fue vertido en un frasco de vidrio ámbar de igual capacidad conteniendo una solución preservante de lugol acético.

La información de campo relativa a la colecta de muestras de fitoplancton de botella se presenta en la Tabla 5.5.

El tratamiento y análisis de las 26 muestras colectadas también se realizó en los laboratorios del ICMyL mediante técnicas de sedimentación.

Para la identificación y posterior conteo de microalgas fueron empleadas claves taxonómicas actualizadas. Se determinaron como principales grupos a las diatomeas, los dinoflagelados, las cianofitas y los fitoflagelados. Los resultados se expresaron

⁵ Cabe señalar que a la fecha no existen acreditaciones para el análisis de parámetros biológicos como plancton y macrobentos marino.



cuantitativamente en términos de “concentración celular” (nº células/l). Y a partir de estos registros se calcularon los índices de estructura comunitaria: diversidad de Shannon-Wiener (H'), dominancia de Simpson (D) y equidad de Pielou (J').

Tabla 5.5 *Relación de muestras de fitoplancton de botella colectadas en el Área Contractual 4*

Código de Muestra / Punto de Muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 (Zona 15Q)		Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Profundidad (m)
	Este	Norte			
D5 (Superficie)	539925.55	2086700.55	13/04/2016	00:10	1
D5 (Fondo)					23
D4 (Superficie)	544199.50	2091245.35	13/04/2016	01:30	1
D4 (Fondo)					24
D3 (Superficie)	552111.05	2099658.30	13/04/2016	03:35	1
D3 (Fondo)					27
I3 (Superficie)	550672.72	2102932.80	13/04/2016	05:35	1
I3 (Fondo)					33
I4 (Superficie)	550656.45	2108863.70	13/04/2016	06:45	1
I4 (Fondo)					39
I5 (Superficie)	555318.47	2104926.80	13/04/2016	10:40	1
I5 (Fondo)					30
I2 (Superficie)	560365.49	2102961.80	13/04/2016	13:05	1
I2 (Fondo)					27
I1 (Superficie)	560354.91	2106204.00	13/04/2016	14:20	1
I1 (Fondo)					27
D2 (Superficie)	558033.89	2112498.20	13/04/2016	15:45	1
D2 (Fondo)					34
D1 (Superficie)	563301.98	2115193.90	13/04/2016	16:55	1
D1 (Fondo)					31
P2 (Superficie)	561810.91	2117584.10	13/04/2016	18:10	1
P2 (Fondo)					36
P3 (Superficie)	557454.62	2118433.10	13/04/2016	19:25	1
P3 (Fondo)					43
P1 (Superficie)	559401.28	2121283.10	13/04/2016	21:25	1
P1 (Fondo)					48

Fuente: ERM, 2016

5.3.2 *Zooplankton e Ictioplancton*

El muestreo de esta fracción se realizó mediante arrastres oblicuos con una red CalCOFI de 333 μm de abertura de malla provista de un flujómetro General Oceanics 2030R para estimar el volumen filtrado de agua.



Se efectuó un arrastre oblicuo en cada punto de muestreo y el material biológico retenido, básicamente organismos del zooplancton e ictioplancton, fue colectado en un frasco hermético de plástico de 1 000 ml de capacidad y preservado con solución de formalina al 4% neutralizada con bórax.

La información de campo relativa a la colecta de muestras de zooplancton e ictioplancton se presenta en la Tabla 5.6.

El tratamiento y análisis de estas 13 muestras se realizó en los laboratorios del CINVESTAV.

Los organismos presentes fueron determinados hasta el menor nivel taxonómico posible diferenciando su pertenencia a los grupos de copépodos, cladóceros, apendicularias, cnidarios, ictioplancton (huevos y larvas de peces), entre otros; y los resultados de los conteos fueron expresados cuantitativamente en términos de número de organismos por m³ de agua de mar.

Tabla 5.6 *Relación de muestras de zooplancton e ictioplancton colectadas en el Área Contractual 4*

Código de Muestra / Punto de Muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 (Zona 15Q)		Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Volumen Estimado de Agua Filtrada (m ³)
	Este	Norte			
D5	539925.55	2086700.55	13/04/2016	00:10	193.37
D4	544199.50	2091245.35	13/04/2016	01:30	231.46
D3	552111.05	2099658.30	13/04/2016	03:35	238.01
I3	550672.72	2102932.80	13/04/2016	05:35	195.34
I4	550656.45	2108863.70	13/04/2016	06:45	190.70
I5	555318.47	2104926.80	13/04/2016	10:40	202.61
I2	560365.49	2102961.80	13/04/2016	13:05	184.78
I1	560354.91	2106204.00	13/04/2016	14:20	158.84
D2	558033.89	2112498.20	13/04/2016	15:45	140.83
D1	563301.98	2115193.90	13/04/2016	16:55	157.85
P2	561810.91	2117584.10	13/04/2016	18:10	137.22
P3	557454.62	2118433.10	13/04/2016	19:25	132.94
P1	559401.28	2121283.10	13/04/2016	21:25	93.66

Fuente: ERM, 2016

5.3.3 Macrobenetos

El componente macrobenetos es definido como el conjunto de organismos que habita o se encuentra asociado al fondo de los cuerpos de agua. De acuerdo a su hábitat específico, tales organismos pueden clasificarse en hiperbenetos (organismos con buena capacidad de nado que realizan migraciones verticales sobre el sustrato),



epibentos (organismos que habitan sobre la superficie del sustrato) y endobentos (organismos que viven enterrados en el sustrato). Los organismos del bentos también pueden ser clasificados en función de su talla, en macrobentos (>500 µm), meibentos (<500 µm y >63 µm) y microbentos (<63 µm). Para el levantamiento y caracterización de la presente evaluación se ha contemplado tomar en consideración al macrobentos, por facilidad de identificación, y su carácter representativo.

La colecta de muestras de macrobentos se realizó conjuntamente con las de sedimento marino mediante el uso del box corer, obteniéndose un total de 9 muestras cuya descripción se indica en la Tabla 5.7.

Las muestras obtenidas fueron luego lavadas y filtradas en una bolsa tamiz de 500 µm de diámetro de malla, para luego ser depositadas en frascos de plástico herméticos, utilizando como preservante formol al 10% neutralizado con bórax (tetaborato de sodio), debidamente rotulados para su posterior identificación y análisis en el laboratorio. La identificación de macrobentos fue realizada por la bióloga Soledad Miñano, especialista de ERM, en las instalaciones del Instituto Politécnico Nacional.

Tabla 5.7 Relación de muestras de macrobentos colectadas en el Área Contractual 4

Código de Muestra/ Punto de Muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 (Zona 15Q)		Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Profundidad (m)	Área de Muestreo (m ²)
	Este	Norte				
D4	544199.50	2091245.35	13/04/2016	01:30	26.2	0.053
D3	552111.05	2099658.30	13/04/2016	03:35	28.8	
I4	550656.45	2108863.70	13/04/2016	06:45	40.6	
IC2	553161.63	2104787.60	13/04/2016	09:10	29.6	
I2	560365.49	2102961.80	13/04/2016	13:05	28.8	
I1	560354.91	2106204.00	13/04/2016	14:20	29.4	
P2	561810.91	2117584.10	13/04/2016	18:10	38.0	
P3	557454.62	2118433.10	13/04/2016	19:25	44.6	
P1	559401.28	2121283.10	13/04/2016	21:25	49.5	

Fuente: ERM, 2016

5.3.3.1 Metodología de muestreo en laboratorio

En el laboratorio se realizó el lavado y tamizado de cada muestra en tamices de diferentes medidas de ojo de malla (10000 µm, 5000 µm y 1000 µm de ojo de malla). Los organismos retenidos en cada tamiz se depositaron en frascos de plástico herméticos empleando la codificación respectiva de acuerdo a las estaciones evaluadas. Durante el proceso de lavado y separación de las muestras se hace uso de placas petri, pinzas, tamices, picetas, jeringas, mandiles plásticos, guantes de látex,



mascarillas, etc. Posteriormente, se procede a la determinación de los organismos bentónicos en dos etapas:

- 1.- Separación en grupos taxonómicos principales, y luego hasta especie; si es que las condiciones de la muestra lo permiten o si los especialistas logran determinar.
- 2.- Con los resultados obtenidos luego de la separación y determinación de los organismos se procede a determinar la abundancia de cada especie evaluada usando un contómetro de mano y un contómetro múltiple, considerándose solo porciones cefálicas de los ejemplares incompletos y los discos de las estrellas frágiles u otros (por ejemplo, ofiuroides). También se determina la biomasa por grupos en gramos de peso húmedo total, para lo cual los organismos colectados son previamente escurridos en papel secante y luego pesados en una balanza analítica de 0.001 g de precisión.

5.3.3.2 *Análisis de diversidad*

Empleando los datos de abundancia obtenidos por cada estación, se procederá a calcular el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') (Margalef, 1974), y se calcula a partir de la ecuación:

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$$

Donde p_i es la proporción de individuos hallados de la i -ésima especie y que es estimada mediante n_i/N (el máximo estimador probable, Pielou 1969), siendo " n_i " la abundancia de la especie i , y " N " la abundancia total en la muestra. En los cálculos de Shannon frecuentemente se utiliza \log_2 (bits/individuo), pero puede adoptarse cualquier base logarítmica (Magurran, 1990). Para el presente análisis se utiliza la base 2 (bits por individuo) de acuerdo a la definición de la fórmula original y según los resultados del programa PAST, aplicando el factor 1.44, para la obtención de valores en función a \log_2 .

Adicionalmente, se procederá a calcular el índice de diversidad de Margalef (Clifford y Stepherson, 1975), también conocido como índice de riqueza de Margalef (DMg); además del índice de uniformidad de Pielou (Pielou, 1969), conocido también como índice de equidad (E).

$$DMg = \frac{(S-1)}{\ln N}$$

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Dónde:

S = número de especies encontradas en la muestra.



N = abundancia total.

El análisis de similitud cualitativo se realizó utilizando el índice de Jaccard, y el análisis de similitud cuantitativo se realizó utilizando el índice de Morisita-Horn. A continuación se presenta la fórmula para el cálculo del Índice de Jaccard (C_j) (Krebs, 1989):

Donde:

a = Número de especies en la muestra A y en la muestra B.

b = Número de especies en la muestra B pero no en la muestra A.

c = Número de especies en la muestra A pero no en la muestra B.

$$C_j = \frac{a}{(a+b+c)}$$

Los resultados obtenidos del análisis de similitud de Jaccard se utilizan para elaborar dendrogramas a través de un análisis Cluster. Este análisis se inicia con una matriz que proporciona la similaridad entre cada uno de los pares de unidades de muestreo (repeticiones), de modo que dicho análisis proceda mediante sucesivas agrupaciones de las repeticiones más similares, las cuales se combinan para formar un grupo único. El método de agrupación utilizado para el presente caso es de la media (group average clustering - UPGMA), empleado ampliamente en ecología (Magurran, 1988). Los cálculos computacionales para elaborar los dendrogramas fueron realizados utilizando el programa estadístico PAST.

El índice de Morisita-Horn utiliza los datos cuantitativos obtenidos en los conteos para establecer un valor que expresa el grado de similitud entre lugares evaluados.

Dónde:

CMH = Índice cuantitativo de similitud de Morisita-Horn.

$$CMH = 2 \sum \frac{(a_i b_j)}{(d_a + d_b) a_N b_N}$$

a_N = Número total de individuos en el transecto A.

a_i = Número de individuos en la i -ésima especie en A.

De modo complementario se empleará el índice de presencia - ausencia de Raup - Crick. Este índice (Raup y Crick 1979) utiliza un procedimiento de randomización de "Monte Carlo", comparando el número observado de especies que ocurren en ambas



asociaciones con la distribución de co-ocurrencias de 200 repeticiones aleatorias (Hammer y Harper, 2001).

5.3.4 *Avifauna marina*

La observación de aves marinas se realizó utilizando binoculares Celestron® 10 x 50 Upclose G2. Los individuos fueron registrados en un ángulo de 180 grados con respecto a la proa de la embarcación. El recuento se llevó a cabo utilizando un contómetro de mano o Tally Counter, y la identificación se realizó *in situ* con la ayuda de guías especializadas (Harrison, 1983, Prater *et al.*, 1991). Esta evaluación se llevó a cabo durante todo el itinerario (derrotero) la evaluación marina en el Área Contractual 4.

Para la comunidad de aves se determinó su composición específica y la abundancia. Asimismo, se describió la ubicación, distribución y diversidad de las especies marinas identificadas, tal como se observa en la Tabla 5.8. Además, se identificaron aquellas especies categorizadas en alguna lista de conservación (nacional y/o internacional).

Tabla 5.8 *Metodologías para la evaluación de aves marinas - Observación directa en transectos en Línea*

Parámetro a Medir	Unidad
Frecuencia de avistamiento por especie	N° avistamientos individuos por sp./total de millas recorridas X 100
Tasa de avistamiento por especie	Porcentaje de avistamiento por sp./total de avistamientos
Proporción	Porcentaje de avistamiento por sp./total de individuos
Abundancia Relativa	N° de avistamientos de individuos por sp./millas observadas X 100
Comportamiento	Cualitativo
Distribución	Coordenadas (Georreferenciación)

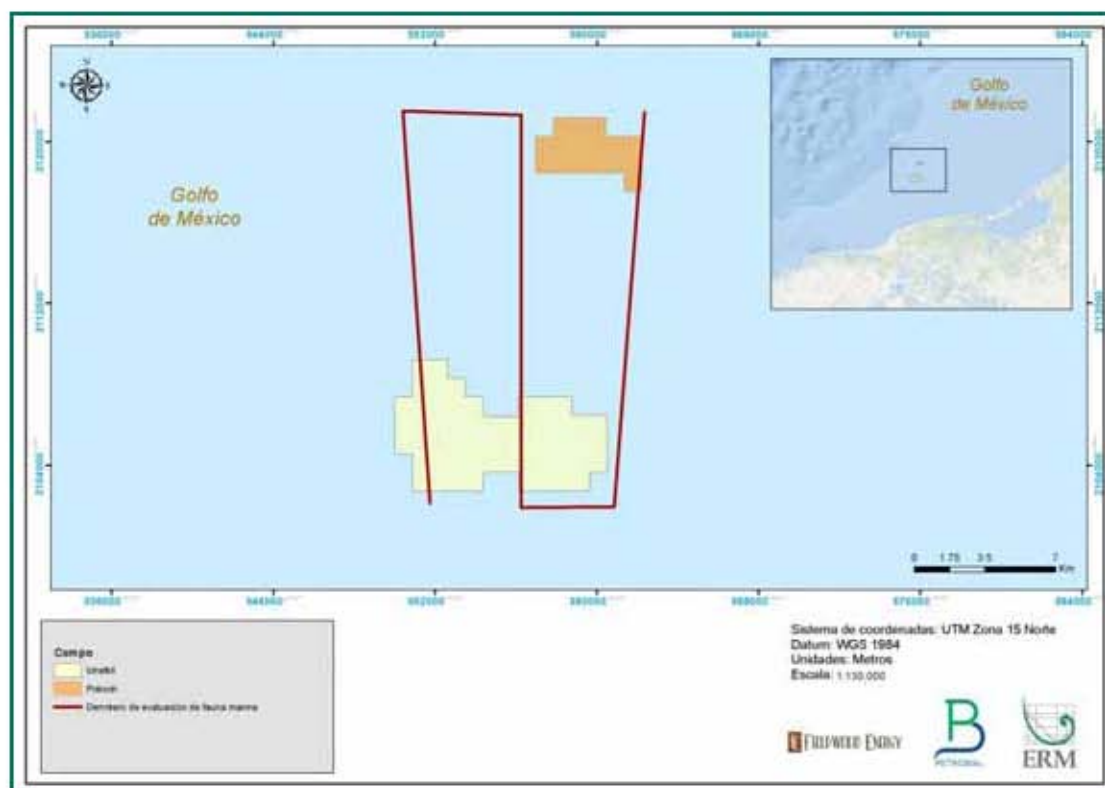
Fuente: ERM, 2016 y UNOLS, 1999; Wennemer *et al.*, 1998

A fin de determinar una abundancia relativa, se establecieron unidades básicas muestrales (UBM) de 1 milla náutica, la cual fue implementada en un recorrido en “piernas” de muestreo (ver Figura 5.8). Se registró la especie, el número de individuos, las coordenadas de avistamiento, comportamiento, distancia a la costa, estado del tiempo, entre otros.

Además, empleando los datos de abundancia obtenidos por cada estación, se procedió a calcular el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') (Margalef, 1974), el índice de uniformidad de Pielou (Pielou, 1969), conocido también como índice de equidad (J), y el índice de riqueza de Margalef (DMg).



Para categorizar a las especies registradas se tomaron en cuenta las listas de Protección Nacional del año 2010 y las listas de Conservación Internacional correspondientes al año 2015 arriba mencionadas. La lista nacional corresponde a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Mientras que las listas internacionales corresponden a la *La Lista Roja de Especies Amenazadas*TM de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza - UICN, los Apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre - CITES, y los Apéndices de la Convención Sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres - CMS.



Fuente: ERM, 2016

Figura 5.8 *Derrotero de evaluación de fauna marina: Aves, mamíferos y tortugas*

5.3.5 *Mamíferos y tortugas marinas*

La observación de mamíferos y tortugas marinas se realizó utilizando binoculares Celestron® 10 x 50 Upclose G2. Los individuos fueron registrados en un ángulo de 180° con respecto a la proa de la embarcación. El conteo se llevó a cabo utilizando un contómetro de mano o Tally Counter, y la identificación se realizó *in situ* con la ayuda de guías especializadas (para la determinación de especies se consultó Leatherwood *et al.* (1988) y Jefferson *et al.* (1993). Esta evaluación se llevó a cabo durante todo el itinerario (derrotero) de evaluación marina en el Área Contractual 4 (ver Figura 5.8).



Para la comunidad de tortugas y mamíferos marinos se determinó su composición específica y la abundancia. Asimismo, se describió la ubicación, distribución y diversidad de las especies marinas identificadas, tal como se observa en la además, se identificaron aquellas especies categorizadas en alguna lista de conservación (nacional y/o internacional).

A fin de determinar una abundancia relativa, se establecieron unidades básicas muestrales (UBM) de 1 milla náutica, la cual fue implementada en un recorrido en “piernas” de muestreo. Se registró la especie, el número de individuos, las coordenadas de avistamiento, comportamiento, distancia a la costa, dirección, estado del tiempo, entre otros. En las estaciones de muestreo se hicieron observaciones complementarias (ver Tabla 5.9).

Tabla 5.9 Metodología para la evaluación de Mamíferos y Tortugas Marinas

<i>Parámetro a Medir</i>	<i>Unidad</i>
Frecuencia de avistamiento por especie	N° avistamientos individuos por sp./total de millas recorridas × 100
Tasa de avistamiento por especie	Porcentaje de avistamiento por sp./total de avistamientos
Proporción	Porcentaje de avistamiento por sp./total de individuos
Abundancia Relativa	N° de avistamientos de individuos por sp./millas observadas × 100
Comportamiento	Cualitativo
Distribución	Coordenadas (Georeferenciación)

Fuente: ERM, 2016

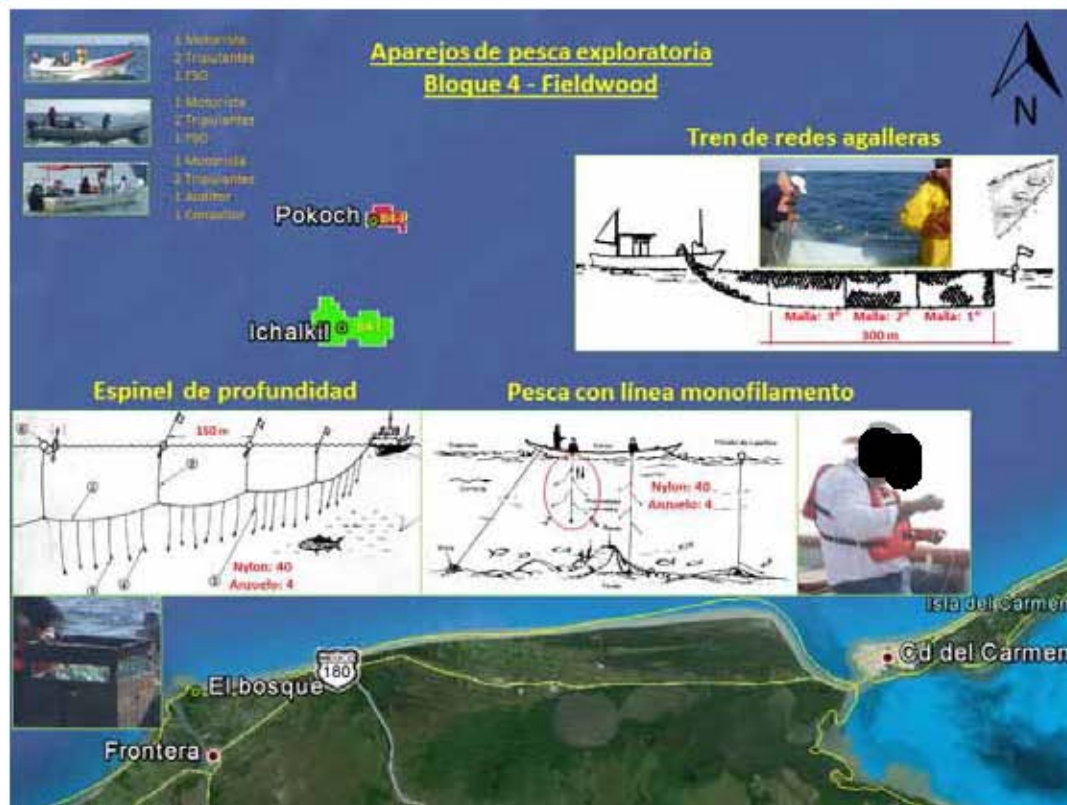
Para categorizar a las especies registradas se tomaron en cuenta las listas de Protección Nacional del año 2010 y las listas de Conservación Internacional correspondientes al año 2015 anteriormente mencionadas.

Además, empleando los datos de abundancia obtenidos por cada estación, se procederá a calcular el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') (Margalef, 1974), el índice de uniformidad de Pielou (Pielou, 1969), conocido también como índice de equidad (J) y el índice de riqueza de Margalef (DMg).

5.3.6 Pesca exploratoria

Para la evaluación de pesca exploratoria se utilizaron artes de pesca de baja selectividad, conformado por una agrupación serial de redes denominada “tren de redes agalleras”, el cual incluyó 2 redes superficiales de tamaños de malla de 2 y 3 pulgadas, encabalgadas en serie y sumando una longitud total de 200 m.

Las actividad de pesca exploratoria se llevó a cabo en dos estaciones denominadas PC-1 y IC-1, en ambas locaciones se arriaron las artes de pesca seleccionadas (ver Figura 5.9).



Fuente: ERM, 2016

Figura 5.9 Metodología de Pesca Exploratoria en el Área Contractual 4

Es importante señalar que se contempló el uso de artes de pesca complementarias, tales como cordeles con anzuelos y espineles de fondo, con la finalidad de cubrir un mayor espectro de la columna de agua en ambas estaciones. Estos aparejos también son empleados por los pescadores artesanales de Campeche. Dichos artes pasivos de pesca suelen ser más efectivos en las capturas en la zona evaluada del Área Contractual 4.

La elección de los artes de pesca, el tamaño de la malla y el tamaño de propia red, tiene como objetivo disminuir la selectividad y poder capturar la mayor cantidad de especies y tamaños, lo que se traduce en una captura que tenga mayor representatividad de las especies que habitan la zona evaluada (ver Tabla 5.10).

Tabla 5.10 Características de las redes agalleras empleadas en la pesca exploratoria

Tipo de Red	Red "agallera B"	Red" agallera C"
Diámetro de malla	2 pulgadas	3 pulgadas
Longitud	100 m	100 m
Altura de paño	100 mallas	100 mallas
Material	Nylon monofilamento	Nylon monofilamento

Fuente: ERM, 2016

Fotografías eliminadas por ser datos personales. Fundamento en el art. 113 Fracción I de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.



Para la disposición de los aparejos se consideró la maniobra de arriado (soltado de la red) a velocidad constante, por una de las bandas de la embarcación, y a favor de la corriente, para evitar que se enredara con la quilla y otras secciones de la embarcación. Las redes se encuentran encabalgadas de acuerdo al tamaño de malla, en orden creciente y/o decreciente. Al inicio y término del arriado se sujeta una boya de señalización para su fácil ubicación. Una vez en el agua, el tren de redes se deja a la deriva, vigilando su rumbo, ubicación y controlando el tiempo de cala y/o pesca, empleando para ello un navegador GPS.

Los datos morfométricos se obtuvieron mediante el uso de un ictiómetro escalado hasta 30 cm, flexómetro de 5 m (especies de mayor tamaño), balanza digital de precisión 0.5 g, y una balanza de resorte “romana” de 12 kg para el registro de especies de mayor peso.

Con los registros obtenidos de las capturas se determinaron parámetros pesqueros contemplados en la propuesta metodológica, los mismos que se detallan en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11 Parámetros de evaluación de la pesca exploratoria en el Área Contractual 4

Parámetro a medir	Metodología	Unidad
Diversidad Relativa	On-Site Taxonomist - FAO, 2013	Nº especies/horas de captura
Abundancia Relativa	On-Site Taxonomist - FAO, 2013	Nº individuos por sp./horas de captura
Biomasa de Capturas (CPUE)	FAO, 1986	gr/horas de captura
Talla de Capturas	Comisión Internacional de Pesquerías del Atlántico Noroeste (CIPAN), 1985	Longitud total/individuo
Estado Reproductivo	Holden y Raitt (1975) y Culquichicon <i>et al.</i> (1983)	Tabla de Holden y Raitt

Fuente: ERM, 2016

5.3.7 Efectos biológicos

La evaluación de efectos biológicos se estructuró en base a la siguiente estrategia metodológica:



- ***Revisión bibliográfica***

En esta etapa se revisó y analizó aquella información secundaria relevante y aplicable al ecosistema evaluado, potenciales contaminantes (metales e hidrocarburos) en la matriz sedimento marino, así como estudios e investigaciones realizadas en torno a la potencial toxicidad de sedimentos contaminados sobre la biota acuática.

- ***Determinación de la calidad del sedimento marino***

En esta etapa se colectaron directamente muestras de sedimento marino (información primaria).

- ***Análisis de resultados con Normas de Referencia***

Con la finalidad de determinar un probable efecto biológico producto de las concentraciones de metales e hidrocarburos en sedimento marino obtenidos de los análisis de laboratorio y al no existir estándares de calidad ambiental nacionales, se utilizaron normas de referencia internacionales tales como la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos para la Protección de Vida Acuática (Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life) promulgada por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME, 1995). De acuerdo a la CCME, estas directrices de calidad de sedimentos proporcionan indicadores científicos o Estaciones de referencia para evaluar el potencial de efectos biológicos adversos en los ecosistemas acuáticos. Las directrices se derivan de la información toxicológica disponible de acuerdo con el protocolo oficial establecido por la CCME.

Asimismo, se utilizó la SQuiRTs de la NOAA y la Normativa de Referencia Holandesa (The New Dutch List) para suelo/sedimentos referentes a los valores meta holandesas y de intervención (2000).



6. Resultados

6.1. Generalidades

6.1.1 Contexto regional

El Golfo de México, está ubicado en la zona de transición entre el clima tropical y subtropical, entre los 18° y 30° N y 82° y 98° W. Es una cuenca semicerrada que se comunica con el mar Caribe y el océano Atlántico a través del Canal de Yucatán y del Estrecho de Florida, respectivamente (Monreal-Gómez *et al.*, 2004).

Tiene un área de 1.6×10^6 km² y un volumen cercano a 2.3×10^6 km³; su batimetría varía considerablemente, alcanzando profundidades cercanas a los 4,000 m en su porción central (Toledo-Ocampo, 2005). La parte occidental tiene una extensión de norte a sur de 1 300 km, mientras que las regiones centrales y orientales promedian 900 km (Lara-Lara *et al.*, 2008); esta bordeado por cinco estados mexicanos: Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán.

Es un sistema de importancia ecológica, pesquera e industrial debido a su alta diversidad de especies, su gran potencial pesquero y por la explotación de hidrocarburos. Más del 80% del petróleo y más del 95% del gas natural mexicano se producen en las costas del Golfo de México (Lara-Lara *et al.*, 2008). En él se alberga una gran variedad de ambientes costeros y marinos entre los que destacan los cayos, islas de barrera, dunas, playas, ríos, deltas, lagunas costeras, humedales, manglares, arrecifes, bancos carbonatados, infiltraciones frías y zonas de oxígeno mínimo (Lara-Lara *et al.*, 2008; Escobar-Briones, 2004 y Jiménez-Guadarrama, 2010).

La zona recibe un importante aporte de agua dulce, ya que desembocan las descargas de los principales ríos de Norteamérica: la sección mexicana recibe el 60% de la descarga nacional de los ríos y tiene el 75% de la superficie de ambientes estuarinos (Botello, Villanueva, & Díaz, 1997); por parte de Estados Unidos, el Río Mississippi descarga un promedio de 580 km³ de agua dulce por año en el norte del Golfo de México y es responsable de cerca del 90% del influjo de agua dulce hacia el Golfo de México (Caso, Pisanty, & Ezcurra, 2004).

La superficie del Golfo de México, incluyendo el cuerpo de agua y los humedales costeros de México y Estados Unidos, es de alrededor de 1 942 500.00 km² y la profundidad promedio del Golfo cercana a los 1 615 m, y el volumen de agua es aproximadamente 2 434 000 km³. La zona costera del Golfo, tanto de México como de los Estados Unidos, contiene más de 200 sistemas lagunares-estuarinos. Más del 75 % del total nacional de humedales costeros de ambas naciones se localiza en el Golfo de México (Caso, Pisanty, & Ezcurra, 2004).



La estacionalidad climática en el Golfo de México se caracteriza por un periodo de secas de febrero a mayo, uno de lluvias de verano de junio a octubre, este con presencia de depresiones tropicales y uno de frentes fríos anticiclónicos conocidos como nortes de octubre a febrero. La intensidad de estos tres periodos está variando por efectos del cambio climático (Caso, Pisanty, & Ezcurra, 2004).

En cuanto a la productividad natural del Golfo de México, esta depende de las interacciones de procesos terrestres y marinos que convergen en la zona costera, condicionado por los procesos climático meteorológicos e hidrológicos (Caso, Pisanty, & Ezcurra, 2004).

Se considera que el Golfo de México es oligotrófico en la capa superficial debido a la baja concentración de nutrientes y de clorofila-a; sin embargo estos valores son más altos en las aguas costeras y la nutriclina (Caso, Pisanty, & Ezcurra, 2004).

Respecto a la pesca, la zona costera del Golfo contiene un gran número de sistemas lagunares los cuales fungen como zonas de protección, reproducción y áreas de crianza de recursos pesqueros estuarinos-dependientes. Lo anterior corresponde al 40% de la captura comercial de peces (Caso, Pisanty, & Ezcurra, 2004).

Los bentos es otro grupo de organismos acuáticos que tienen gran presencia en el Golfo de México de tal manera que se consideran organismos con una biodiversidad potencial elevada comparable a ecosistemas terrestres ricos tales como las selvas tropicales (Caso, Pisanty, & Ezcurra, 2004).

El Golfo de México también es un área de gran diversidad de especies de aves, se estima que se encuentran más de 200 especies en esta región de las cuales el 22% son marinas y el 50% son terrestres; estas últimas obtienen su alimento en la zona costero-marina (Caso, Pisanty, & Ezcurra, 2004).

Respecto a la presencia de mamíferos marinos se ha documentado la presencia de al menos 25 especies entre las que se encuentran los cetáceos. Dentro de este grupo las ballenas son animales que generalmente habitan aguas con profundidades mayores a 200 m. Las toninas, por lo contrario, son animales que se pueden encontrar sobre la plataforma continental cerca de la costa (Caso, Pisanty, & Ezcurra, 2004).

6.1.2 *Contexto local*

6.1.2.1 *Ubicación del Área Contractual 4 con relación a las regiones de gestión ambiental*

De acuerdo al Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe publicado en el DOF el 24 de noviembre de 2012 el Área Contractual 4 se encuentra dentro de la Unidad de Gestión Ambiental #188 en la Subregión Zona Costera Inmediata Sur del Golfo de México a la cual se le aplican diversos criterios ecológicos de los cuales solo los aplicables a este tipo de estudio y actividad se describen en la Tabla 6.1.



Tabla 6.1 *Crterios de Regulación Ecológica*

Clave	Descripción
G004	Instrumentar o en su caso reforzar las campañas de vigilancia y control de las actividades extractivas de flora y fauna silvestre, particularmente para las especies registradas en la Norma Oficial Mexicana, Protección ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestre-Categoría de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010).
G011	Instrumentar medidas de control para minimizar las afectaciones producidas a los ecosistemas costeros por efecto de las actividades humanas.
G060	Ubicar la construcción de infraestructura costera en sitios donde se minimice el impacto sobre la vegetación acuática sumergida.
G061	La construcción de infraestructura costera se deberá realizar con procesos y materiales que minimicen la contaminación del ambiente marino.
A022	Fomentar programas de remediación y monitoreo de zonas y aguas costeras afectadas por los hidrocarburos.
A046	Incentivar el cumplimiento de los mecanismos existentes para controlar el vertido y disposición de residuos de embarcaciones, en las porciones marinas tanto costeras como oceánicas.
ZGS-01	Evitar la afectación a pastos marinos derivado de actividades o proyectos. Considerar que los estudios de impacto Ambiental requeridos demuestren la no afectación a estos organismos.
ZGS-02	La captura de ejemplares de mamíferos marinos, aves y reptiles se permitirá únicamente con fines de investigación, conservación o preservación.
ZGS-05	Se debe evitar el vertimiento de hidrocarburos u otros residuos peligrosos en el cuerpo de agua.

Fuente: POEM, 2012

Área de estudio

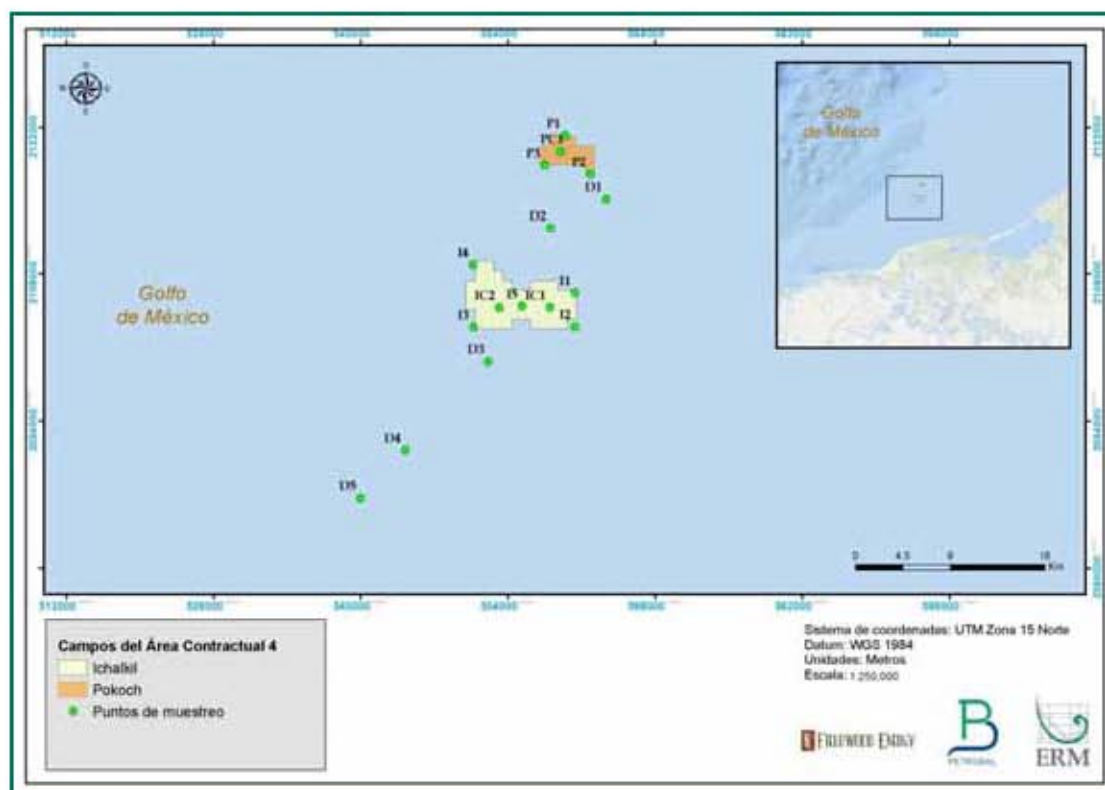
El Área Contractual 4 se encuentra contigua al Área Económica Exclusiva mexicana a una distancia aproximada de 40 km de la costa de los municipios de Carmen, Campeche y Centla, Tabasco; desde el polígono Ichalkil. Dicha área se encuentra dentro de la zona marina de competencia federal.

El polígono Ichalkil tiene un área de 45.5 km², mientras que Pokoch una superficie de 13 km². Los vértices de dicha zona han sido previamente indicados en la metodología del presente documento.

El área de estudio corresponde al Área Contractual 4 y dentro de esta se realizaron los puntos de muestreo. Estos se definieron tomando en cuenta 4 puntos en el bloque Pokoch y 7 en el bloque Ichalkil. Estos puntos se seleccionaron con base en las condiciones batimétricas y sedimentológicas que respaldan la representatividad de las muestras tomadas debido a la uniformidad y continuidad del área. Asimismo, y tal como se describe en las secciones subsecuentes, las condiciones meteorológicas, pluviométricas e hidrodinámicas son constantes dentro de dicha área, por lo que la



calidad ambiental del área de estudio puede ser estimada a partir de los puntos de muestreo establecidos. El área de estudio por tanto corresponde al Área Contractual y se muestra en la Figura 6.1.



Fuente: ERM, 2016

Figura 6.1 Área contractual y área de estudio

6.2. Medio abiótico

6.2.1 Geomorfología regional

Las costas del Golfo de México han sido clasificadas en cuatro grandes unidades morfotectónicas continentales (Carranza *et al.*, 1975). La primera de ellas comprende: una extensión de 700 km, desde la desembocadura del río Bravo hasta Punta Delgada, Veracruz; se trata de una costa de mar marginal. La segunda cubre 300 km y se extiende desde Punta Delgada hasta la desembocadura del río Coatzacoalcos, Veracruz. También se trata de una costa de mar marginal con depósitos subaéreos que forman dunas y cuyas porciones secundarias están constituidas por algunas formaciones arrecifales. La tercera se localiza entre el delta del río Coatzacoalcos y la porción oriental de la laguna de Términos, Campeche. Tiene una extensión de 179 km y se caracteriza por la presencia de deltas como los del río Tonalá, Grijalva-Mezcalapa, San Pedro y San Pablo. La cuarta y última unidad comprende 1,100 km, desde la Isla Aguada (Campeche), hasta Chetumal (Quintana Roo). Al igual que las anteriores, es una costa de mar marginal que presenta numerosos cañones y



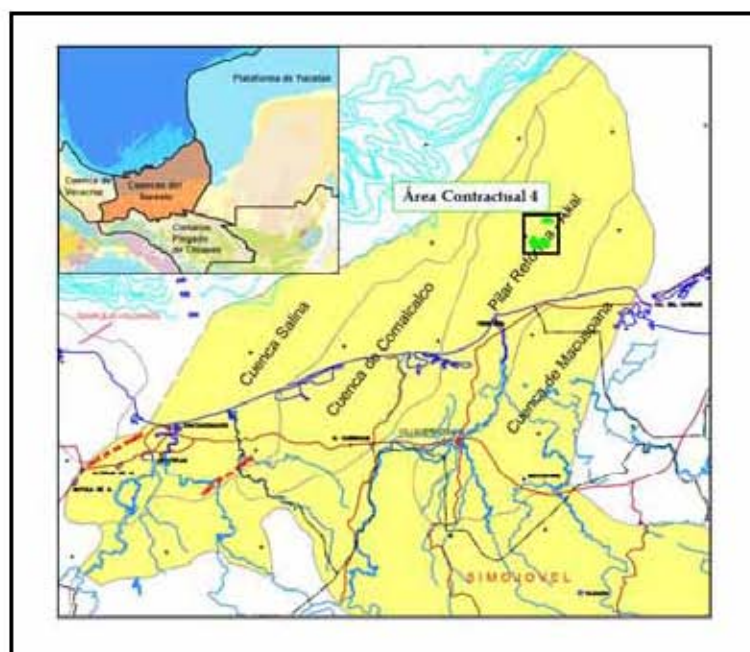
sumideros, con depósitos marinos que originan playas e islas de barrera que dan lugar a las principales formaciones arrecifales de México.

La plataforma continental es una de las mayores morfoestructuras del piso oceánico del Golfo de México. Es amplia frente a la planicie costera y estrecha frente a los macizos montañosos paralelos a la costa. Está constituida por numerosas depresiones, lomeríos, montañas, bancos coralinos, escarpes y por algunos cañones submarinos.

6.2.2 Geología regional

El Área Contractual 4 está localizada sobre la provincia petrolera denominada Área de Aguas Someras de las Cuencas del Sureste la cual comprende un porción terrestre y otra marina y se encuentra limitada al Sur por la provincia conocida como Cinturón Plegado de Chiapas, al oeste por la provincia Cuenca de Veracruz, al este por la Plataforma de Yucatán y al norte por la isóbata de 500 m de profundidad.

Dentro del contexto geológico regional, esta provincia se ubica en la Planicie Costera del Golfo de México y la Plataforma Continental (ver Figura 6.2). Se subdivide esta provincia en tres cuencas geológicas:



Fuente: CNH, 2014

Figura 6.2 *Ubicación del Área Contractual 4 dentro del sistema geológico de la provincia conocida como Área de Aguas Someras de las Cuencas del Sureste*

1. *Cuenca Salina del Istmo* – corresponde a la porción que abarca desde el frente de la Sierra de Chiapas en el sur hasta la isobata de 500 m al norte, limitando al oeste con la Cuenca de Veracruz y al este con el Pilar Reforma-Akal.



2. *Pilar Reforma-Akal* – está limitado al oeste por el sistema de fallas Comalcalco y al este por el sistema de fallas Frontera, el alineamiento de diapiros arcillosos Amate-Barrancas y la falla Topén -Nispero; limita al sur con el Cinturón Plegado de la Sierra de Chiapas y al norte con la Plataforma de Yucatán.
3. *Macuspana* – limitada al este-sureste por un sistema de fallas normales que la separa de la Plataforma de Yucatán, destacando la falla Xicalango, al noroeste -oeste por el sistema de fallas Frontera, el alineamiento diapírico de Amate-Barrancas y la falla Topén-Nispero, y al sur por el Cinturón Plegado de Chiapas.

6.2.2.1

Evolución geológica

Según el modelo de apertura del Golfo de México, la provincia petrolera Área de Aguas Someras de las Cuencas del Sureste evolucionó a partir de una etapa de “*rifting*” o margen pasivo que desarrolló altos y bajos de basamento en el Triásico Tardío - Jurásico Medio, pasando después a la etapa de deriva hasta principios del Cretácico Temprano, donde se formaron las plataformas carbonatadas. Durante esta etapa, el Bloque Yucatán junto con el Macizo de la Sierra de Chiapas y la Cuenca de Sureste, se desplazaron rotando en contra de las manecillas del reloj hasta alcanzar su posición actual en el Berriasiano (Buffler y Sawyer, 1989; Salvador, 1987; Pindell *et al.*, 1985, 2002, 2008).

La Orogenia Laramide afectó levemente el sur del área desde finales del Cretácico hasta el Eoceno y estuvo relacionada al desplazamiento del Bloque Chortis hacia el sureste a través del sistema de fallas Motagua-Polochic, ocasionando una deformación compresiva en la secuencia mesozoica y paleógena del Cinturón Plegado de Chiapas, áreas que hoy constituyen el Golfo de Tehuantepec y la Sierra de Chiapas se levantaron causando transporte de sedimentos hacia el norte (Pindell, 2002), la llegada de estos sedimentos y cabalgamientos reactivaron la tectónica salina con la actividad de diapiros y paredes de sal que se emplazaron en o cerca del fondo marino hasta el Mioceno temprano.

Con la continuación del desplazamiento del Bloque Chortis y el establecimiento de la subducción de la Placa de Cocos en el sur-sureste, se originó la Orogenia Chiapaneca durante el Mioceno medio-tardío, la cual produjo mayor deformación del Cinturón Plegado de Chiapas, este acortamiento fue transferido hacia el norte generando un cinturón plegado en la mayor parte del área, con pliegues orientados noroeste-sureste que afectan a las rocas del Jurásico Tardío al Mioceno temprano. El límite oriental de este cinturón plegado lo constituyó una rampa lateral, ubicada en el borde oriental de la actual cuenca de Macuspana, generando transtensión dextral (Pindell *et al.*, 2002).

Para finales del Mioceno medio, la llegada de los aportes sedimentarios provenientes del Batolito de Chiapas y el Cinturón Plegado de Chiapas en la zona de fallamiento



transensional, localizado en el límite con la Plataforma de Yucatán, disparó el inicio del sistema extensional con la formación de la cuenca de Macuspana. Esta fase extensional puede ser la responsable de la formación del Cinturón Plegado de Catemaco y los pliegues del área de Agua Dulce.

Posteriormente, en el Plioceno, se magnifica la tectónica gravitacional hacia el noroeste debido a la carga sedimentaria y a la evacuación de sal, que dio lugar a la formación de la sub-cuenca de Comalcalco y terminó por conformar la cuenca de Macuspana. Este régimen extensivo deformó los plegamientos de Catemaco y produjo la formación de pliegues y fallas orientados noreste-suroeste con inflación de sal y compresión de los diapiros y paredes de sal, como un sistema ligado extensión-contracción en el sector de aguas profundas del sur del Golfo de México (Robles *et al.*, 2009, Cruz *et al.*, 2010).

Estos movimientos tectónicos estructuraron las secuencias del Mioceno y Plioceno, productoras en las Provincias Salina del Istmo, Comalcalco y Macuspana.

Todos estos eventos tectónicos que actuaron en la Provincia Petrolera Sureste en diferentes tiempos y con diferentes direcciones de esfuerzos, generaron estilos estructurales sobrepuestos que conformaron el marco tectónico estructural complejo en el sureste de México y el área marina somera y profunda del sur del Golfo de México (ver Figura 6.3).

6.2.2.2 *Geología Estructural*

A continuación la descripción de las provincias en las cuales se ubica el área del proyecto:

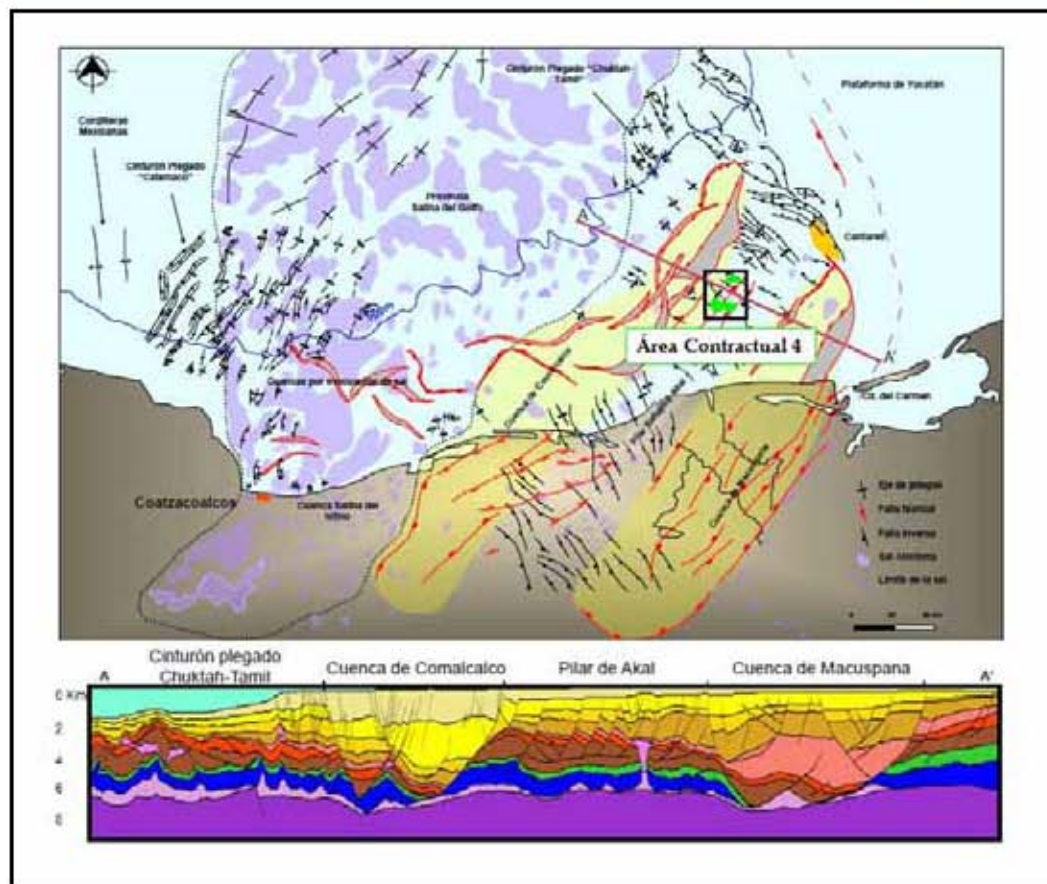
Cuenca Salina del Istmo. Esta provincia incluye en su porción sureste a la sub-cuenca de Comalcalco, por su origen asociada a la carga de sedimentos y evacuación de sal. Estructuralmente se caracteriza por diapiros, paredes, lengüetas y toldos de sal que dieron lugar a la formación de cuencas por evacuación de sal, tales como la de Comalcalco, y minicuenas entre cuerpos salinos. Las rocas mesozoicas y paleógenas están estructuradas ya sea por plegamiento y fallamiento con dirección noreste-suroeste y rumbo hacia el noroeste o por rotación de capas en los pedestales de los diapiros salinos; mientras que en el Terciario se presentan estructuras dómicas asociadas a masas salinas, fallas lítricas con inclinación al noroeste que afectan incluso hasta el Mesozoico y fallas lítricas contra-regionales con inclinación al sureste (PEP, 2013; Oviedo-Pérez, 1998; Gómez-Cabrera, 2003; Robles-Nolasco *et al.*, 2004; Soto-Cuervo *et al.*, 2004; Cruz *et al.*, 2010).

Pilar Reforma-Akal. En el ámbito de esta provincia existen estilos estructurales sobrepuestos: el primero se caracteriza por un estilo de bloques rotados y afallados y salt rollers de edad Jurásico Tardío - Cretácico Temprano y se localiza en el borde oriental marino del pilar; el segundo está relacionado a compresión de la cubierta sedimentaria de edad Mioceno medio-tardío y se expresa como una cobijadura en el



Alto de Jalpa; el tercero y más importante está representado por pliegues y cabalgaduras orientados noroeste-sureste con vergencia al noreste de edad Mioceno medio-tardío, que despegan en horizontes arcillosos y evaporíticos del Oxfordiano y Calloviano, que afectan rocas mesozoicas, del Paleógeno y del Mioceno temprano-medio; y el último identificado en el Neógeno, corresponde a un estilo de fallas listricas con caída al noroeste, que despegan en el límite Oligoceno-Mioceno (PEP, 2013; Ángeles-Aquino *et al.*, 1994; Aquino *et al.*, 2003; González *et al.*, 2004; Martínez-Kemp *et al.*, 2005^a; Cruz *et al.*, 2010).

Macuspana: Esta sub-provincia se caracteriza por fallas listricas del Mioceno-Plioceno temprano de orientación noreste-suroeste e inclinación al noroeste con anticlinales rollover asociados a la evacuación de arcillas del Oligoceno, en la porción marina estas fallas rompen y desplazan al noroeste las rocas del Mesozoico a manera de un sistema de raft poniendo en contacto la sal jurásica con sedimentos del Oligoceno. Hacia su borde occidental ocurren fallas listricas del Plioceno tardío-Pleistoceno con orientación noreste-suroeste e inclinación hacia el sureste y anticlinales elongados y apretados del Plio-Pleistoceno asociados a la inversión de las fallas listricas del Mioceno (Cruz *et al.*, 2010).

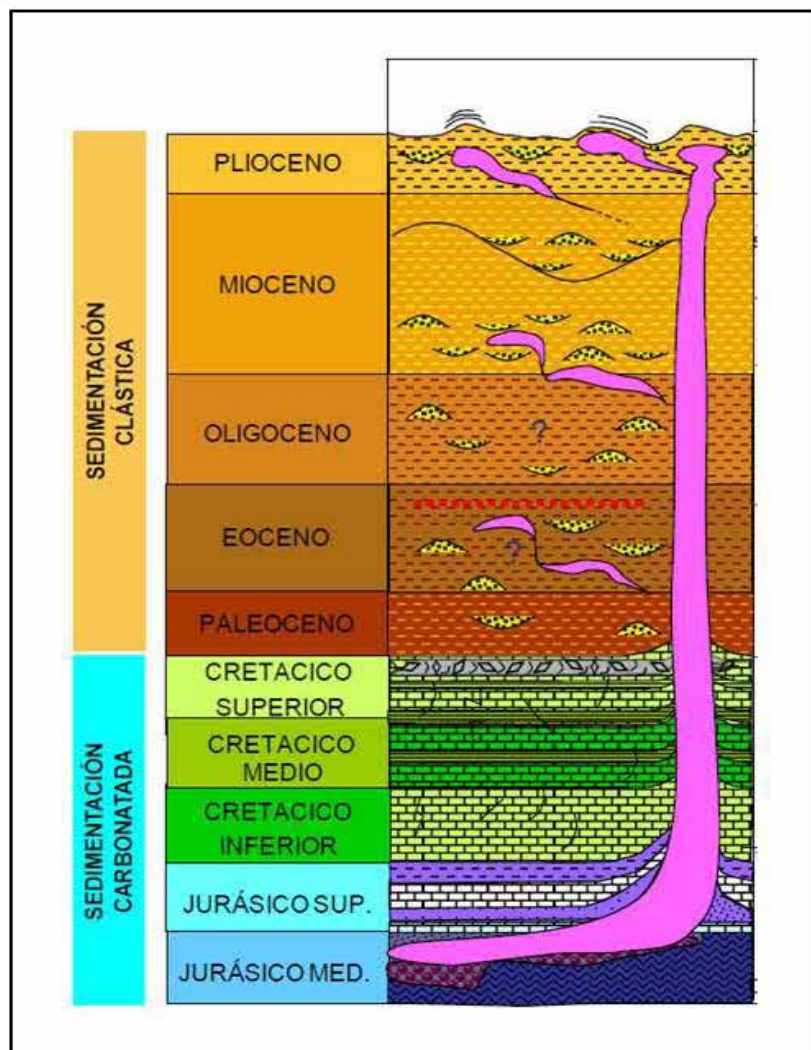


Fuente: CNH, 2014

Figura 6.3 *Geología estructural regional de la provincia conocida como Área de Aguas Someras de las Cuencas del Sureste*

6.2.2.3 *Columna Estratigráfica General*

La columna estratigráfica de la zona comprende un espesor de sedimentos de 4 000 a más de 10 000 metros que van en edad desde el Jurásico Medio hasta el Reciente (ver Figura 6.4).



Fuente: CNH, 2014

Figura 6.4 Columna estratigráfica regional de la provincia conocida como Área de Aguas Someras de las Cuencas del Sureste

Jurásico Medio: está caracterizado por el depósito de sal asociado a la apertura del Golfo de México. Durante el Calloviano y al inicio del Oxfordiano, las condiciones marinas se extendieron paulatinamente a través de la cuenca.

Los sedimentos del Oxfordiano están dominados por depósitos de carbonatos (mudstone y facies subordinadas de bancos arrecifales carbonatados) y clásticos de tipo arenas de estuario o deltaicas y lutitas. Los arrecifes marinos someros y bancos oolíticos son considerados los principales constructores de carbonatos, se encuentran a lo largo del borde de la plataforma marina poco profunda. Las zona Oeste y Norte están denominadas por carbonatos de aguas más profundas. Se observa un cambio de facies con progradación general de los carbonatos y evaporitas debido a la tendencia eusática regresiva hace 155.8 Ma. Esto condujo a un desarrollo de facies anhidriticas.



Kimmeridgiano: estos sedimentos están representados por importantes espesores de terrígenos que, en algunos lugares de la cuenca gradúan a carbonatados de bancos oolíticos parcialmente dolomitizados hacia la cima de la formación.

Una superficie transgresiva alrededor de 150.5 Ma causa la rápida inundación de las evaporitas del Oxfordiano Superior. Las zonas más proximales fueron ocupadas durante todo el ciclo de depósito por una rampa interna donde se producen y se depositan los arrecifes y grainstones, bajo un marco de agua somera de alta energía. Estas facies son consideradas como los principales plays almacén de la sucesión del Kimmeridgiano. La parte occidental, está ocupada por carbonatos arcillosos, a veces dolomitizados, depositados en un ambiente de mar abierto en aguas relativamente profundas. Al final del Kimmeridgiano, la parte más oriental, está representada por heterolíticos de laguna.

Tithoniano: ocurrió la máxima transgresión marina, relacionada con los eventos anóxicos del Jurásico Superior registrados a nivel mundial hace 148 Ma aproximadamente. Se depositó una mezcla de terrígenos finos y carbonatados laminados, ricos en materia orgánica en ambientes de cuenca profunda con una sedimentación hemipelágica fina. También se define la presencia de posibles turbiditas calcáreas, originadas por mezclas de material calcáreo fino intercalado con lutitas.

Cretácico: es una secuencia sedimentaria de plataforma, con litofacies de carbonatos y carbonatos arcillosos dolomitizados, con pedernal e intercalaciones de horizontes bentoníticos. Para finales del Cretácico se registra un crecimiento de la plataforma carbonatada y el depósito de brechas y flujos turbidíticos en el talud continental de la Sonda de Campeche, cuyas litofacies predominantes son dolomías, calizas arcillosas de grano fino (mudstone, wackstone) y brechas dolomitizadas que aparecen con el cambio en el sistema a sedimentación clástica.

Cenozoico: el cambio de régimen tectónico de la cuenca, de margen pasiva a cuenca "foreland" origina un cambio notable en la sedimentación representado por el contraste litológico entre los carbonatos del Cretácico y la potente columna de terrígenos del Terciario, que alcanza más de 7 000 m de espesor en la cuenca de Macuspana. El Cenozoico corresponde a una sedimentación en su mayoría siliciclástica de ambientes marinos profundos; estos terrígenos rellenaron las cuencas, principalmente lutitas con algunas intercalaciones de arenas, lóbulos deltaicos o turbidíticos.

Paleoceno: la unidad Paleoceno es una sucesión de lutitas y mudstone carbonatado de cuenca con clásticos y turbiditas calcáreas. Las partes norte y suroeste presentan un depósito de lutitas donde a nivel local están intercaladas algunas turbiditas carbonatadas cuyas fuentes provienen de los bordes este y oeste. La zona sur muestra más abanicos de clastos turbidíticos.



El espesor varía desde los 285 m de la zona litoral hasta más de 3 500 m en la zona de sedimentación confinada de la Cuenca Salina del Golfo.

Eoceno: como la secuencia del Paleoceno, la secuencia del Eoceno se caracteriza por un depósito profundo de lutitas con la intercalación de abanicos turbidíticos orientados principalmente norte-sur. La sucesión del Eoceno es un intervalo de lutitas, que contiene a nivel local algunos abanicos turbidíticos clásticos ubicados principalmente en las áreas de Tabascoob-Holok, Yaxché-Xanab y al sur de la zona Chuktah. Estos abanicos turbidíticos provienen de los bordes sur y oeste de la zona de estudio.

Mioceno-Plioceno: durante el Mioceno y Plioceno dominan los depósitos de lutitas de ambiente de cuenca profunda, depósitos arenosos discontinuos de tipo abanico de piso de cuenca o abanicos de pie de talud, los cuales se encuentran concentrados preferencialmente en los bordes sur y suroeste del área donde se ubica la zona de talud. Los espesores mayormente arcillosos son variables, entre 360 m y 2 200 m.

6.2.3 *Geología y geomorfología local*

El Área Contractual 4 se ubica sobre el Pilar Reforma-Akal, el corresponde a un alto estructural relativo del Jurásico y Cretácico, con eje de rumbo NNE-SSO, ubicado entre la Cuenca de Macuspana al sureste y la Cuenca del Comalcalco al noroeste. Su deformación estructural surge como el resultado de un pulso compresivo durante la Orogenia Chiapaneca en el Mioceno Medio-Superior. Durante este evento se desarrollaron pliegues, sobre-corrimientos con despegue en la sal autóctona, y emplazamientos someros de sal a través de fallas inversas.

La dirección de la deformación principal es SSO-NNE creando pliegues con direcciones preferenciales NO-SE; sin embargo, la disposición de algunos lineamientos estructurales pudieran representar vectores de deformación radiales desde el sur. Existen varios niveles dentro de la columna sedimentaria que funcionaron como superficies de despegue. Además del despegue principal constituido por la sal autóctona, también están los emplazamientos alóctonos de sal dentro de la columna paleógena y los cuerpos arcillosos en este mismo intervalo estratigráfico.

6.2.3.1 *Sedimentos del Fondo Marino*

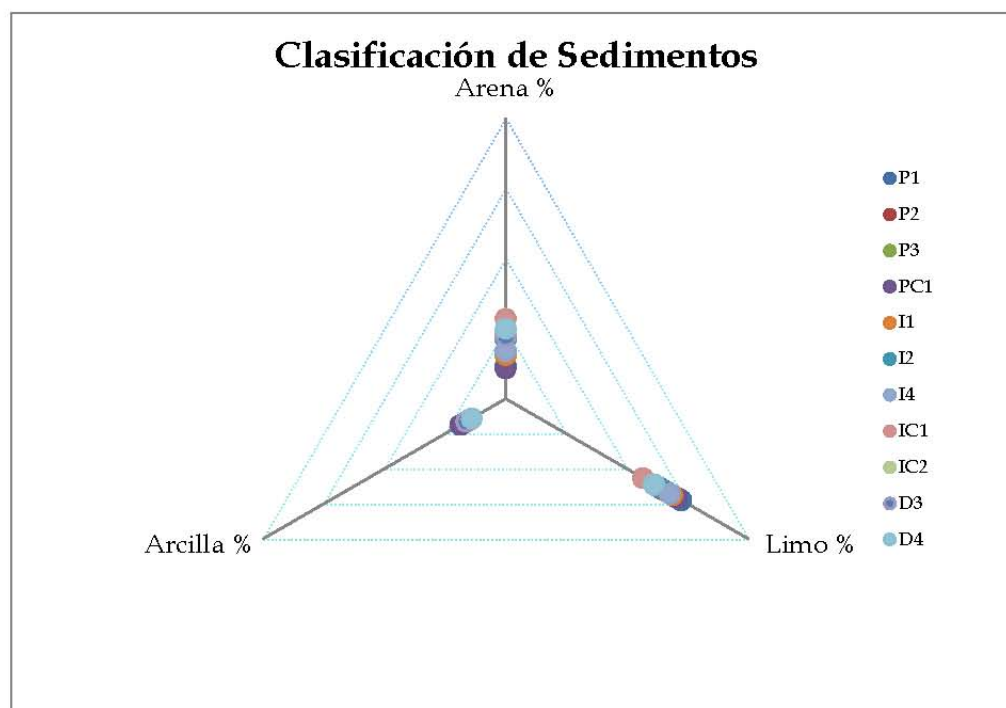
La superficie de la planicie costera presenta ondulaciones de baja amplitud, que corresponden a remanentes de antiguos “cerros de playa”. Estos cerros se encuentran mejor desarrollados cerca de la fuente de sedimentos y reflejan periodos activos de abundante aporte de sedimentos. Los procesos costeros y la particularidad de los sedimentos de esta zona reflejan la variedad de procesos de



sedimentación activos a lo largo de la costa y la transición existente entre los sedimentos carbonatados de la plataforma de Yucatán y los sedimentos deltáicos de los ríos Grijalva-Usumacinta. En general los sedimentos terciarios y cuaternarios en el extremo sureste de la cuenca, son lutitas interestratificados con areniscas, arenas, grava, calizas y margas. Existen muchos cambios de facies tanto lateral como verticalmente dentro de la secuencia; hacia el oriente de la zona de transición y hacia la parte central de la cuenca, los sedimentos miocénicos carbonatados de la Plataforma de Yucatán se presentan acuñados discordantemente sobre sedimentos del Eoceno y del Oligoceno.

Los sedimentos deltáicos de la plataforma continental frente a la franja costera del límite entre Tabasco y Campeche, se caracterizan por su rápida acumulación, por estar compuestos principalmente de material aluvial rico en materia orgánica limo-arcillosa, arenas cuarzosas de grano fino a medio, y por su bajo contenido de conchas, sobre todo en la región occidental (Yáñez-Correa, 1971).

En particular para el Área Contractual 4, los resultados de granulometría de las muestras recolectadas durante la campaña de campo definen que el tamaño de las partículas dominante en la matriz de las muestras corresponde a el limo (65.04%), en segundo lugar la arena (18.54%) y en tercer lugar partículas de tamaño dentro de la clasificación de arcillas (16.42%); por lo tanto, la clasificación general de los sedimentos del Área Contractual 4 puede establecerse como un limo arenoso. Sin embargo, al realizar el análisis por bloque, la clasificación varía en limo arcilloso para el bloque Pokoch (limo = 68.57%, arcilla = 17.80%, arena = 13.64%), mientras que para el bloque Ichalkil se mantiene la clasificación general de limo arenoso (limo = 63.43%, arena = 21.41%, arcilla = 15.16%), tal como se observa en la Gráfica 6.1.



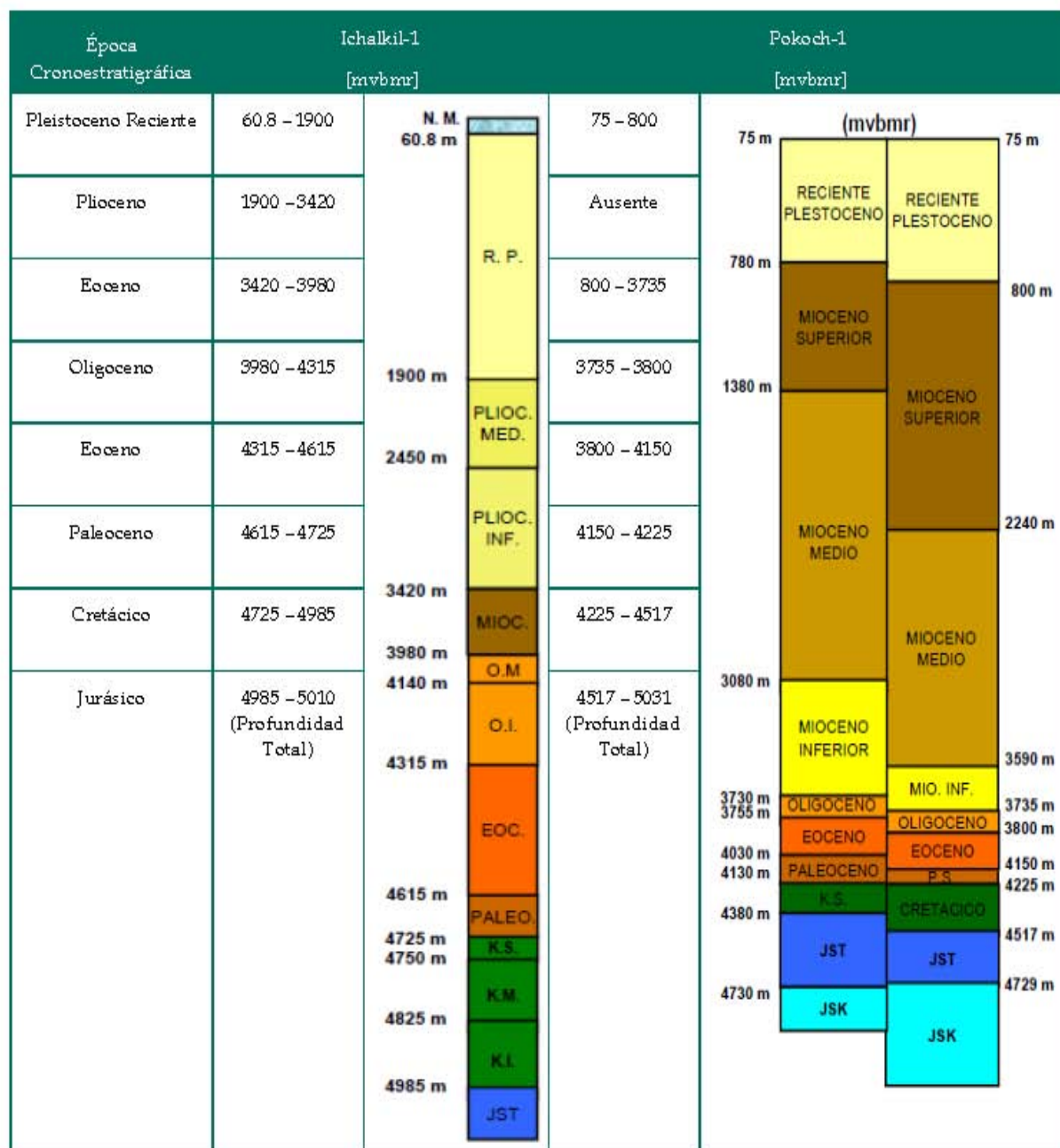


Gráfica 6.1 Clasificación de sedimentos en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4

6.2.3.2 Columna estratigráfica local

Con base en la información disponible, se construyó la columna estratigráfica a partir de los datos de perforación de dos pozos dentro del Área Contractual 4: el Pozo Ichalkil-1 (2005) y Pokoch-1 (2004). Durante la perforación de estos pozos, se encontraron los siguientes horizontes estratigráficos en el intervalo de profundidad señalados en la Tabla 6.2 en Metros Verticales Bajo Mesa Rotatoria (mvbmr).

Tabla 6.2 Columna estratigráfica local



Fuente: Pemex Exploración y Producción, 2005



6.2.4 *Clima y meteorología*

6.2.4.1 *Clima*

En la costa mexicana del Golfo de México, la estacionalidad climática-meteorológica se caracteriza por un periodo de secas de febrero a mayo, uno de lluvias de verano de junio a octubre con presencia de depresiones tropicales y uno de frentes fríos anticiclónicos (nortes) de octubre a febrero (Wiseman y Sturges, 1999) (ver Gráfica 6.2).

Estos tres periodos son constantes pero se traslapan de manera relativa, y su intensidad varía por efectos del cambio climático global.

El clima dominante en la porción terrestre del Área Contractual 4 es de tipo Aw2 (x'), caliente subhúmedo con lluvias en verano; presentando una temperatura media anual mayor a los 22°C y la temperatura del mes más frío es mayor a los 18°C. La precipitación del mes más seco en esta zona oscila entre cero y 60 mm y el porcentaje de lluvia invernal es superior al 10.2% del total anual (E. García-CONABIO, 1998).

Las dos estaciones meteorológicas más cercanas al Proyecto son la No. 27016 "Frontera-A. Obregón", ubicada cerca de la ciudad de Frontera en Tabasco, y la otra es la No. 4007 "El Carmen", en Cd. del Carmen, Campeche. La más cercana de ambas al Proyecto es la estación cercana a Frontera, y considerando que tiene los mismos años de datos, se tomó esta estación meteorológica como base para careacterizar el clima en el área del Proyecto.



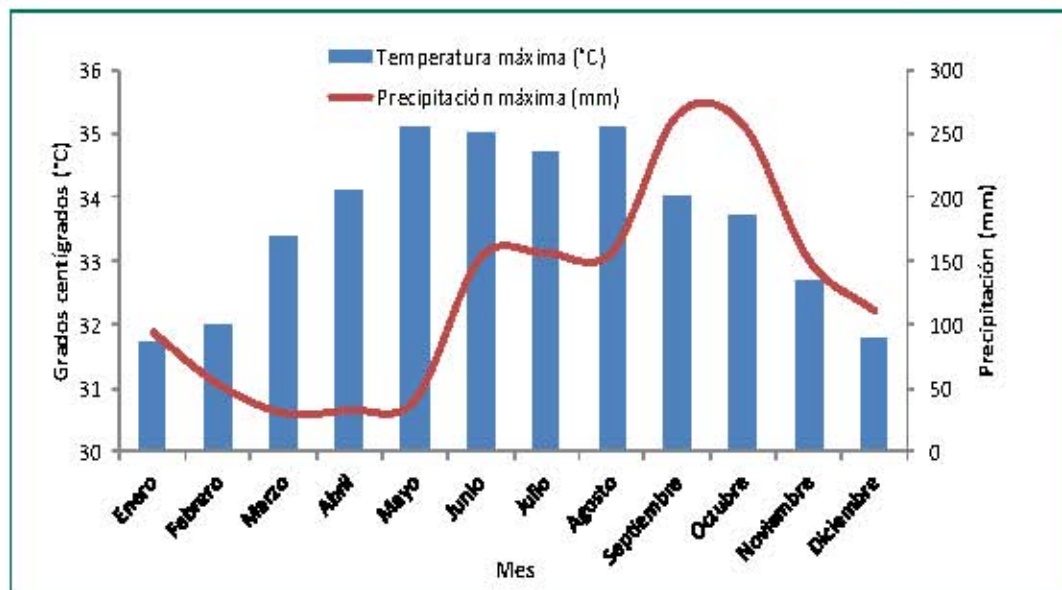
El promedio de la temperatura anual registrada para Tabasco en la estación meteorológica Frontera - A. Obregón (Lat. 13°32'01" N, Long. 92°28'02" W), en el periodo comprendido entre 1951-2010, presenta un valor de 27°C mientras que la máxima promedio es de 33.6 °C (ver Tabla 6.3) (CONAGUA-SMN, 2010).

Tabla 6.3 *Temperatura máxima, estación meteorológica Frontera - A. Obregón*

Temperatura máxima mensual en el periodo comprendido entre 1951-2010					
Mes	Normal	Máxima mensual	Año de máxima	Máxima diaria	Años con datos
Enero	31.7	39.7	1972	43.0	24
Febrero	32.0	40.9	1971	45.0	26
Marzo	33.4	43.6	1971	49.0	26
Abril	34.1	42.2	1972	45.0	25
Mayo	35.1	42.5	1971	46.0	25
Junio	35.0	43.1	1971	46.0	25
Julio	34.7	39.7	1972	47.0	25
Agosto	35.1	39.5	1973	48.0	25
Septiembre	34.0	39.5	1973	43.0	25
Octubre	33.7	39.5	1973	44.0	24
Noviembre	32.7	42.0	1971	45.0	22
Diciembre	31.8	38.7	1974	41.0	24
Anual	33.6	33.6			

Fuente: CONAGUA, 2010.

Como puede observarse en la Gráfica 6.2, los meses de mayor temperatura en la zona cercana a Frontera son de mayo a agosto, mientras que la precipitación aumenta a partir de junio y tiene su pico más alto en el mes de octubre, disminuyendo de noviembre a mayo. La temporada más seca del año es de marzo a mayo, con temperaturas superiores a los 33°C y precipitación por debajo de los 100 mm.

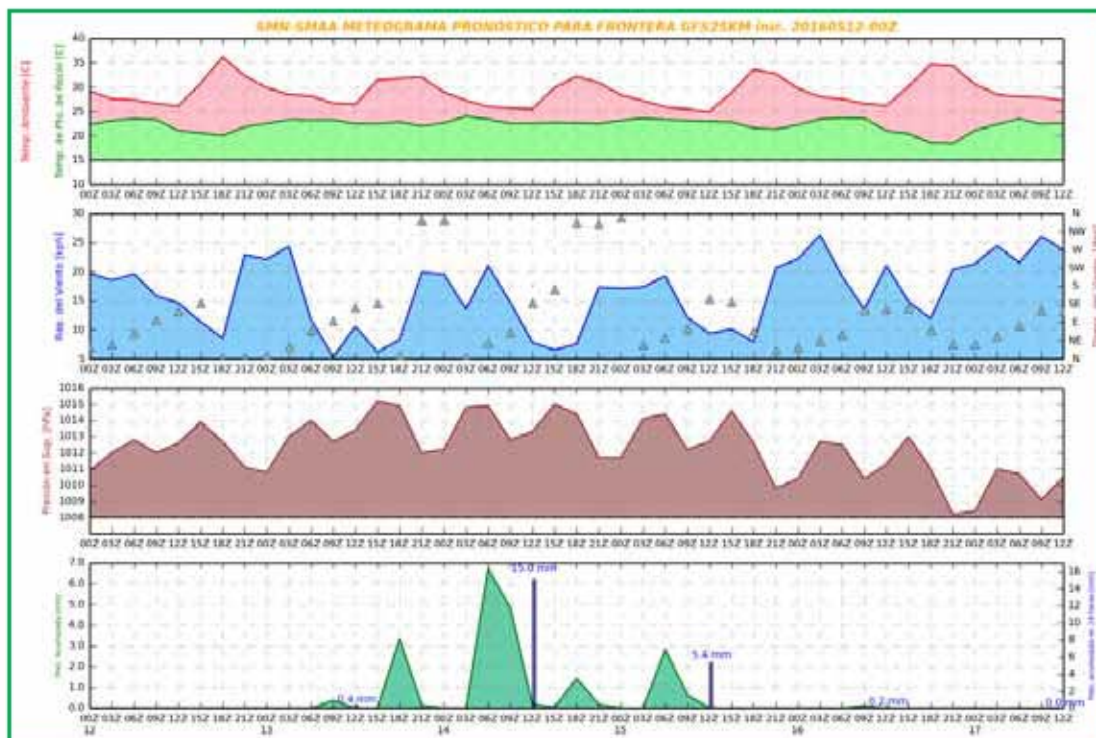


Fuente: CONAGUA, 2010

Gráfica 6.2 Climograma del periodo 1951-2010. Estación meteorológica Frontera-A. Obregón



Asimismo, en la Figura 6.5 se presenta un meteograma con los parámetros más comunes: precipitación, precipitación acumulada, punto de rocío, temperatura del ambiente, presión atmosférica y radiación solar para la ciudad de Frontera, Tabasco, que es la más cercana al Proyecto. Estos parámetros se muestran dentro de un lapso de 5 días. La Figura 6.6 muestra la presión atmosférica contra la humedad relativa en la misma zona, mostrando cómo en un periodo de 5 días hubo eventos de precipitación y humedad por arriba del 80%, disminuyendo al final del periodo evaluado y cesando así las lluvias.



Fuente: SMDN, 2015

Figura 6.5 *Meteograma de Frontera*

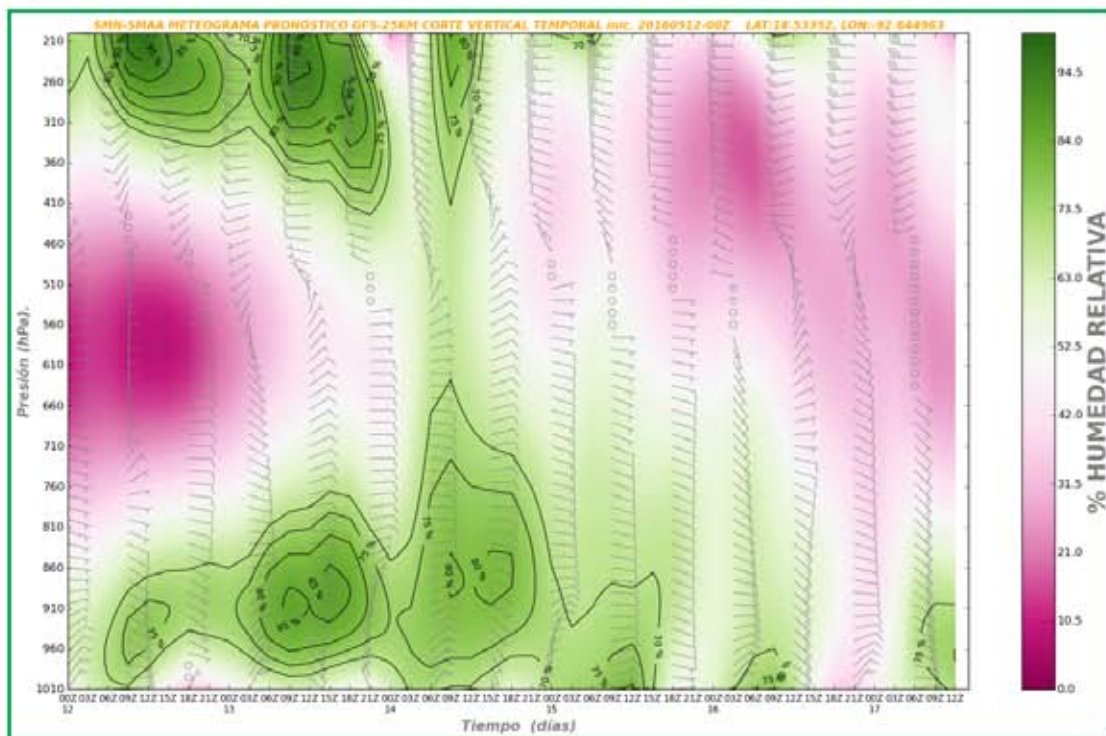


Figura 6.6 *Meteorograma de humedad relativa contra presión atmosférica*

6.2.4.2 *Temperatura media anual y mensual*

Como se mencionó en el punto anterior, la temperatura media anual en la estación meteorológica en cita es de 27°C. En promedio, la temperatura media mensual osciló entre los 25 y los 28 °C en el periodo de estudio (1950-2010) (ver Tabla 6.4).

Asimismo, los valores de temperatura superficial del océano (TSO) registrados mensualmente para la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México de 1955 a 2006 reflejan una temporalidad estacional en los datos⁶. La temperatura superficial del océano varió entre los 21 °C (valor mínimo registrado en febrero) hasta los 27 °C (valor máximo registrado en agosto). Con los intervalos de variación mensual de TSO a lo largo del año; se identificó una temporada fría en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo (invierno) donde se registran valores desde los 24°C hasta los 26°C (ver Gráfica 6.3).

La disminución de temperatura registrada en esta temporada podría estar influenciada por la temporada de Nortes. Cabe resaltar que durante estos meses existe un gradiente de temperaturas más marcado entre la zona Este y Oeste del

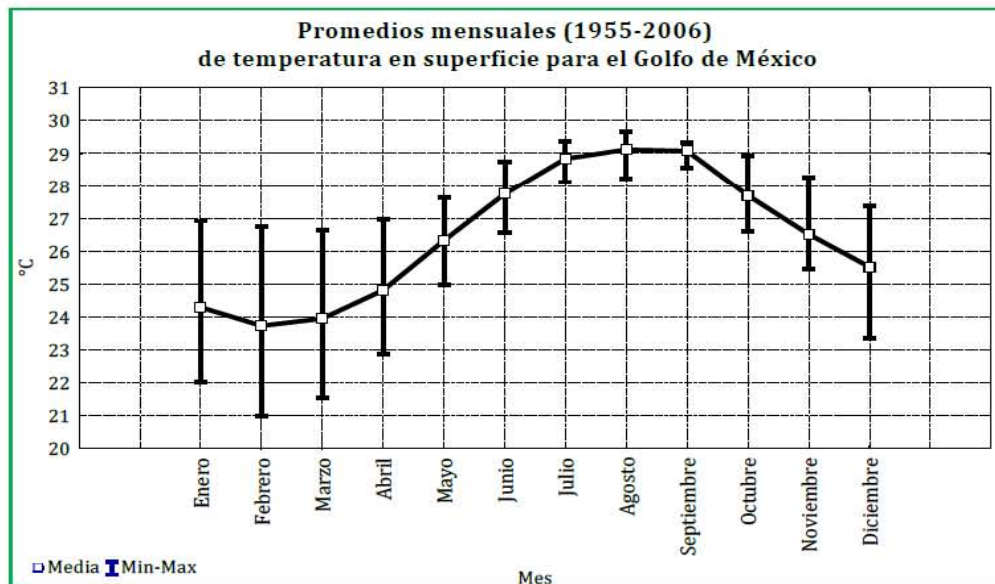
⁶ La mayor parte de la información disponible para la elaboración de este estudio, corresponde a la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México



Golfo de México, donde la región Oeste presenta valores alrededor de 4°C menores que la región Este (ver Figura 6.7, Figura 6.8 y Figura 6.9).

Tabla 6.4 *Temperatura media mensual y anual (periodo 1951-2010) Estación meteorológica Frontera- A. Obregón*

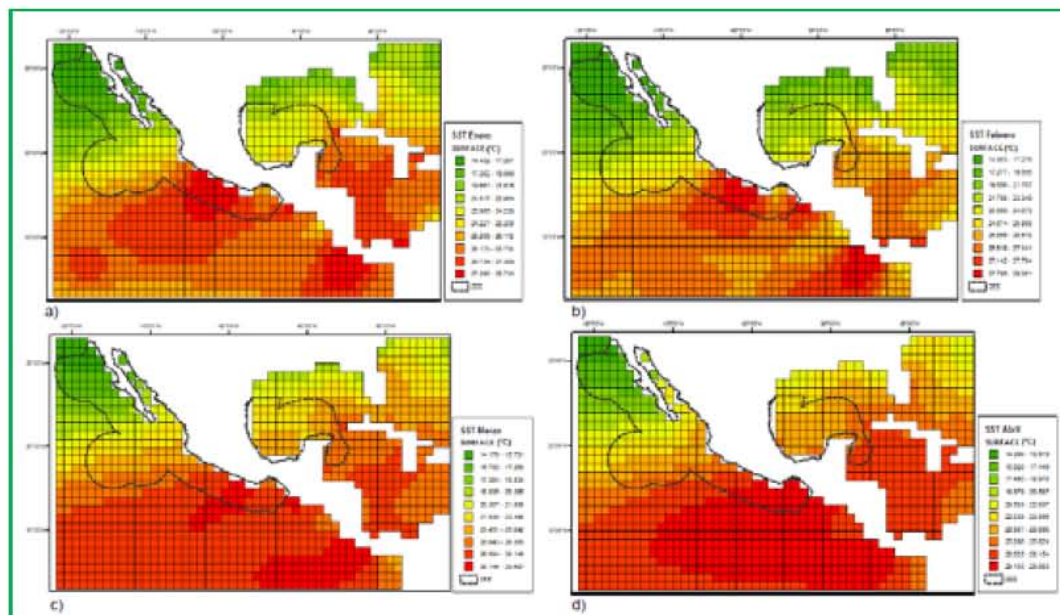
Mes	Normal	Mes	Normal
Enero	25.5	Julio	28.4
Febrero	25.1	Agosto	28.3
Marzo	26.6	Septiembre	27.6
Abril	27.1	Octubre	27.3
Mayo	27.8	Noviembre	26.9
Junio	28.1	Diciembre	25.6
Promedio			27.0



Nota: las barras representan los valores mínimos y máximos.

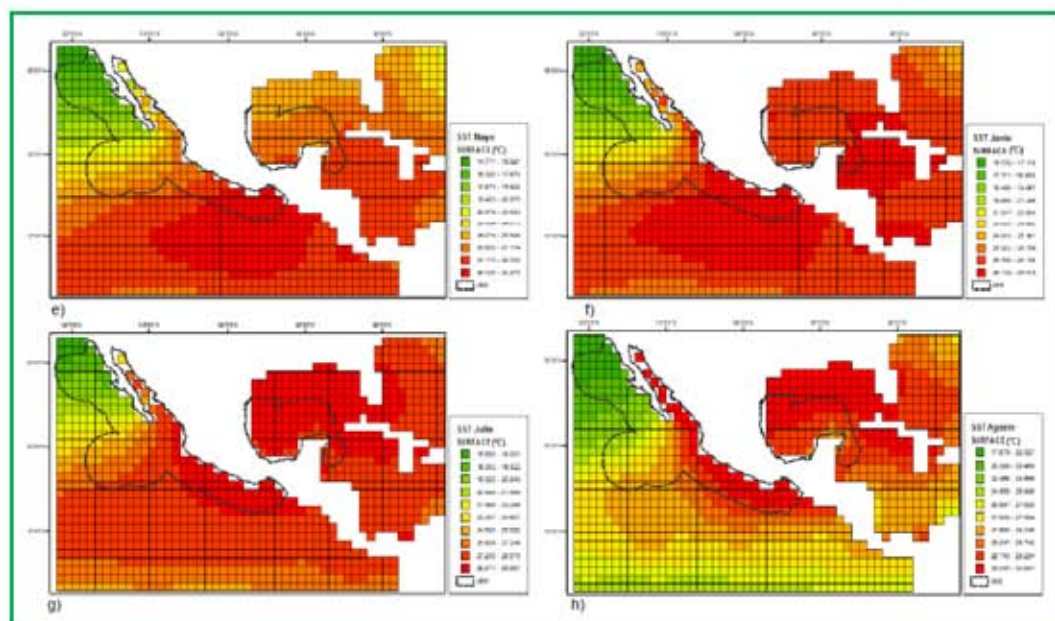
Fuente: De la Lanza Espino y Gómez-Rojas, 2004

Gráfica 6.3 Variación mensual del promedio de temperatura superficial del océano (°C)



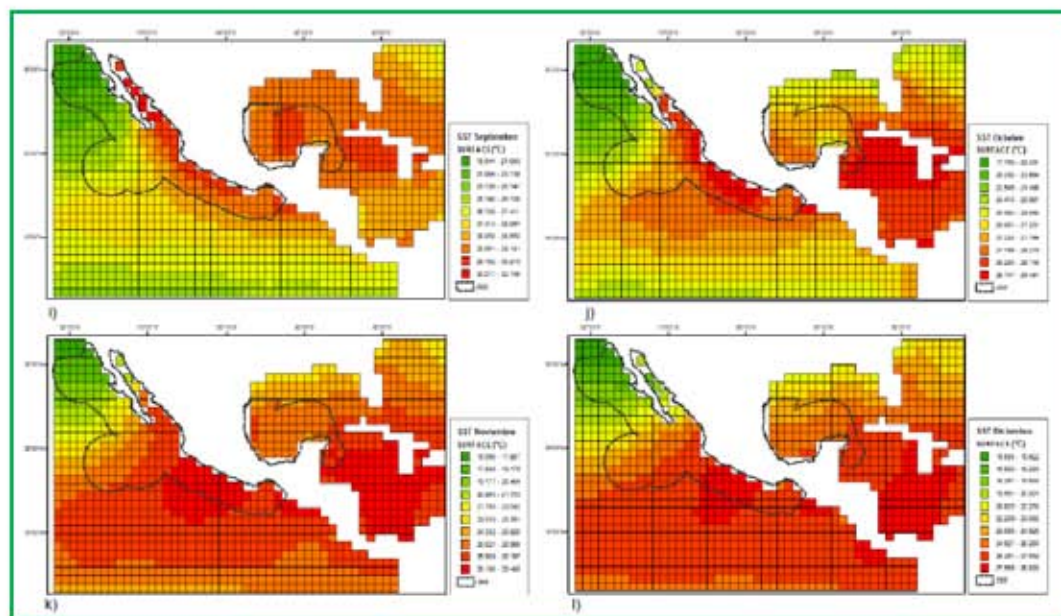
Fuente: De la Lanza Espino y Gómez-Rojas, 2004

Figura 6.7 Temperatura superficial (°C): a) enero, b) febrero, c) marzo, d) abril



Fuente: De la Lanza Espino y Gómez-Rojas, 2004

Figura 6.8 Temperatura superficial (°C): e) mayo, f) junio, g) julio, h) agosto



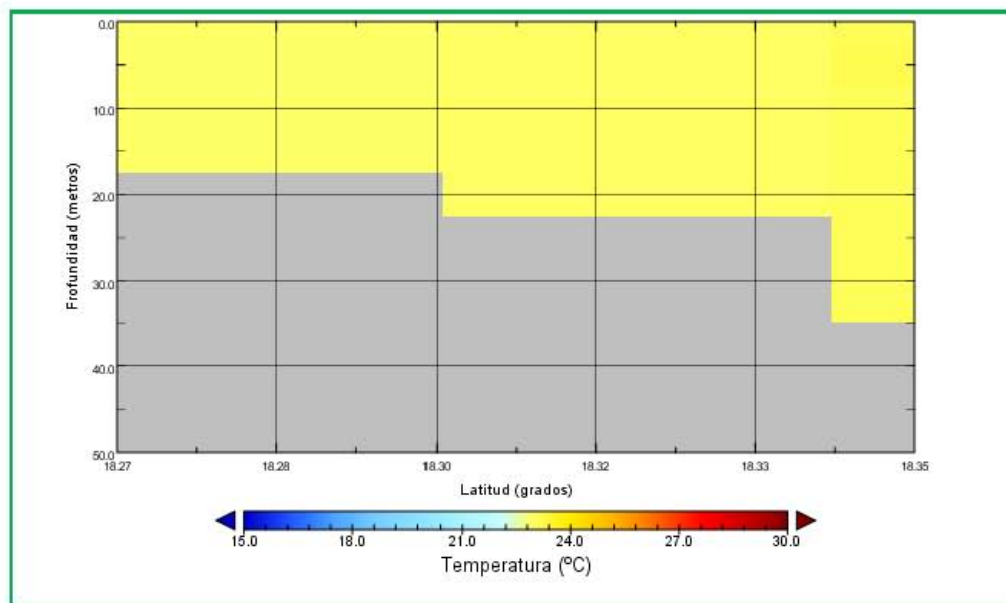
Fuente: De la Lanza Espino y Gómez-Rojas, 2004

Figura 6.9 Temperatura superficial (°C) i) septiembre, j) octubre, k) noviembre, l) diciembre.

Por tanto, de manera general la temperatura del agua se caracteriza por presentar temperaturas de entre 28 °C y 29 °C en verano con incrementos de noroeste a sureste en las aguas superficiales. Por otro lado, en invierno durante la temporada de nortes, la temperatura del agua superficial disminuye hasta los 18 °C y 19 °C debido a los



vientos provenientes del norte, los cuales ponen resistencia a las aguas cálidas provenientes del sureste (De la lanza y Gómez, 2005). En la Figura 6.10 se presenta un ejemplo de perfil térmico (1 de enero del 2014) generada del modelo HYCOM para el área en donde se ubica el Área Contractual 4.



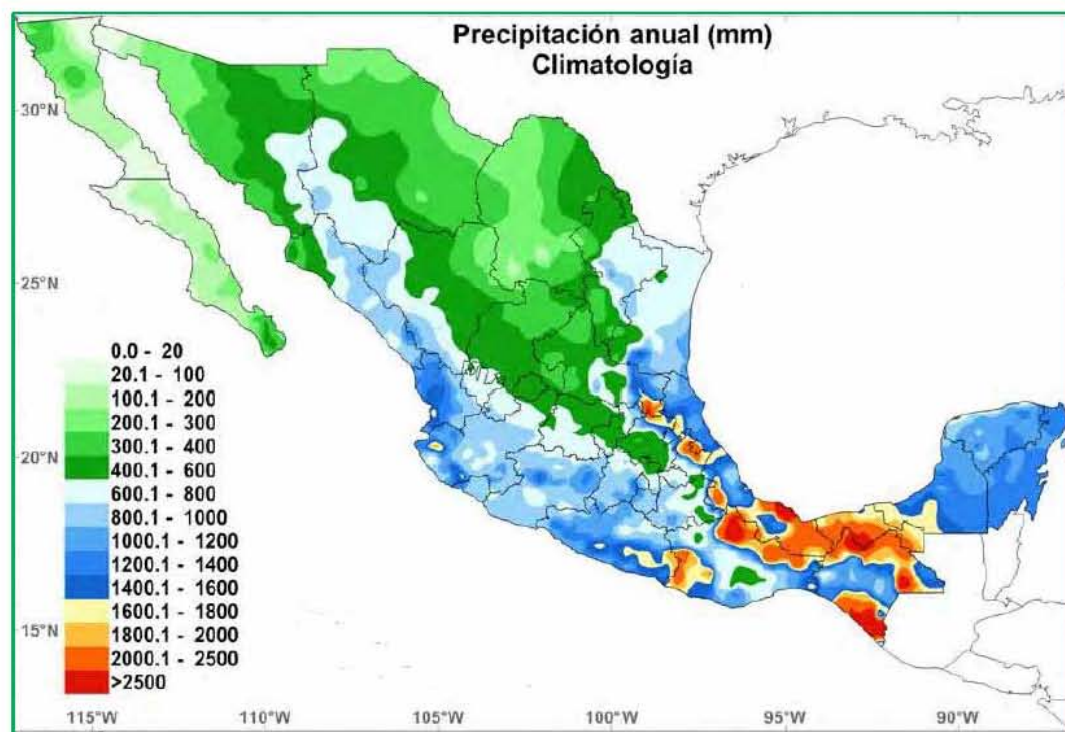
Fuente: Ajustado de HYCOM, 2016

Figura 6.10 Ejemplo de perfil térmico para el Área Contractual 4 generado del modelo HYCOM

De acuerdo con los resultados obtenidos durante la campaña de muestreo de línea base, se pudo observar que el rango de temperatura fue de 23.0 a 24.1 °C, estando por tanto, arriba del promedio acostumbrado para esta época del año.

6.2.4.3 Precipitación media anual y mensual

La precipitación promedio anual en las costas de Tabasco, cercano al poblado de Frontera y casi en los límites con Campeche oscila entre los 1 600 y 1 800 mm (ver Figura 6.11; CONAGUA, 2014). Según la estación meteorológica Frontera-A. Obregón, la precipitación total anual acumulada en la zona fue de 1 493.5 mm (ver Tabla 6.5; CONAGUA-SMN, 2010).



Fuente: CONAGUA, 2014.

Figura 6.11 Precipitación anual promedio (mm) durante el 2014 a nivel nacional

Tabla 6.5 Valores de precipitación media anual y mensual estación meteorológica Frontera-A. Obregón

Valores de precipitación media anual y mensual correspondientes al periodo comprendido entre 1951-2010					
	Normal	Máxima mensual	Año de máxima	Máxima diaria	Años con datos
Enero	93.8	259.6	1963	135.0	24
Febrero	52.6	188.0	1977	72.0	26
Marzo	30.0	107.0	1963	64.0	26
Abril	32.2	181.5	1962	61.0	25
Mayo	40.3	209.4	1954	102.0	25
Junio	152.2	358.0	1974	125.0	25
Julio	155.7	332.0	1978	150.0	25
Agosto	156.5	415.0	1971	160.0	25
Septiembre	264.5	774.0	1963	240.0	25
Octubre	256.8	483.0	1976	180.0	24
Noviembre	150.5	438.0	1969	130.0	22
Diciembre	110.4	329.0	1953	195.0	24
Anual	1,493.5				

Fuente: Tomado de CONAGUA, 2010



6.2.4.4

Humedad relativa

De forma regional se muestra en la Figura 6.12 la humedad relativa de México con datos del periodo de 1941-1970, en la cual se distinguen 3 tipos de humedad: 1) tipo húmedo, con valores superiores al 70%; 2) tipo medio, con valores entre 65 y 70%; 3) tipo seco, con valores inferiores al 65% (Capel-Molina, 1980). En lo que respecta al estado de Veracruz, los valores máximos de humedad relativa se presentan en primavera, mientras que los valores mínimos se observan en otoño (75% en octubre) (Capel-Molina, 1980).

En un contexto más local, sobre el Área Contractual 4, se reporta una humedad relativa promedio entre 70% y 80%. De acuerdo con datos de CONAGUA (ver **Tabla 6.6**), la humedad relativa en la zona varía entre 72 y 81% entre los años 1981 y 2000.

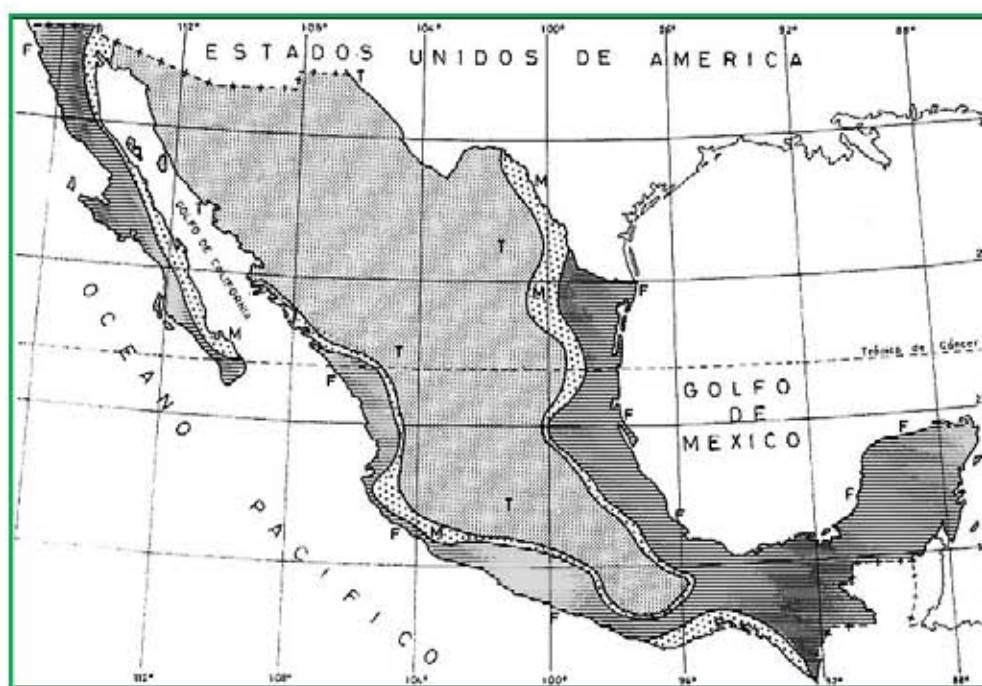
Tabla 6.6 *Promedios mensuales climatológicos*

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
	<p> Latitud N. 18°32'01" Longitud W. 92°38'02" Altitud 2.0 msnm </p> <p> Normales climatológicas Frontera, Tabasco Periodo 1951-2000 </p> <p> Observatorio sinóptico Dependencia: SMN-CNA </p>												
Temperatura													
Promedio de máxima	31.7	32.0	33.4	34.1	35.1	35.0	34.7	35.1	34.0	33.7	32.7	31.8	33.6
Media	25.5	25.1	26.6	27.1	27.8	28.1	28.4	28.3	27.6	27.3	26.9	25.6	27.0
Promedio de mínima	19.3	18.3	19.7	20.1	20.5	21.2	21.8	21.3	21.0	20.9	20.9	19.4	20.4
Mínima extrema	11.0	10.0	10.0	10.0	11.0	11.0	14.0	14.0	12.0	11.0	13.0	3.5	
Precipitación													
Media mensual	93.8	52.6	30.0	30.2	40.3	152.2	155.7	156.5	264.5	256.8	150.5	110.4	1,493.5
Máxima mensual	299.6	188.0	107.0	181.5	209.4	358.0	332.0	415.0	774.0	483.0	438.0	329.0	
Máxima diaria	135.0	72.0	64.0	61.0	102.0	125.0	15.0	160.0	240.0	180.0	130.0	195.0	
Año de máxima	2007	1960	1960	1960	1960	1960	1975	2008	2008	2007	2007	2007	
Número de días con lluvia	9.1	7.0	3.9	3.4	3.6	12.3	14.0	14.2	16.6	15.9	11.4	9.6	121.0



Años con datos	24	26	26	25	25	25	25	25	25	24	22	24	
Fenómenos especiales													
Granizo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Niebla	0.7	0.4	0.8	0.0	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0	0.4	0.7	3.9
Tormenta eléctrica	0.3	0.1	0.3	0.6	0.4	2.2	2.9	2.6	1.9	0.7	0.4	0.2	12.6
Unidades: Temperatura (°C), humedad relativa (%), precipitación y evaporación (mm), presión (mb), viento m/s) y fenómenos especiales (días)													

Fuente: SMN-CONAGUA, 2016



Fuente: Tomado de Capel-Molina, 1980

Figura 6.12 División de México, según los valores anuales de la humedad relativa. Periodo: 1941-1970. Se distinguen 3 tipos: 1) tipo húmedo (F), con valores superiores al 70%; 2) tipo medio (M), con valores entre 65 y 70%; 3) tipo seco (T), con valores inferiores al 65%

Los valores máximos de humedad relativa en Tabasco se presentan durante la estación de primavera, mientras que los valores mínimos se reportan en otoño. En la Figura 6.13 se muestra la humedad relativa de las últimas 24 horas y de los últimos 7 días en el área del proyecto.



Nota: La figura superior muestra los valores de humedad relativa en los últimos 7 días, mientras que la inferior durante las últimas 24 horas

Figura 6.13 *Valores de humedad relativa en la estación meteorológica automática "Pantanos de Centla", Tabasco*



6.2.4.5

Evaporación media anual

En la estación Frontera-A. Obregón no hay datos suficientes de evaporación total (mm). Por lo tanto, para este parámetro se tomaron datos de la estación No. 4007 "El Carmen" (Latitud: 18°39'12" N; Longitud: 91° 45' 39" O), que se encuentra aproximadamente a 80 km al sureste del Área Contractual 4.

El valor máximo de la evaporación media mensual registrada en esta estación meteorológica (Ciudad del Carmen, Campeche) en el periodo comprendido entre 1986-2007, se presentó durante los meses de mayo y junio, y el valor mínimo durante los meses de diciembre y enero (ver Tabla 6.7 y



Tabla 6.8). Asimismo, la evaporación media total durante el mismo periodo fue de 139.8 mm y el acumulado de evaporación total fue de 1 647.6 mm.

Tabla 6.7 *Evaporación mensual registrada para el estado de Campeche en el periodo comprendido entre 1986 y 2007 según la estación meteorológica El Carmen*

Mes	Año Inicio	Año Fin	No. Años	Valor Máximo (mm)	Valor Mínimo (mm)	Valor Medio (mm)
Enero	1987	2007	21	8.1	0.1	2.9
Febrero	1987	2007	20	10.7	0.4	3.9
Marzo	1986	2007	21	10.8	0.8	4.7
Abril	1986	2007	22	13.0	1.0	5.7
Mayo	1986	2007	21	12.4	1.2	6.3
Junio	1986	2007	22	11.9	0.6	5.9
Julio	1986	2007	19	13.5	0.6	5.7
Agosto	1986	2007	20	13.2	0.6	5.3
Septiembre	1986	2007	21	13.5	0.3	4.8
Octubre	1986	2007	21	12.9	0.0	4.1
Noviembre	1986	2006	19	11.9	0.3	3.6
Diciembre	1986	2006	19	11.4	0.3	2.9

Fuente: CONAGUA, 2010



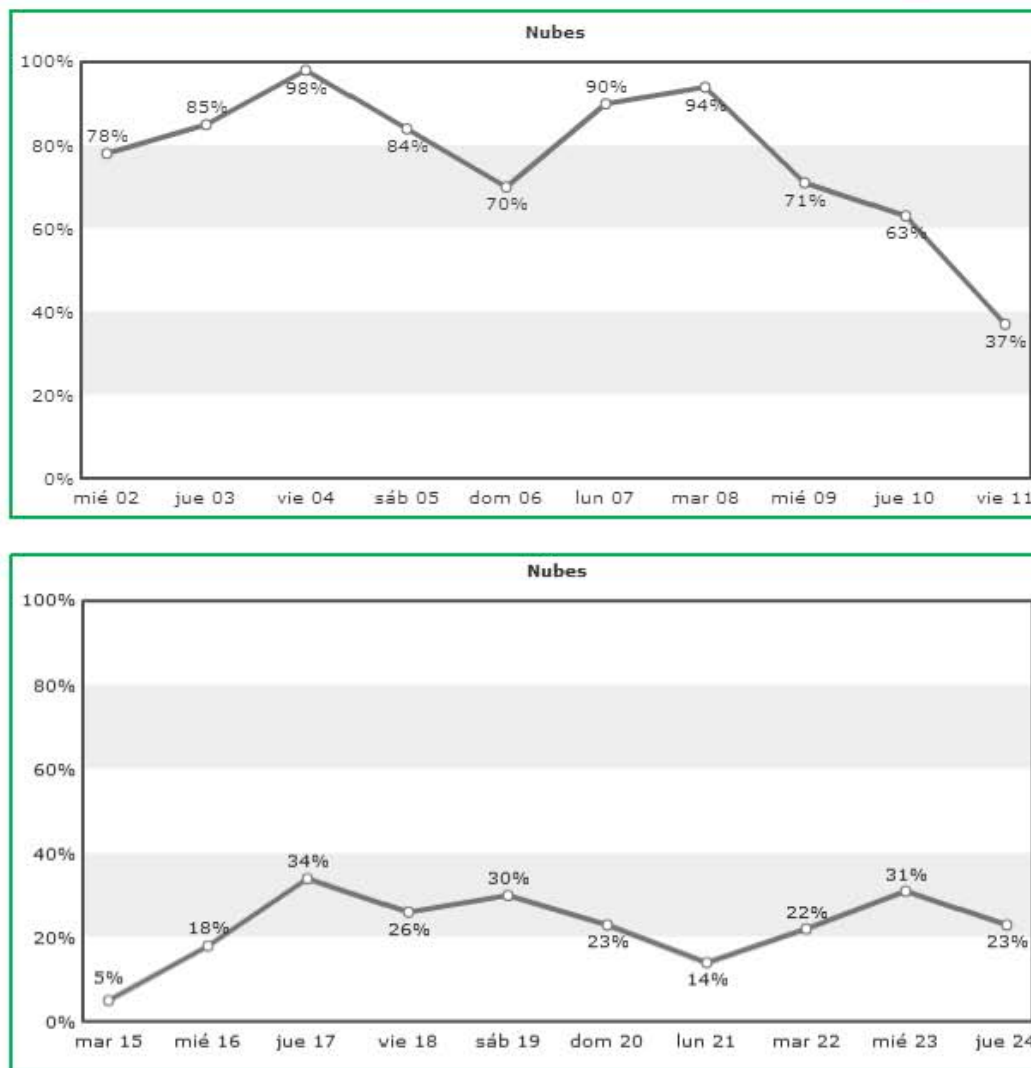
Tabla 6.8 *Evaporación mensual y promedio anual en la estación meteorológica El Carmen*

Evaporación mensual y promedio anual en el periodo comprendido entre 1986-2007		
	Normal	Años con datos
Enero	86.49	21
Febrero	108.55	20
Marzo	145.08	21
Abril	167.2	22
Mayo	193.54	21
Junio	171.94	22
Julio	171.2	17
Agosto	156.38	19
Septiembre	135.47	21
Octubre	119.3	20
Noviembre	104.56	19
Diciembre	87.79	11
Anual promedio	139.8	
Anual acumulado	1,647.6	

Fuente: CONAGUA-SMN, 2010

6.2.4.6 *Nubosidad promedio anual*

Aunque no hay datos recientes de nubosidad en el área, la nubosidad en el Sur del Golfo de México muestra que durante el mes de diciembre la nubosidad cubre la mayor parte de los estados de Tabasco, Campeche y Veracruz (hasta el 98%) y con lluvias. Sin embargo, para la segunda mitad del mes de diciembre la cobertura disminuye (5 - 34 %) (ver Figura 6.14).



Fuente: SMN, 2015

Figura 6.14 Promedio de la nubosidad diaria en el mes de diciembre (2015) para el área circundante al Área Contractual

La época en la que se realizó el estudio de línea base corresponde a la temporada de eventos “norte”, por lo que la nubosidad es por lo general superior al promedio anual durante dicha temporada.

6.2.4.7 Eventos extremos (Ciclones, huracanes, tormentas y depresiones tropicales)

La zona del Golfo de México se caracteriza por la abundancia de eventos meteorológicos extremos a lo largo del año. Las masas de aire frío continentales y los sistemas de alta presión (ej., 1028 hPa), las rachas de fuertes vientos (ej., 100 km/hr) y los cambios en el nivel del mar (hasta 4 m) caracterizan a los “nortes” que se presentan en la zona. Asimismo, también se presentan eventos extremos de suma peligrosidad y que tienen consecuencias sobre el medio ambiente e incluso sobre la economía. Tal es el caso de los huracanes y ciclones tropicales, los cuales se enlistan en la Tabla 6.9 en el periodo 1978-2014.



Los datos de 2015 aún no se encuentran disponibles en el Sistema Meteorológico Nacional y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés) reportan que los ciclones tropicales durante el 2015 afectaron únicamente a costas de Estados Unidos y el Caribe, sin presentarse en costas mexicanas. La Figura 6.15 muestra los ciclones tropicales que han impactado el océano Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México en los últimos 5 años. Los ciclones tropicales que han afectado el área del Proyecto han sido de intensidad baja a moderada, siendo la mayoría depresiones o tormentas tropicales con vientos máximos de entre 40 y 100 km/hr.

Tabla 6.9 *Eventos extremos reportados para la zona del Área Contractual 4 en el periodo 1978-2014*

Nombre del Fenómeno	Mes y Año	Lugar de entrada a Tierra	Vientos máx. (km/h) a/	Categoría b/
Brenda	Agosto, 1973	Nuevo Progreso, Campeche	148	H1
Hermine	Septiembre 1980	Catemaco, Ver.	100	TT
Diana	Agosto 1990	Tuxpan, Ver.	110	H2
Roxane	Octubre 1995	Martínez de la Torre, Ver. c/	45	DT
Dolly	Agosto 1996	Pueblo Viejo, Ver. c/	130	H1
Mitch	Noviembre 1998	Campeche, Camp c/	45	TT
Keith	Octubre 2000	Tampico, Tam, Chetumal Q, Roo	75	H1
Chantal	Agosto 2001	Chetumal, Q. Roo	85	TT
Gert	Julio 2005	Sureste de Pánuco, Ver.	75	TT
Stan	Octubre 2005	San Andrés Tuxtla, Ver. c/	130	H1
Dean	Agosto 2007	Tecolutla, Ver. c/	155	H2
Marco	Octubre 2008	Este de Misantla, Ver.	65	TT
Karl	Septiembre 2010	Playa de Chachalacas, Ver. c/	185	H3
Richard	Octubre 2010	155 km al este de Cd. Del Carmen, Camp.	55	DT
Harvey	Agosto 2011	Alvarado, Ver.	55	DT
Hanna	Octubre 2014	Sabancury, Campeche	45	TT

a/ Se refiere a la intensidad al momento de impacto en tierra, no a la intensidad del ciclón tropical en mar abierto.
b/ Las categorías, de acuerdo con la escala de Saffir-Simpson, se clasifican en: H1, 119-153 (km/h); H2, 154-177 (km/h); H3, 178-209 (km/h); H4, 210-250 (km/h) y H5, mayor de 250 (km/h).
c/ Lugar se considera como segunda entrada del huracán:
H Huracán; TT Tormenta Tropical; DT Depresión Tropical

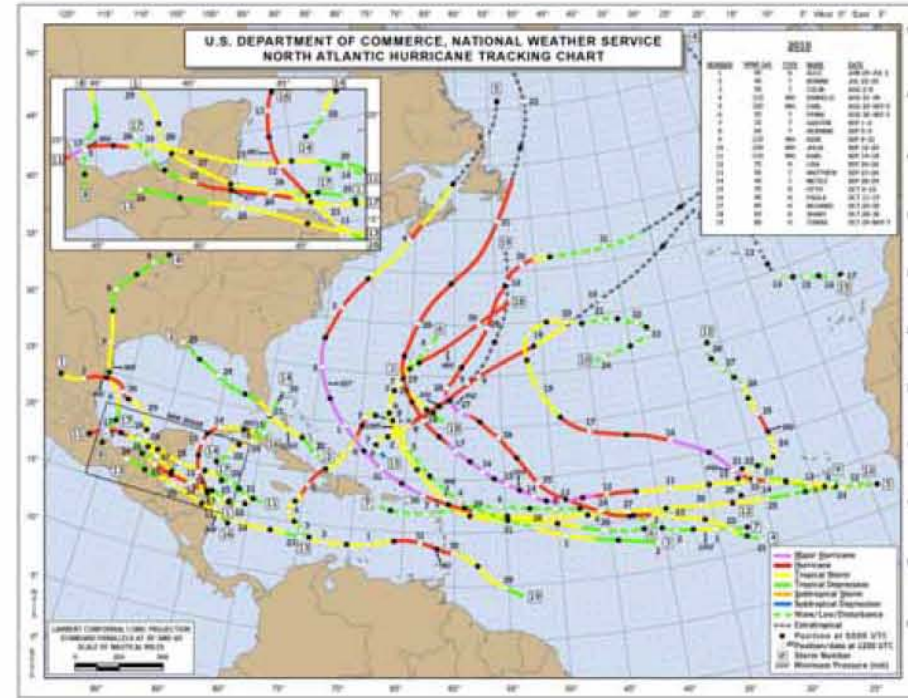


Fuente: CONAGUA, 2015

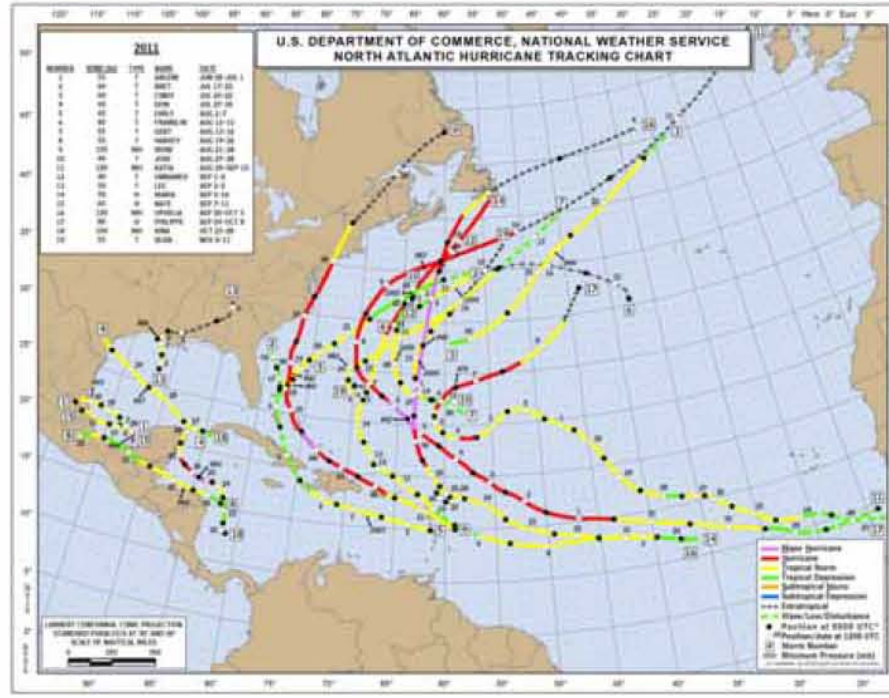
El intercambio entre las masas de aire frío y seco que provienen del continente y las masas de aire propias del Golfo de origen marítimo y tropical provocan una fuerte frontogénesis (Nortes), principalmente entre los meses de octubre a abril (Tápanes y González-Coya, 1980). Durante el verano, esta región es afectada por tormentas tropicales, de las cuales 60% tienen intensidades de huracán. El 80% de los huracanes se forman fuera del Golfo, su centro se desplaza hacia la costa noroeste de América o hacia la Península de Florida con velocidades de aproximadamente 20 km/h (Monreal-Gómez *et al.*, 2004).



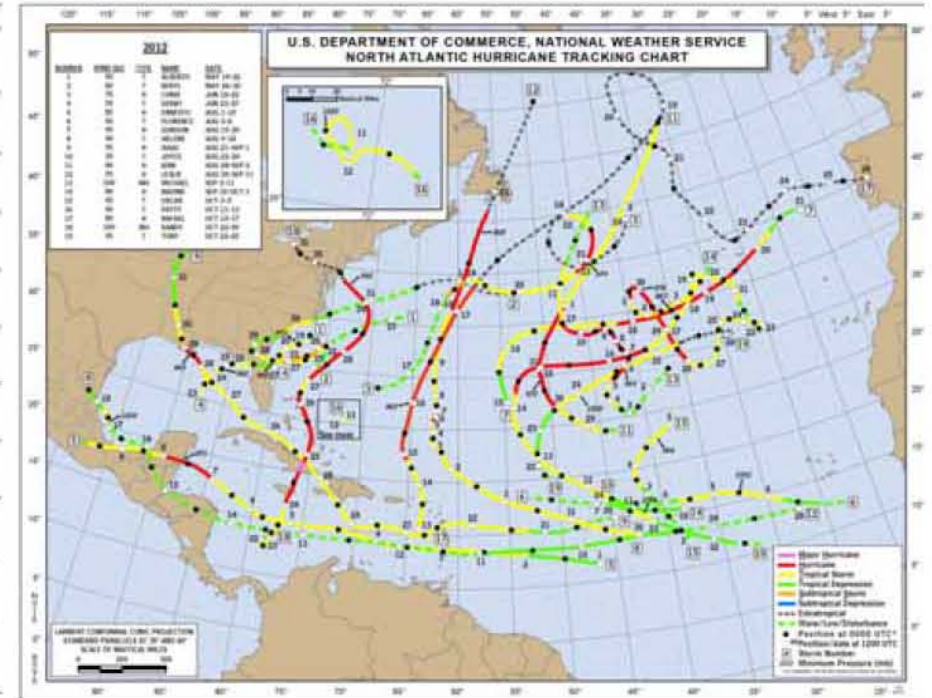
2010



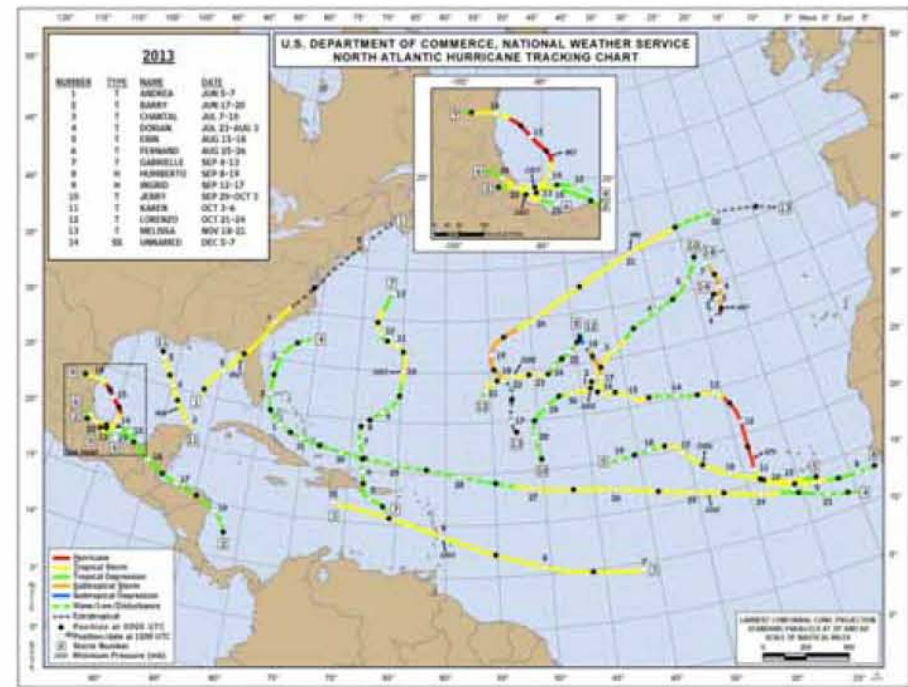
2011



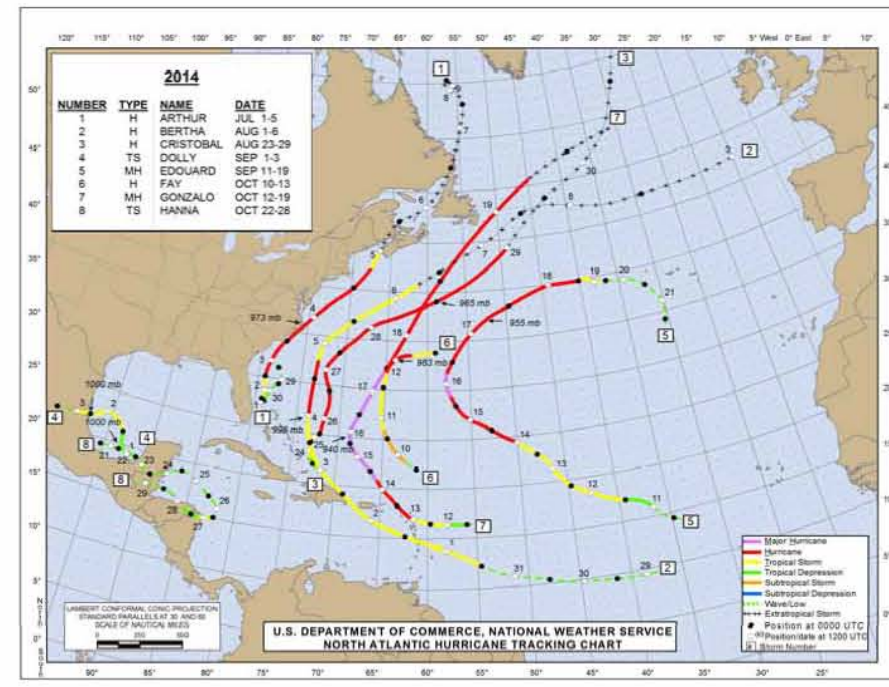
2012



2013



2014



2015

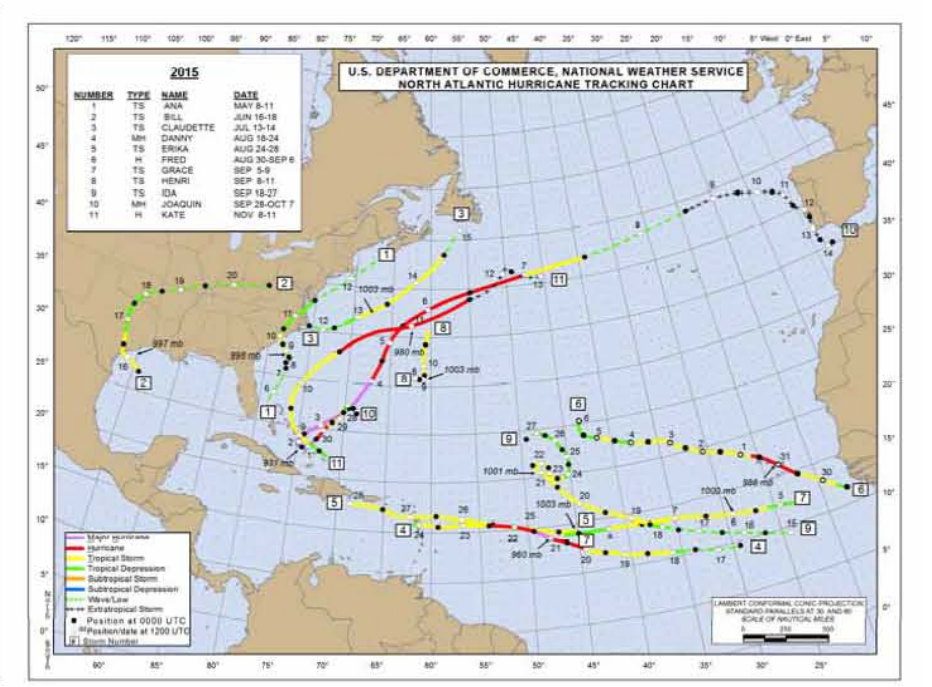


Figura 6.15 Ciclones tropicales en las costas del Mar Caribe y océano Atlántico 2010-2015. Fuente: NOAA, 2015



6.2.4.8

Corrientes marinas

De forma regional, la circulación de gran escala en el Golfo de México está denominada por dos características semi-permanentes (Behringer *et al.*, 1977): la Corriente de Lazo y un gran giro anticiclónico, los cuales se sitúan en la parte Oriental y Occidental del Golfo respectivamente.

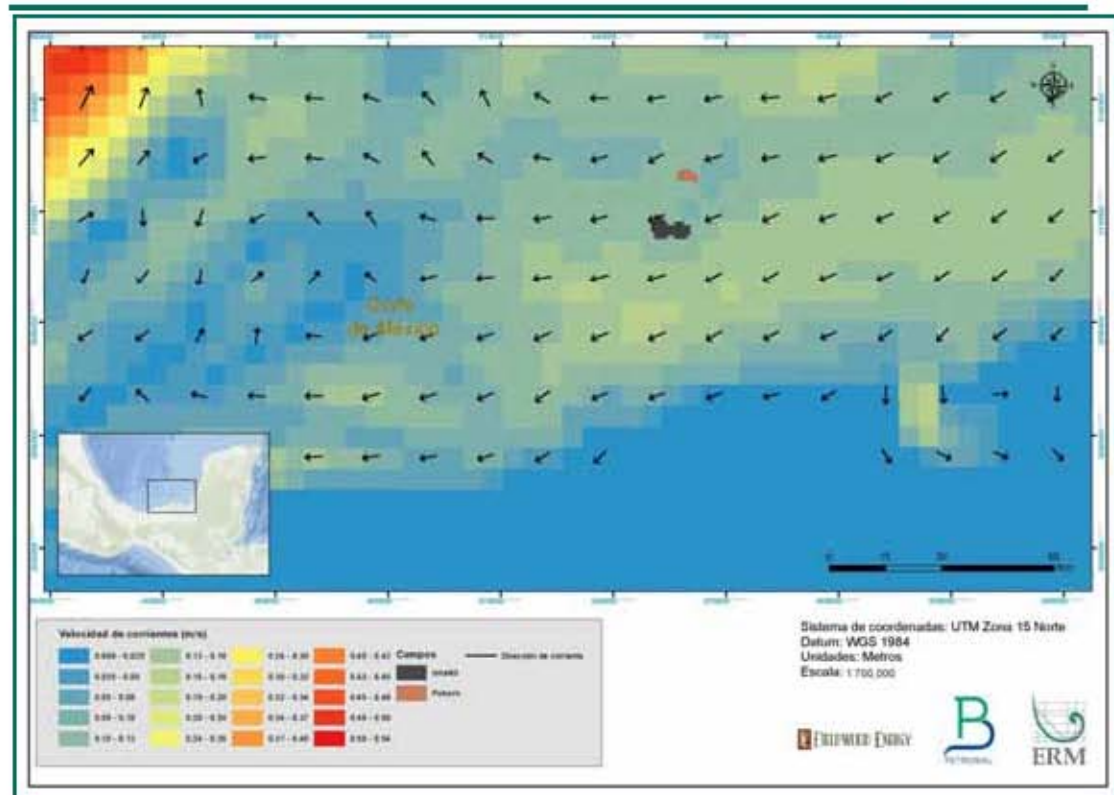
La Corriente de Lazo, que es una porción del sistema de la Corriente del Golfo, tiene sus orígenes en el Canal de Yucatán y une a la corriente de Yucatán con la de Florida en la parte Este del Golfo. En lo que concierne al gran giro anticiclónico del oeste del Golfo, Cochrane (1972) sugiere que es renovado periódicamente por los giros que se desprende de la Corriente de Lazo y que se trasladan hacia el oeste; en contraste con lo anterior, Sturges y Blaha (1976) plantean que este giro se debe al rotacional del esfuerzo del viento.

Se han formulado diversas hipótesis para explicar la presencia de la Corriente de Lazo, del gran giro anticiclónico, de la corriente de frontera oeste y de la circulación ciclónica en el Golfo de México. Sin embargo, la mayoría de los estudios coinciden en que el principal mecanismo forzamiento de la circulación en el Golfo es el flujo que entra través del canal de Yucatán y sale por el Estrecho de Florida (Monreal-Gómez, *et al.*, 2004).

La circulación de las corrientes en la zona oeste del Golfo de México es muy variable ya que en verano las corrientes tienden a moverse en dirección de la manecillas del reloj; mientras que en invierno, provocado por el régimen de los nortes, la circulación costera es impulsada y cambiada hacia el sur. La corriente de Yucatán es la principal fuente de cambio en la dirección de las corrientes en el Golfo de México a través de los giros anticiclónicos que se desprenden de dicha corriente y que al impactar la plataforma continental, se degrada en giros ciclónicos-anticiclónicos (Vidal *et al.*, 1994).

Por su parte, las corrientes litorales presentan tres patrones a lo largo del año. En invierno, se presentan los comúnmente llamados "Nortes" con velocidades de hasta 140 km/h, generando corrientes superficiales de hasta 15.4 km/h (Knauss, 1997). En verano se presentan las "Suradas" con magnitudes de hasta 80 km/h, generando corrientes superficiales de aproximadamente 8.8 km/h. Por último, en la transición de Nortes a Suradas y viceversa, los vientos dominantes se alinean en dirección Este-Oeste, propiciando corrientes superficiales casi perpendiculares a la costa.

De acuerdo con la literatura, el Área Contractual 4 se encuentra comprendida dentro de una zona de baja velocidad de corrientes comprendida entre los 0.10 m/s y 0.16 m/s. El patrón de circulación predominante presente una dirección noreste-suroeste, hacia las costas de Coatzacoalcos, Veracruz, como se muestra en la Figura 6.16.



Fuente: ERM, 2016

Figura 6.16 Patrón de circulación de corrientes superficiales ($m s^{-1}$) en el sector del Golfo de México donde se ubica el Área Contractual 4

Para caracterizar las condiciones físicas marinas del área en donde se ubicará el Proyecto, se obtuvieron valores de corrientes, salinidad y temperatura del agua generados del modelo HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model). De acuerdo a HYCOM (2016), este es un modelo oceánico generalizado, producido por el consorcio HYCOM, el cual está formado por varias instituciones como parte del US Global Data Assimilation Experiment (GODAE).

El modelo HYCOM con una rejilla tridimensional provee datos para los océanos con valores cada $1/12^\circ$ (0.0833°), tanto de latitud como longitud. Para el Golfo de México existe una versión especial de HYCOM (GOMI0.04_72) manejada por el Laboratorio de Investigación Naval de los Estados Unidos (US NRL por sus siglas en inglés). Esta versión especial de HYCOM ofrece una rejilla con una resolución más detallada con espacios de $1/25^\circ$ (0.04°) de aproximadamente 4.5 kilómetros (km) en dirección norte-sur y 43 km en dirección este-oeste en la región sur del Golfo de México.

Verticalmente, el modelo HYCOM tiene 20 capas, las cuales varían en tamaño dependiendo de la batimetría en un lugar determinado. En la Figura 6.17 se muestra las profundidades para todo el modelo HYCOM del Golfo de México. Otra característica de la versión del modelo HYCOM para el Golfo de México, es la incorporación de los efectos de las mareas dentro del modelo hidrodinámico.

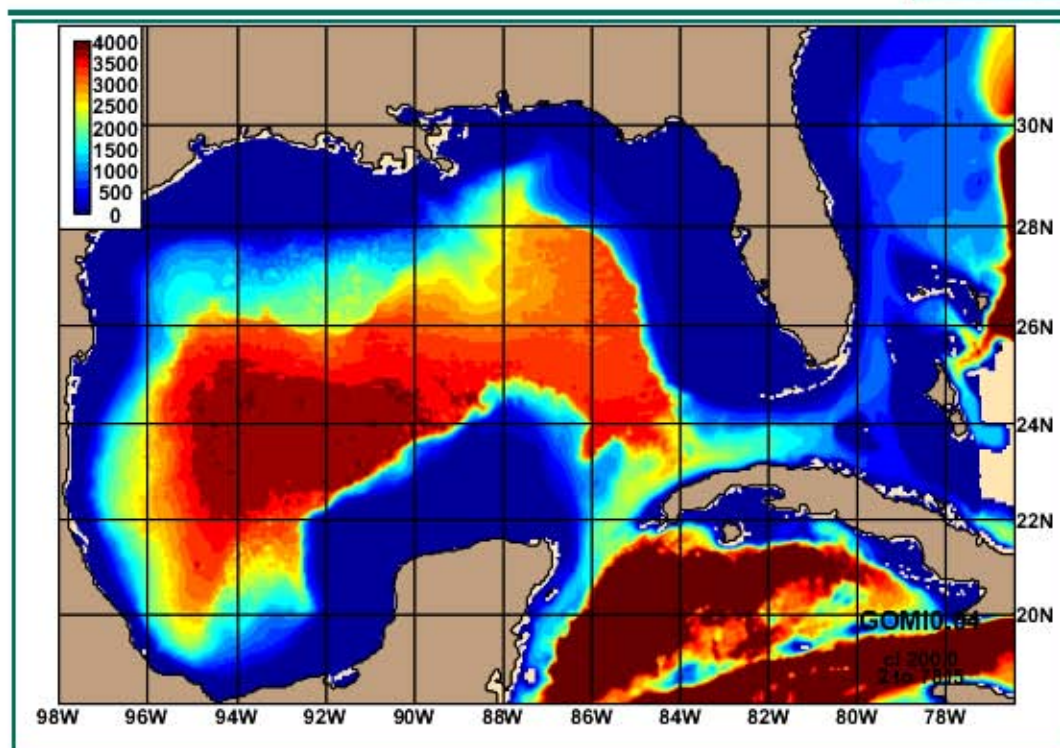


Figura 6.17 Profundidades (en metros) usadas por HYCOM del Golfo de México en la versión GOMI0.04_72 (fuente: HYCOM, 2016)

Para caracterizar la región ubicada mar adentro (offshore) en el Golfo de México dentro de las coordenadas longitud 92° Oeste a 94° Oeste y latitud 18° Norte a 20° Norte, se obtuvieron datos del modelo HYCOM por hora para el periodo 2009-2014. Para toda la región del Golfo de México, los valores de corrientes, salinidad y temperatura están disponibles en intervalos de 5 m para profundidades entre 0-30 m, de 10 m entre 40-100 m, de 25 m entre 100-150 m, de 50 m entre 150-300 m, de 100 m entre 300-1500 m, de 250 m entre 1500-2000 m, y de 500 m entre 2000 y 5500 m en las secciones más profundas.

En la Figura 6.18 se muestra un diagrama de rosa de las corrientes (velocidades y dirección promedio) para dos sitios ubicados dentro de la zona en donde se ubica el Área Contractual 4 (15: longitud 92.48 Oeste y latitud 19.04 Norte; D2: longitud 92.44 Oeste y latitud 19.12 Norte) con base en datos correspondientes al periodo 2009-2014. Por otro lado, en la Figura 6.19 y en la Figura 6.20 se presentan ejemplos de corrientes superficiales marinas (imágenes al instante) en el Golfo de México obtenidas del modelo HYCOM. Como se mencionó anteriormente, las variaciones en los patrones de corrientes actuales en el Golfo de México se producen año tras año. Sin embargo, las corrientes cerca del sitio en donde se ubica el Área Contractual 4 en la parte sur del Golfo de México están un tanto protegidas de esta variabilidad. El fondo de los remolinos de las corrientes hacia la izquierda (contrarreloj) en el sureste del Golfo de México, a menudo dirige corrientes superficiales desde el sitio del Área Contractual 4 hacia el este.



En otras ocasiones, las corrientes de la península de Yucatán que viajan en paralelo a la costa, hacia el sur y luego hacia el oeste, son más fuertes que los remolinos a la izquierda, haciendo que la dirección de la corriente superficial en el sitio del Área Contractual 4 se invierta y viaje hacia el oeste. El predominio de este a oeste en el patrón direccional de las corrientes se exhibe durante todo el año.

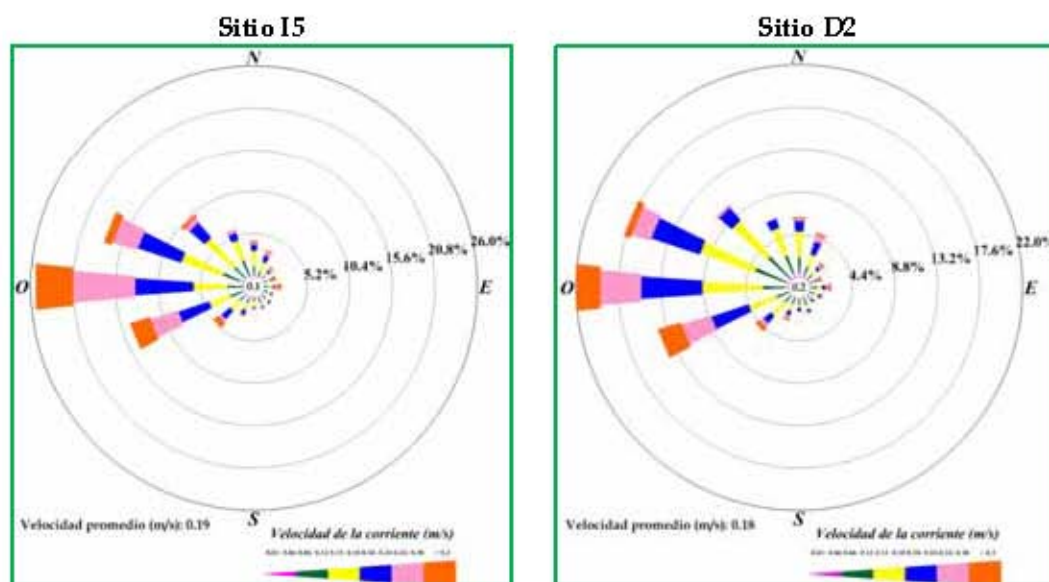


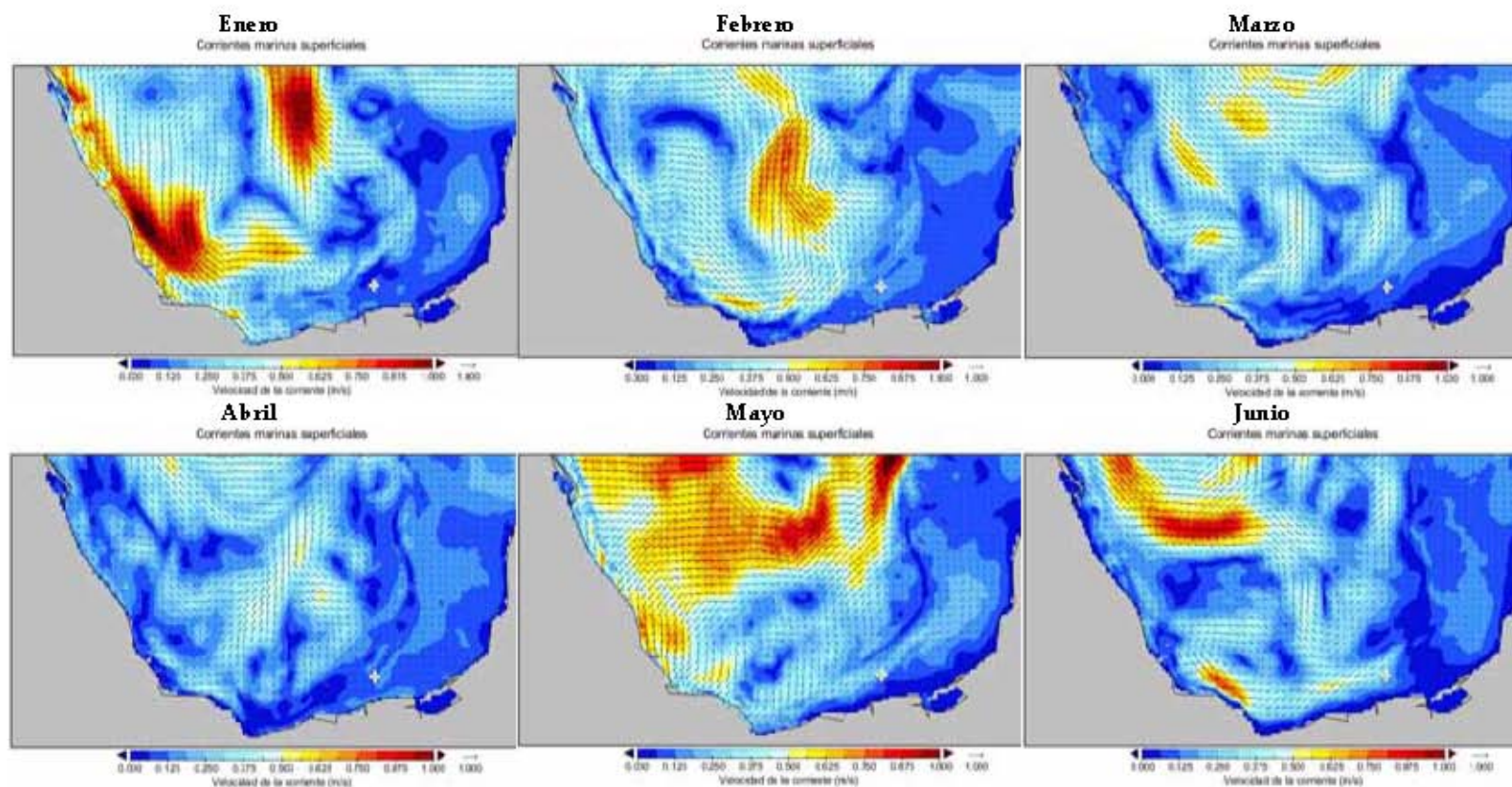
Figura 6.18 Diagrama de rosa de corrientes para el sitio en donde se ubica el Área Contractual 4 para el periodo 2009-2014 (fuente: HYCOM, 2016)

Con base a la información de corrientes obtenida de HYCOM (2016) descrita anteriormente y datos de olas obtenidas de NOAA (2016), se calcularon los promedio mensuales de olas y corrientes para la el Área contractual 4 mediante el uso de técnicas de ingeniería costera para el asomeramiento y ruptura de olas (Kamphuis 2010). En la Tabla 6.10 se presenta un resumen con la altura de la ola, periodo, velocidad y dirección de la corriente por mes. Las corrientes en el área se consideran moderadas a través de todo el año oscilando entre 0.16 y 0.21 m/s.

Tabla 6.10 Resumen de las corrientes y olas en el Área Contractual 4

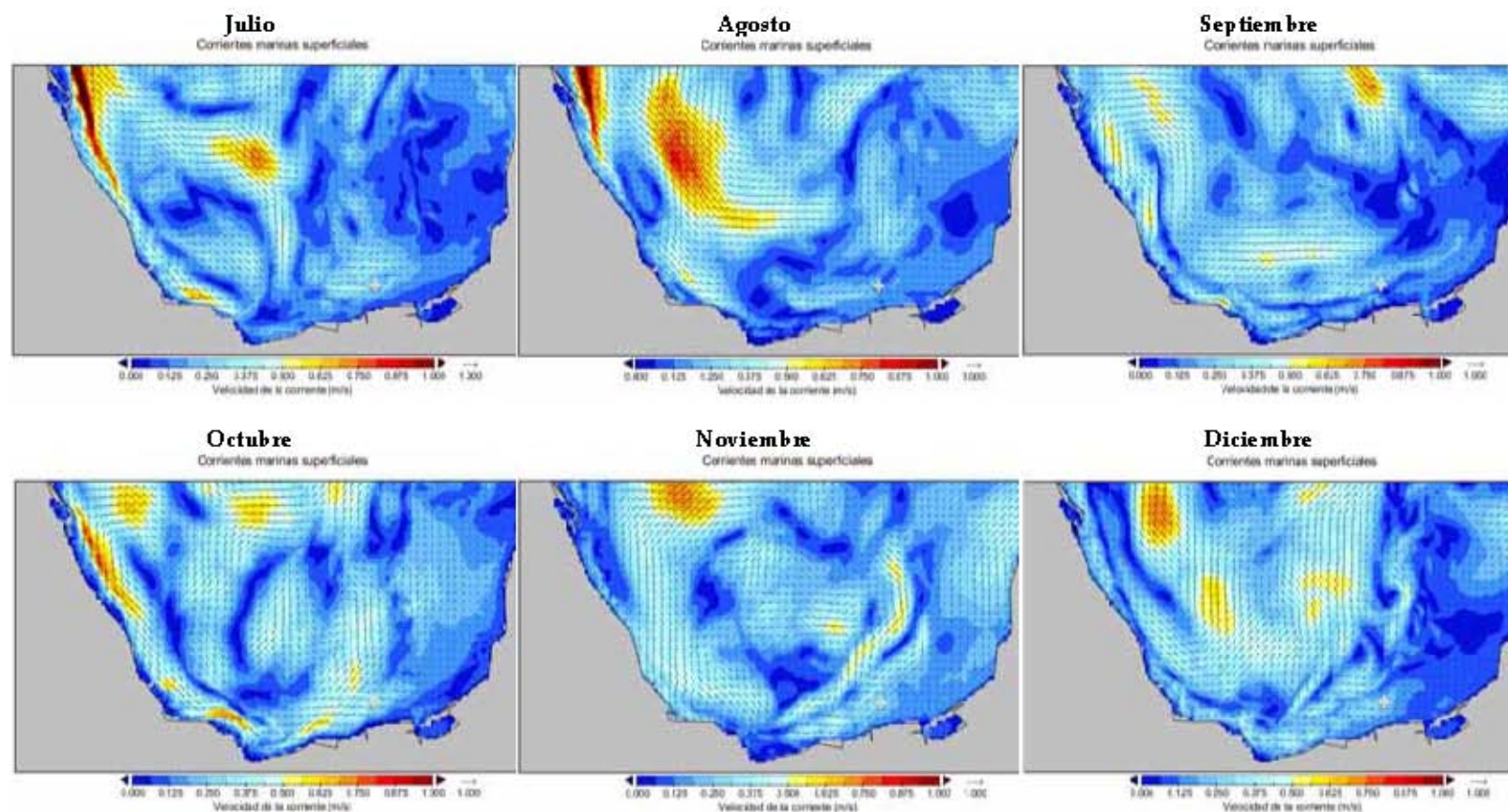
Parámetro	Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Altura de la ola	(m)	1.45	1.54	1.50	1.25	1.10	1.00	1.05	0.85	1.00	1.30	1.30	1.59
Periodo de la ola	(s)	5.1	5.3	5.1	4.9	4.6	4.1	4.2	4.2	4.8	5.0	5.0	5.2
Corriente	(m/s)	0.18	0.16	0.16	0.16	0.17	0.20	0.21	0.20	0.18	0.17	0.18	0.18
Ángulo de la corriente	(Grados)	16	23	21	35	10	12	2	11	67	42	31	27

m/s = metros por segundo; m = metros; s = segundos.



Nota: + Ubicación del Área Contractual 4

Figura 6.19 *Ejemplo de corrientes superficiales marinas (enero-junio) en el Golfo de México obtenidas del modelo HYCOM (fuente: HYCOM, 2016)*



Nota: + Ubicación del Área Contractual 4

Figura 6.20 Ejemplo de corrientes superficiales marinas (julio-diciembre) en el Golfo de México obtenidas del modelo HYCOM (fuente: HYCOM, 2016)



De acuerdo a Vidal *et al.* (1994) y a los resultados del modelo HYCOM, las condiciones de salinidad están fuertemente asociadas con la corriente del Lazo, la cual tiene una salinidad mayor a 36.8 Unidades Prácticas de Salinidad (UPS). Sin embargo, la salinidad típica de las aguas del Golfo de México es de 36.5 UPS. En la Figura 6.21 se presenta un ejemplo de un perfil de salinidad (1 de enero del 2014) generada del modelo HYCOM para la zona en donde se ubica el Área Contractual 4. De acuerdo a los valores medidos en campo en abril del 2016, los niveles de salinidad en el Área contractual 4 registraron valores mínimos de 27.63 UPS y máximos de 51.32 UPS con un valor promedio de 38.04 UPS.

En tanto a la temperatura del agua, esta se caracteriza por presentar temperaturas de entre 28 °C y 29 °C en verano con incrementos de noroeste a sureste en las aguas superficiales. Por otro lado, en invierno durante la temporada de nortes, la temperatura del agua superficial disminuye hasta los 18 °C y 19 °C debido a los vientos provenientes del norte, los cuales ponen resistencia a las aguas cálidas provenientes del sureste (De la lanza y Gómez-Rojas, 2004). En la Figura 6.22 se presenta un ejemplo de perfil térmico (1 de enero del 2014) generada del modelo HYCOM para el sitio en donde se ubica el Área contractual 4.

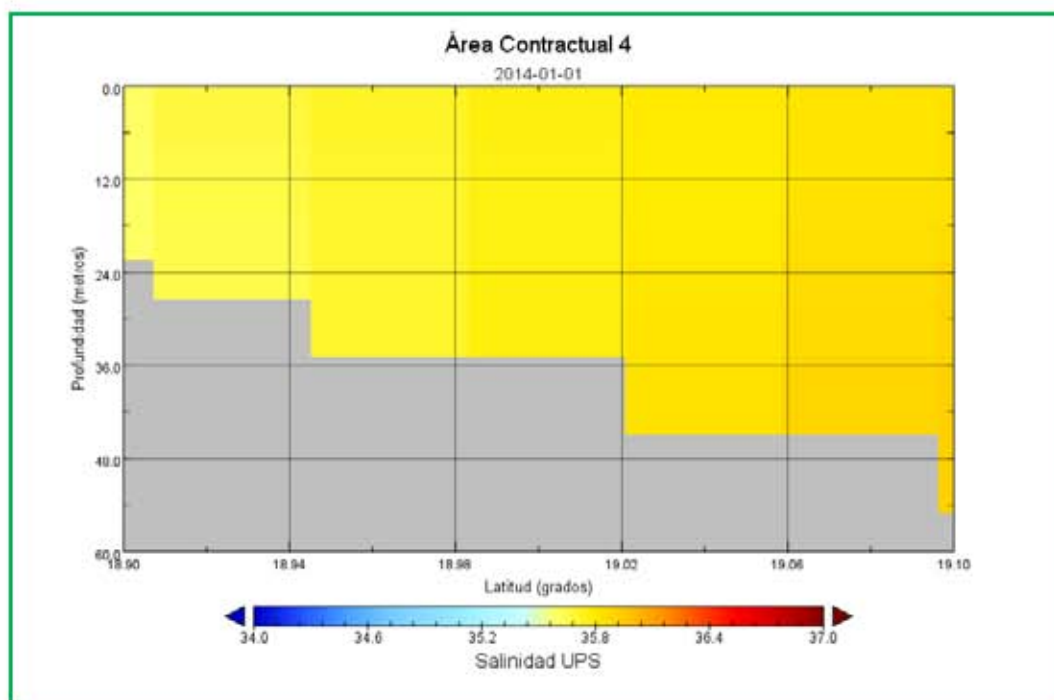


Figura 6.21 Ejemplo de perfil de salinidad para el sitio en donde se ubica el Área Contractual 4 generada del modelo HYCOM (fuente: HYCOM, 2016)

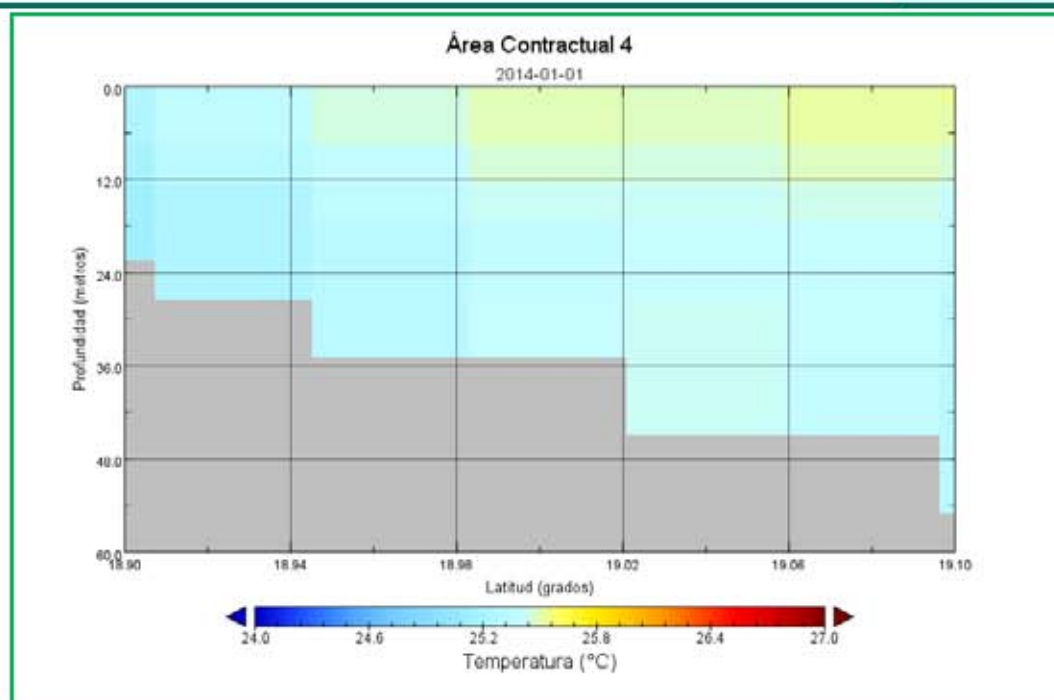


Figura 6.22 Ejemplo perfil térmico para el sitio en donde se ubica el Área Contractual 4 generada del modelo HYCOM (fuente: Ajustado de HYCOM, 2016)

6.2.4.9 Vientos dominantes, velocidad y dirección

La estacionalidad climática-meteorológica del área de estudio se caracteriza por un periodo de secas (febrero a junio), uno de lluvias de verano (junio a octubre) con presencia de depresiones tropicales y uno de frentes fríos anticiclónicos (Nortes) de octubre a febrero (Wiseman y Sturges, 1999). Estos tres periodos son constantes, pero se empalman de manera relativa, y su intensidad varía por efectos del cambio climático global.

La posición geográfica que presenta el Golfo de México ocasiona que durante el invierno este se vea influenciado por las masas de aire frío y seco procedentes del Norte que, al chocar con masas de aire marítimo y tropical del Golfo, dan origen a la formación de frentes fríos principalmente de octubre a abril. La presencia de estos frentes produce en el Golfo los vientos conocidos como Nortes, que corren de Norte a Sur y alcanzan velocidades de hasta 30 m/s. La intensidad y extensión de estos Nortes varía según la época del año. En el verano, el Golfo es influenciado por tormentas tropicales, de las cuales el 60% alcanza la magnitud de huracán. Estas características meteorológicas afectan la zona costera debido a la descarga de agua dulce e influyen en la circulación general del Golfo de México (Tamayo, 1974; Monreal-Gómez *et al.*, 2004).



En el Golfo de México la mayor parte del año los vientos tienen una dirección predominante Este-Sureste, con una intensidad máxima de 411 m/s, en tanto que en la temporada de Nortes (octubre a febrero) la dirección es al Noroeste, con una velocidad que varía entre los 26.75 m/s a 37.04 m/s (Monreal-Gómez *et al.*, 2004).

De acuerdo a SEMARNAT (2016) los vientos dominantes en el área de estudio son hacia el noreste con cambios al noroeste de mayo a agosto, los cuales corresponden a vientos alisos modificados ligeramente en su dirección por condiciones regionales que se imponen en la circulación general de la atmósfera. Para caracterizar la zona en donde se ubica el Área Contractual 4 (longitud -92.5° y latitud 19.0°), se extrajo información de vientos de la base de datos del Blended Sea Winds (Zhang et al., 2006). Esta base de datos es un producto del Centro Nacional de Información Climatológica (NCDC por sus siglas en inglés). En la Figura 6.23 y Figura 6.24 se presentan diagramas de rosa con información extraída de datos de velocidad y dirección del viento a nivel de la superficie del agua por mes para el periodo 2009-2014. Por otro lado, en la Figura 6.25 se presenta un diagrama de rosa de la velocidad y dirección del viento promedio para todo el periodo 2009-2014.

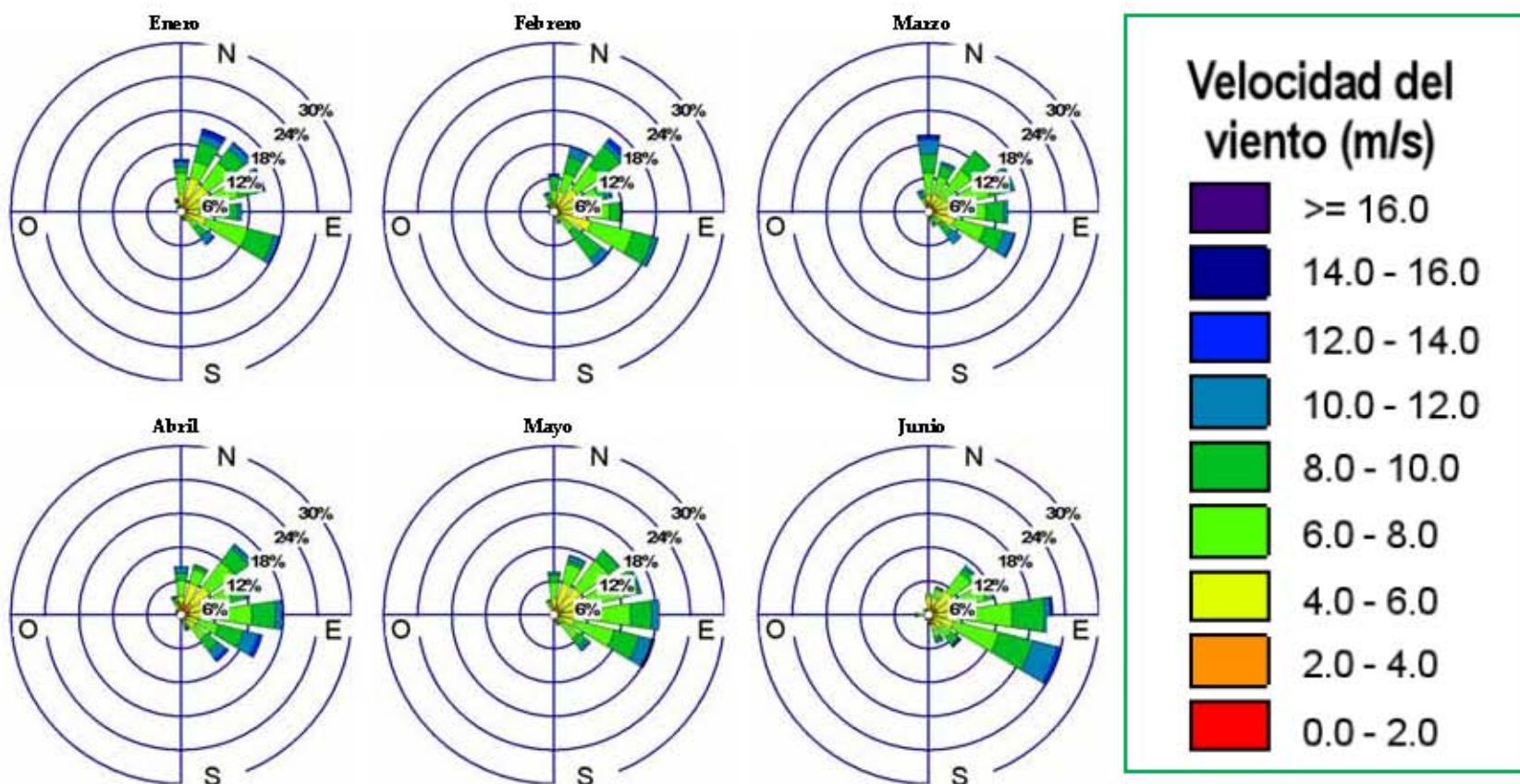


Figura 6.23 Diagramas de rosa de vientos por mes (enero a junio) para el periodo 2009-2014 del sitio cercano al Área Contractual 4 (longitud -92.5° y latitud 19.0°)

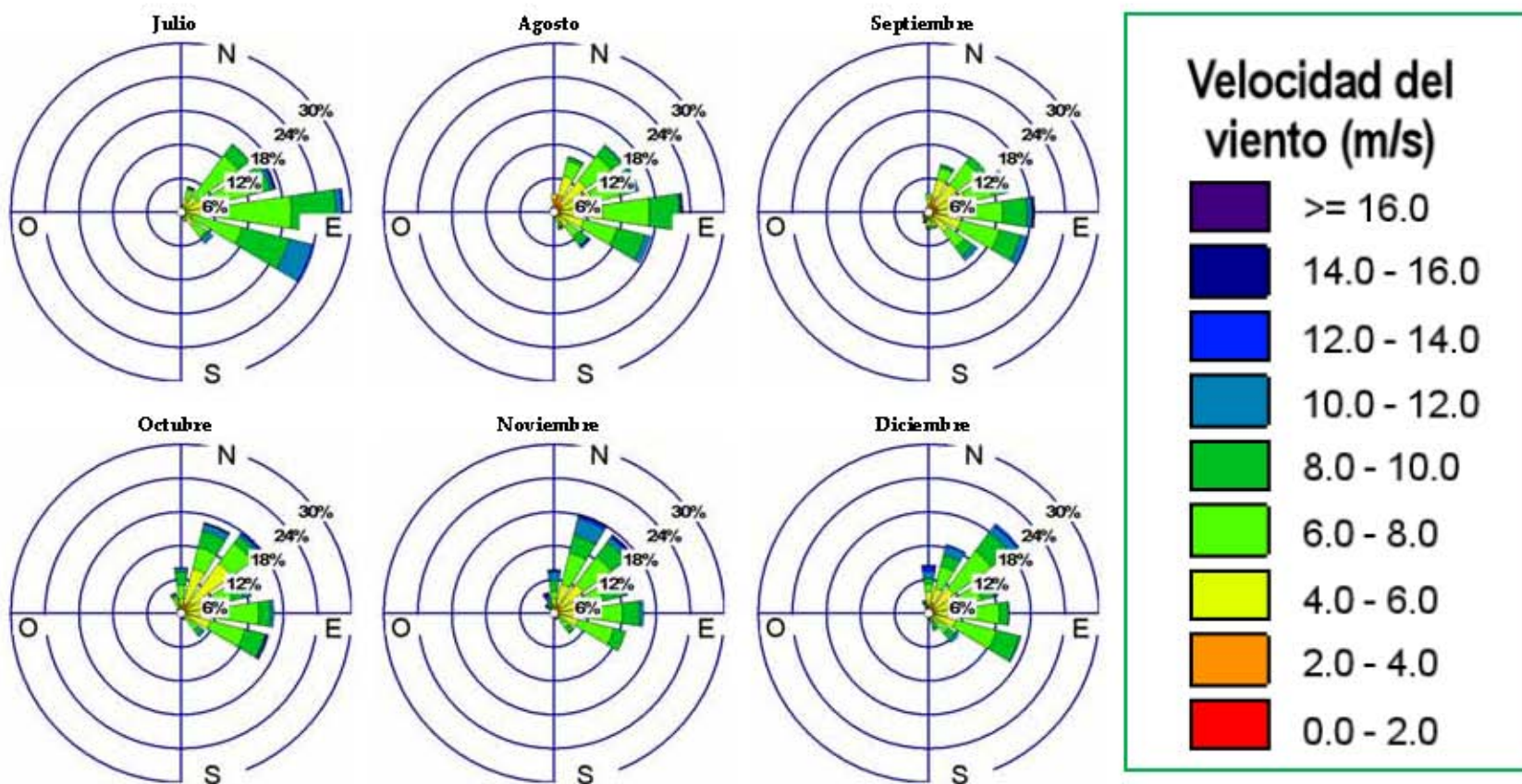


Figura 6.24 Diagramas de rosa de vientos por mes (julio-diciembre) para el periodo 2009-2014 del sitio cercano al Área Contractual 4 (longitud -92.5° y latitud 19.0°)

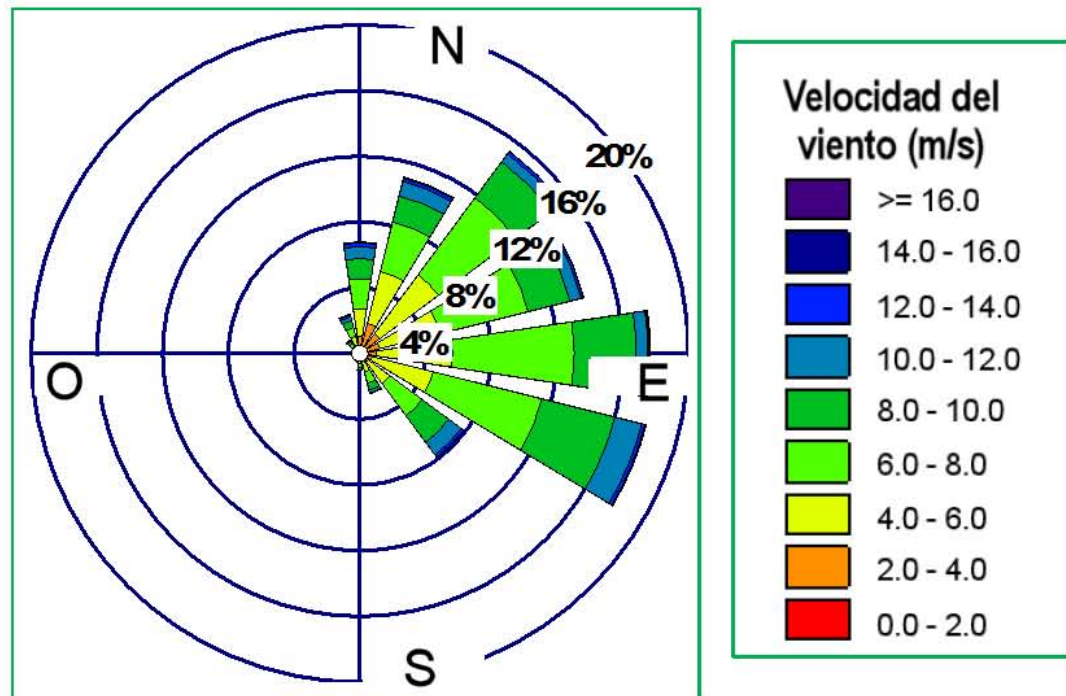
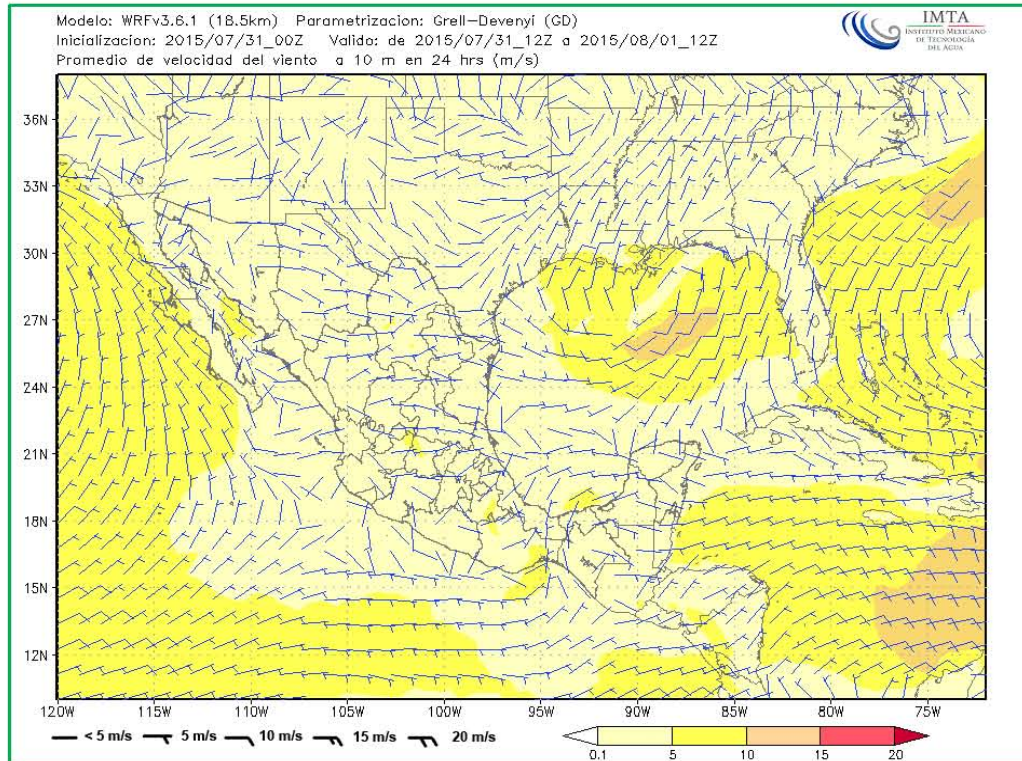


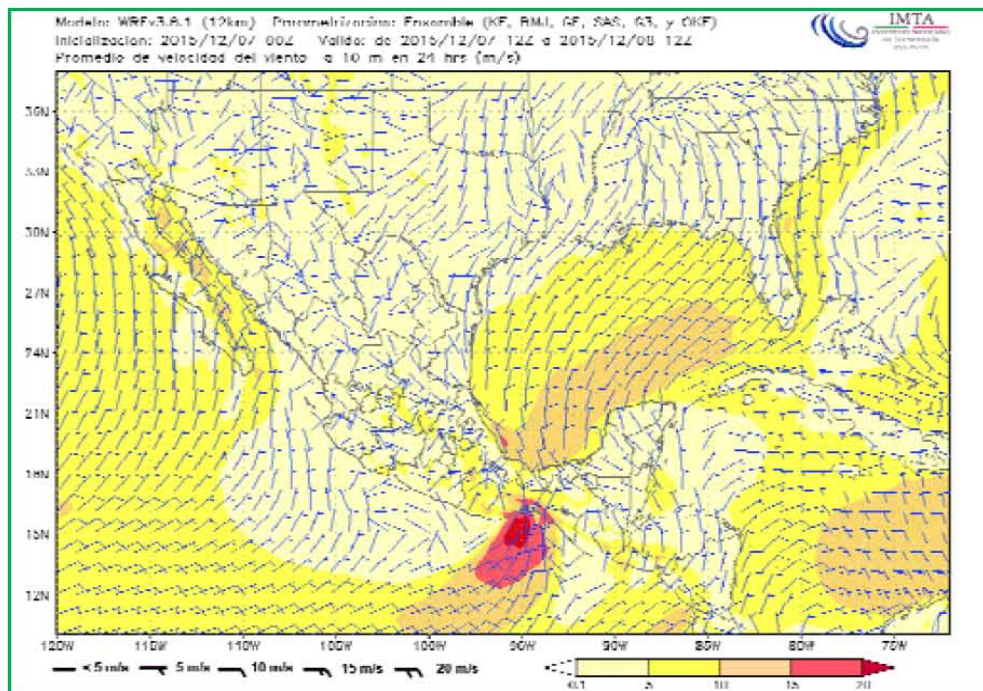
Figura 6.25 Diagramas de rosa de vientos por mes del sitio cercano al Área Contractual 4 (longitud -92.5° y latitud 19.0°)

De manera general se puede observar que durante la temporada de lluvias que comprende los meses de julio a octubre, la velocidad de los vientos en el área de estudio no sobrepasa los 10 m/s y siguen en dirección al Noreste tal como se comprueba en la Figura 6.26 y Figura 6.27 del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). En general, el modelo nos permite comprobar que en la temporada de Nortes, durante los meses de octubre a febrero, la velocidad de los vientos que se presentan es mayor que en la temporada de lluvias. Adicionalmente, el modelo nos permitió corroborar la información bibliográfica que nos indica que en época de Nortes, los vientos no superan los 15 m/s siguiendo en dirección Norte.



Fuente: Tomado del IMTA, 2015

Figura 6.26 Viento promedio a 10 m de la superficie en el periodo de lluvias (julio) del año 2015



Fuente: Tomado del IMTA, 2015

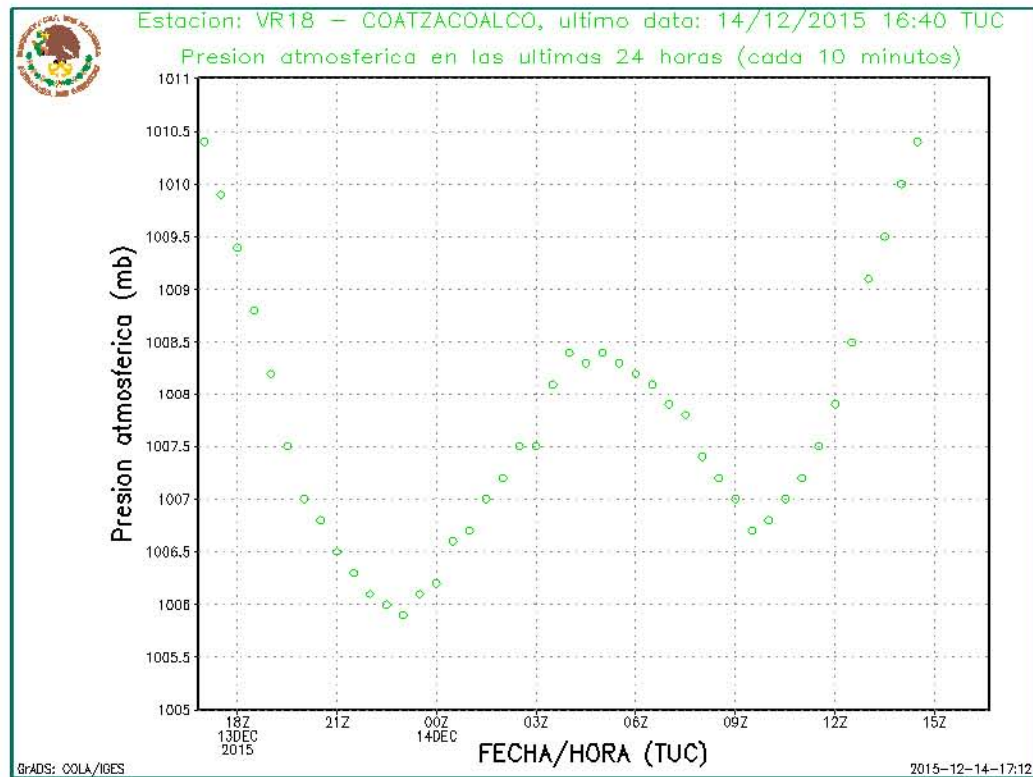
Figura 6.27 Viento promedio a 10 m de la superficie en el periodo de Nortes (diciembre) del año 2015



6.2.4.10

Presión atmosférica

Los datos obtenidos de la estación meteorológica Coatzacoalcos, la más cercana al Área Contractual, muestra que la presión atmosférica en el mes de diciembre de 2015 en la región de Coatzacoalcos fue de 1 006 a 1 010.5 mb. Los valores anteriores a estas fechas coinciden con el Frente Frío No. 20 que ocurrió durante las fechas que se obtuvieron estos datos (CONAGUA, 2015) (ver Figura 6.28).



Fuente: SMN, 2015

Figura 6.28 Presión atmosférica registrada en el Área Contractual 4 en diciembre de 2015



A manera de ejemplo, se incluye una muestra indicativa de valores de presión atmosférica (ver Tabla 6.11) durante esta temporada del año, tomando los días 13 y 14 de diciembre del 2015 como referencia para el área de estudio.

Tabla 6.11 *Presión atmosférica registrada en el área de estudio cada 30min (diciembre de 2015)*

Día	Hora	Presión atmosférica (m b)
13 Diciembre 2015	17:00	1010.4
13 Diciembre 2015	17:30	1009.9
13 Diciembre 2015	18:00	1009.4
13 Diciembre 2015	18:30	1008.8
13 Diciembre 2015	19:00	1008.3
13 Diciembre 2015	19:30	1007.5
13 Diciembre 2015	20:00	1007.0
13 Diciembre 2015	20:30	1006.8
13 Diciembre 2015	21:00	1006.5
13 Diciembre 2015	21:30	1005.8
13 Diciembre 2015	22:00	1005.2
13 Diciembre 2015	22:30	1005.0
13 Diciembre 2015	23:00	1004.9
13 Diciembre 2015	23:30	1005.2
14 Diciembre 2015	00:00	1006.3
14 Diciembre 2015	00:30	1006.6
14 Diciembre 2015	01:00	1006.8
14 Diciembre 2015	01:30	1007.0
14 Diciembre 2015	02:00	1007.2
14 Diciembre 2015	02:30	1007.5
14 Diciembre 2015	03:00	1007.5
14 Diciembre 2015	03:30	1008.2
14 Diciembre 2015	04:00	1008.4
14 Diciembre 2015	04:30	1008.3
14 Diciembre 2015	05:00	1008.4
14 Diciembre 2015	05:30	1008.3



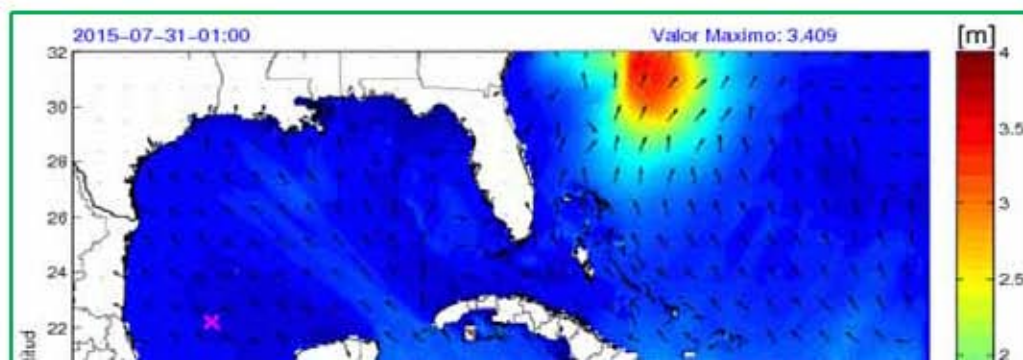
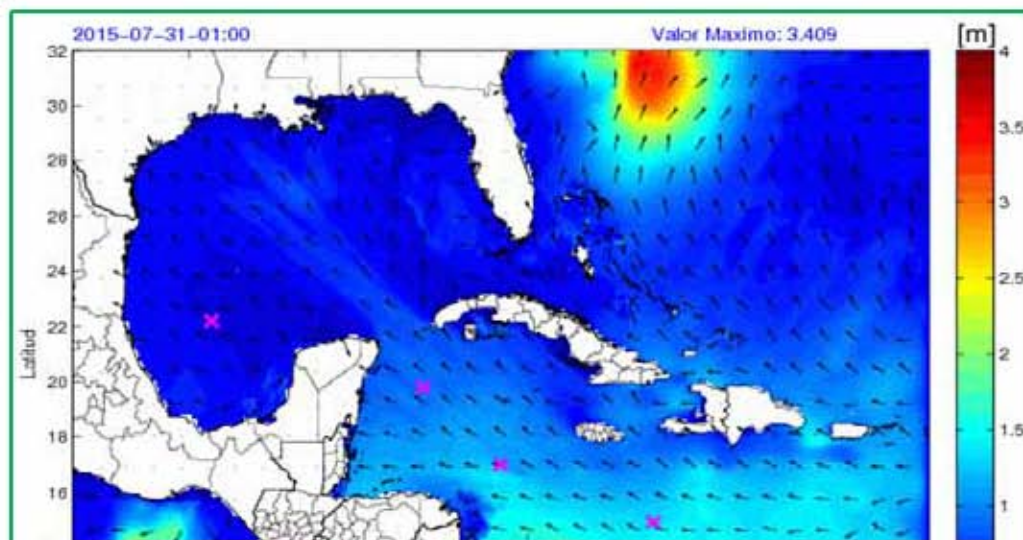
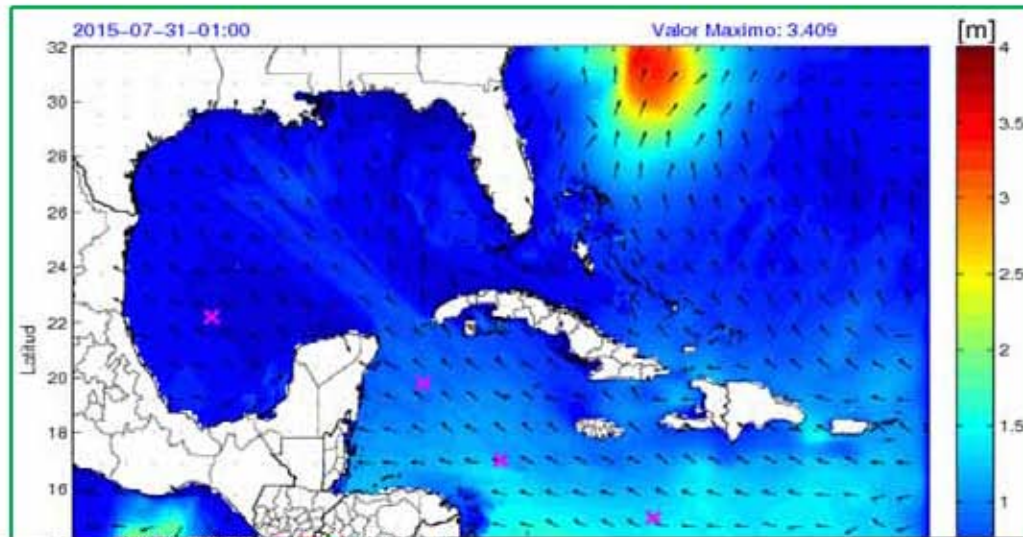
Día	Hora	Presión atmosférica (m b)
14 Diciembre 2015	06:00	1008.2
14 Diciembre 2015	06:30	1008.1
14 Diciembre 2015	07:00	1007.9
14 Diciembre 2015	07:30	1007.8
14 Diciembre 2015	08:00	1007.4
14 Diciembre 2015	08:30	1007.2
14 Diciembre 2015	09:00	1007.0
14 Diciembre 2015	09:30	1006.7
14 Diciembre 2015	10:00	1006.8
14 Diciembre 2015	10:05	1007.0
14 Diciembre 2015	11:00	1007.3
14 Diciembre 2015	11:30	1007.5
14 Diciembre 2015	12:00	1007.9
14 Diciembre 2015	12:30	1008.5
14 Diciembre 2015	13:00	1009.1
14 Diciembre 2015	13:30	1009.5
14 Diciembre 2015	14:00	1010.0
14 Diciembre 2015	14:30	1010.4

Fuente: SMN, 2015

6.2.5 Hidrodinámica y batimetría

6.2.5.1 Oleaje

De acuerdo con la información reportada por el IMTA, en la temporada de lluvias (julio a octubre), el oleaje en el área de estudio no supera el metro de altura y la dirección que siguen las olas es al Suroeste (ver Figura 6.29). En la temporada de Nortes (octubre a febrero), el oleaje en el área de estudio es mayor al registrado en la temporada de lluvias; en época de Nortes, la altura de las olas tiene un promedio de 2.5 m y estas siguen una dirección hacia la línea de costa (ver Figura 6.30). No obstante, dos días antes del inicio de los trabajos de línea base en campo se registraron olas de hasta 5 m ocasionadas por un frente frío, mismo que ocasionó demoras en la misma campaña por el cierre de navegación.





Tal como se puede observar, el oleaje promedio dentro del Área Contractual oscila entre 0.5 y 2.5 m durante el año.

6.2.5.2 Mareas

Para la descripción del ciclo de mareas en el área del proyecto, se obtuvo información sobre mareas mediante el uso del programa MAR V1, del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) de Baja California, México. Los valores de mareas del programa MAR V1 se obtuvieron de datos históricos de estaciones mareográficas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Secretaría de Marina y del propio CICESE (CICESE, 2016). Para el Área Contractual 4, se utilizó información por hora de mareas de la estación más cercana (Frontera, Tabasco) con datos disponibles para el periodo que comprende desde el 1 de enero del 2015 a las 0:00 horas hasta el 1 de enero del 2016 a las 0:00 horas (ver Figura 6.31).

En la Tabla 6.12 se presentan las características generales de las mareas para la estación Frontera reportada por SEMAR (2012) para Tabasco.

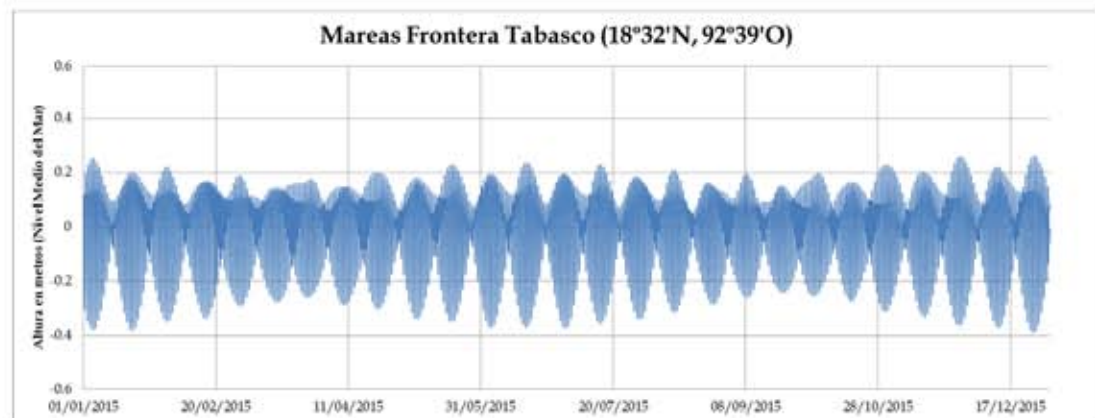


Figura 6.31 Representación gráfica del régimen de mareas de la estación Frontera Tabasco (fuente: Adaptado de CICESE, 2016)

Tabla 6.12 Características de las mareas de la estación Frontera, Tabasco (fuente: SEMAR, 2012)

Marea	Nivel
Pleamar máxima registrada	1.380 m
Nivel de pleamar media superior	0.405 m
Nivel de pleamar media	0.357 m
Nivel medio del mar	0.228 m
Nivel de bajamar media	0.106 m
Nivel de bajamar media inferior	0.000 m
Bajamar mínima registrada	-0.550 m

Nota: Planos de mareas referidos al nivel de bajamar media inferior. La pleamar máxima y bajamar mínima registradas, así como el nivel medio del mar obedecen al periodo de observaciones correspondientes al periodo 1999-2012. m= metros



6.2.5.3

Batimetría

Para caracterizar la profundidad y forma del lecho marino, se usó un conjunto de datos espaciales primarios de información batimétrica para la zona en donde se ubica el Área contractual 4. Dicha información batimétrica, se obtuvo del General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO), el cual es una fuente pública de información (IOC et al., 2003). La base de datos utilizada para este estudio es la cuadrícula GEBCO_2014_1D, con una resolución de 30 arco-segundos. Con base en la información obtenida de GEBCO, se estima que la zona presenta profundidades que oscilan entre los 20 y 50 metros (ver Figura 6.32). Sin embargo, cabe señalar que en la zona del Proyecto, las condiciones batimétricas no varían drásticamente, encontrándose que la zona no rebasa la isobata de los 100 m.

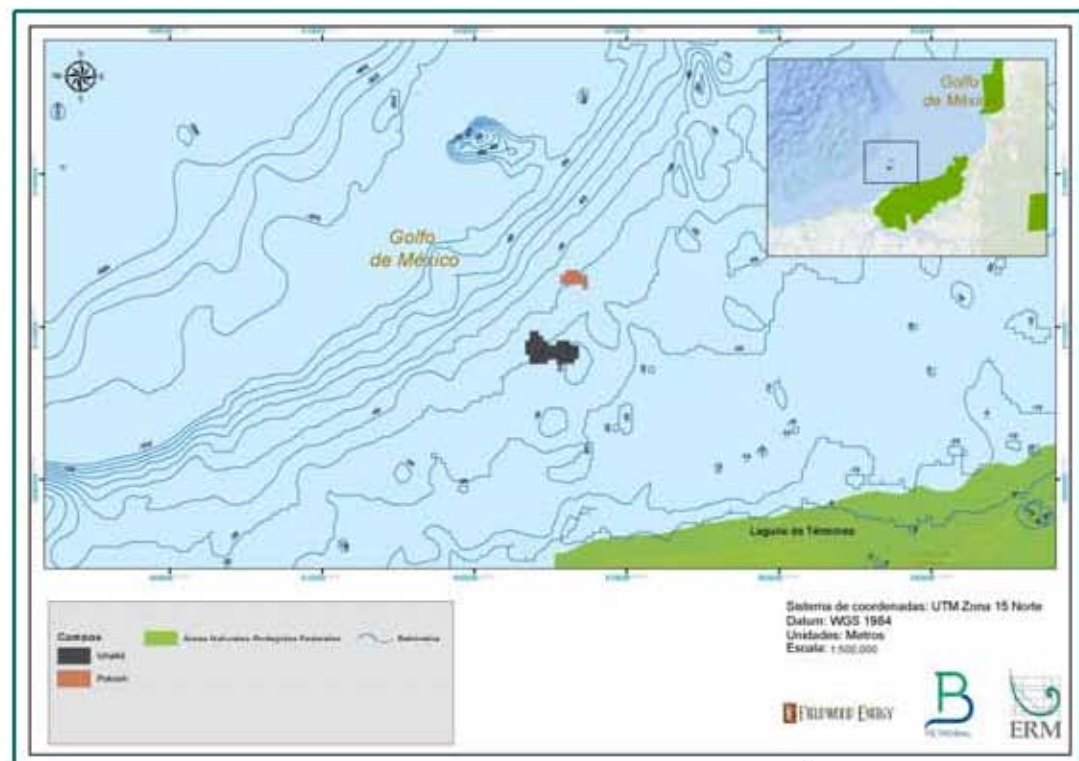


Figura 6.32 Batimetría del sector del Golfo de México donde se ubica el Área Contractual 4

6.2.5.4

Patrones de dispersión de material particulado suspendido

En la zona en donde se ubica el Área contractual 4 es conocida como la Sonda de Campeche, la cual está localizada en la porción occidental de la Península de Yucatán frente a los estados de Campeche y Tabasco en el Golfo de México. De acuerdo a Yáñez-Correa (1971), la Sonda de Campeche se ubica entre dos provincias geológico-sedimentarias (Bahía de Campeche al oeste y el Banco de Campeche al este).



La Bahía de Campeche presenta sedimentos de tipo terrígeno-clástico proveniente del sistema fluvial limo-arcilloso; mientras que el Banco de Campeche está caracterizado por sedimentos calcáreos provenientes de la plataforma carbonatada de Yucatán, la cual se extiende en un área de aproximadamente 90000 km² desde la isobata de 200 m de profundidad hasta la línea de playa (García-Cuellar et al 2004).

En el lado Este del lecho marino del Banco de Campeche, cercano al Área contractual 4, está cubierto por limo fino y muy fino derivado de los carbonatos bioclastos de origen marino. Esta área se caracteriza por presentar corrientes dominantes hacia el este que se forma por la combinación de la circulación ciclónica-anticiclónica. Las corrientes sobre el Banco de Campeche son muy activas y tienen suficiente energía para mover y rehacer el sedimento acumulado, el cual se acumula a través de todo el año. En la Figura 6.33 se muestran los patrones de sedimentos suspendidos en el Área Contractual 4 de acuerdo a lo reportado por por Martínez-López y Pares-Sierra (1998).



La Bahía de Campeche presenta sedimentos de tipo terrígeno-clástico proveniente del sistema fluvial limo-arcilloso; mientras que el Banco de Campeche está caracterizado por sedimentos calcáreos provenientes de la plataforma carbonatada de Yucatán, la cual se extiende en un área de aproximadamente 90000 km² desde la isobata de 200 m de profundidad hasta la línea de playa (García-Cuellar et al 2004).

En el lado Este del lecho marino del Banco de Campeche, cercano al Área contractual 4, está cubierto por limo fino y muy fino derivado de los carbonatos bioclastos de origen marino. Esta área se caracteriza por presentar corrientes dominantes hacia el este que se forma por la combinación de la circulación ciclónica-anticiclónica. Las corrientes sobre el Banco de Campeche son muy activas y tienen suficiente energía para mover y rehacer el sedimento acumulado, el cual se acumula a través de todo el año. En la Figura 6.33 se muestran los patrones de sedimentos suspendidos en el Área Contractual 4 de acuerdo a lo reportado por por Martínez-López y Pares-Sierra (1998).



La Bahía de Campeche presenta sedimentos de tipo terrígeno-clástico proveniente del sistema fluvial limo-arcilloso; mientras que el Banco de Campeche está caracterizado por sedimentos calcáreos provenientes de la plataforma carbonatada de Yucatán, la cual se extiende en un área de aproximadamente 90000 km² desde la isobata de 200 m de profundidad hasta la línea de playa (García-Cuellar et al 2004).

En el lado Este del lecho marino del Banco de Campeche, cercano al Área contractual 4, está cubierto por limo fino y muy fino derivado de los carbonatos



La cantidad de sedimento que puede ser movido a través de un año, es fuertemente afectado por la estacionalidad con concentraciones máximas de sólidos suspendidos de aproximadamente 25 miligramos por litro (mg/L) durante los meses de verano y otoño entre agosto y octubre (época lluviosa). Por otro lado, la concentración máxima de sólidos suspendidos durante los meses de invierno y primavera entre noviembre y marzo (época seca) es de aproximadamente 5.0 mg/L. De acuerdo Signoret et al (2006), los sólidos suspendidos en la zona en donde se ubica el Área contractual 4 están compuestos principalmente de partículas de limo y arcilla.

Con base a las concentraciones de sedimentos y a la dinámica de las corrientes sobre el Banco de Campeche, se puede esperar los siguientes patrones en el Área contractual 4:

- Los sedimentos suspendidos serán probablemente transportados hacia la circulación ciclónica-anticiclónica que caracteriza a esta zona durante todo el año y por lo tanto se mueve con dirección noreste.
- Los sedimentos provenientes de la sección sur del Área contractual 4 podrían potencialmente unirse a la corriente costera y moverse hacia el oeste; sin embargo, los patrones que se presentan en la Figura 6.33 indican que estos patrones eventualmente se moverán hacia el norte y finalmente se unirán a la corriente dominante del noreste.

Las propiedades físicas de los sedimentos a lo largo de la línea costera del Área contractual 4 fueron determinadas utilizando muestras colectadas por ERM el 13 de abril del 2016, las cuales fueron analizadas por el laboratorio Intertek siguiendo el método de preparación y análisis especificado en la norma NOM-021-SEMARNAT-2000 AS-28. En la Tabla 6.13 se presenta un resumen de la composición de los sedimentos recolectados durante la campaña de muestreo de abril 2016 en seis sitios de muestreo dentro del Área contractual 4. Los resultados indican que por lo menos entre 65% y 70% de los sedimentos están compuestos de limo, entre el 10% y 16% de arena; mientras que resto está compuesto de entre el 15% y 18% arcilla.

El transporte de sedimentos a largo de la línea costera se debe principalmente a dos procesos:

- Transporte de sedimentos inducidos por olas entrantes que rompen en las aguas someras.
- Transporte de sedimentos inducidos por corrientes locales en el fondo marino.

Estos dos procesos de transporte de sedimentos fueron evaluados a fin de identificar que procesos son dominantes. Para esto, se utilizó la ecuación dada por Kamphuis (1991) para el transporte de sedimentos debido al rompimiento



irregular de las olas; y la ecuación de Soulsby-Van Rijn (Soulsby 1997) para el transporte de sedimentos debido a las corrientes.

Tabla 6.13 *Partículas elementales de las muestras de sedimentos recolectadas el 13 de abril del 2016 en el Área Contractual 4*

Muestra	Coordenadas WGS 84		Unidades	Resultado
	Latitud	Longitud		
P1-sed	19°11.2216	92°26.6336	Arena %	11.96
			Limo %	72.27
			Arcilla %	15.77
P2-sed	19°09.2064	92°24.5131	Arena %	16.32
			Arcilla %	65.26
			Limo %	18.42
P3-sed	19°09.2490	92°27.3476	Arena %	15.33
			Arcilla %	66.29
			Limo %	18.38
PC1-sed	19°10.1794	92°26.2306	Arena %	10.93
			Arcilla %	70.44
			Limo %	18.63
I1-sed	19°02.5892	92°25.5154	Arena %	15.75
			Arcilla %	68.52
			Limo %	15.73
I2-sed	19°01.8909	92°25.5915	Arena %	21.12
			Limo %	63.37
			Arcilla %	15.51

Fuente: *Informes de Ensayo Intertek, 2016*

La ecuación de Kamphuis se basa en asumir que la tasa de transporte de sedimentos es proporcional al flujo de energía de las olas irregulares de ruptura (Kamphuis 1991); mientras que la ecuación de Soulsby-Van Rijn se basa en el transporte de sedimentos que ocurre en la presencia de corrientes locales fuertes en la línea costera (Soulsby 1997). Estas ecuaciones de transporte de sedimento se utilizaron para estimar las tasas de transporte de sedimentos como flujo de volumen en metros cúbicos por segundo de sedimento. Las tasas de transporte de sedimentos resultantes fueron integradas sobre el tiempo y promediadas a fin de proveer valores promedio mensuales para las condiciones de operación (metros cúbicos de sedimento por mes). Las ecuaciones usadas para el cálculo del transporte de sedimentos están sujetas a limitaciones intrínsecas, en particular, dichas ecuaciones suponen que hay un volumen infinito de sedimentos a lo largo de la línea costera y por lo tanto no se incluyen sumideros de sedimentos tales como pérdidas en tierra debido a erosión eólica y pérdidas costa afuera (offshore) en aguas profundas. Por lo anterior, las ecuaciones utilizadas sobreestiman las tasas de transporte de sedimentos que actualmente ocurren a lo largo de la línea costera (Kamphuis 2010). Además, las ecuaciones de transporte de sedimentos no ofrecen una alta precisión y proporcionan predicciones que se encuentran dentro de un factor de cinco del valor actual (Soulsby 1997).



Dadas las limitaciones de las ecuaciones de transporte de sedimentos, los valores estimados para esta evaluación deberán ser considerados como tasas de transporte de sedimentos potencial que puede ocurrir en el Área Contractual 4. En la Tabla 6.14 se presentan los resultados de transporte de sedimentos calculado por mes para el Área Contractual 4.

Tabla 6.14 Tasas de transporte de sedimentos (m³/mes) para el Área Contractual 4

Ecuación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Kamphuis	5,400	6,500	5,700	3,800	2,700	1,900	2,100	1,400	2,400	4,200	4,200	6,700
Soulsby-VR	619	467	477	391	338	177	341	144	187	375	328	278
Dirección (Grados)	16	23	21	35	10	12	2	11	67	42	31	27

Fuente: ERM, 2016

Tanto el transporte de sedimento inducido por las olas (ecuación de Kamphuis) como el inducido por las corrientes (ecuación de Soulsby-Van Rijn) se mantienen a través de todo el año; sin embargo, el transporte inducido por las olas se limita a una zona muy estrecha, en donde las olas se rompen cerca de la playa. Con base al perfil de la playa y la altura de las olas se estimó la extensión de la zona de rompientes hasta 500 metros costa afuera a una profundidad de 0 a 2 metros y por lo tanto la parte más profunda del Área Contractual 4 es poco probable que reciba sedimentos de las olas rompientes.

Por otro lado, el transporte de sedimentos inducido por las corrientes representa la mayor fuente de transporte de sedimentos en el Área contractual 4. Dado que el sedimento de fracción más fina (limo y arcilla) puede ser movido por las corrientes de fondo, el sedimento se moverá paralelamente a la dirección de la corriente. De acuerdo a la ecuación de Soulsby-VR y a las corrientes en el Área Contractual 4, los volúmenes de transporte de sedimentos para dicha área van desde 177 m³ hasta 619 m³ mensuales.

Los valores de transporte de sedimentos estimados para el Área contractual 4 son similares a lo reportado en estudios previos (p.ej., Martínez-López and Pares-Sierra, 1998) llevados a cabo en la zona. La dirección dominante del sedimento es hacia el Noreste (NE) con ángulos que oscilan entre los 2 grados y los 67 grados.

6.2.6 Calidad de Agua de Mar

En la Tabla 6.15 se presentan los resultados de las mediciones de los parámetros físico-químicos tomadas en campo, así como los resultados de laboratorio para los mismos parámetros.

Por otro lado, el Apéndice 6.1 presenta un resumen de los resultados analíticos de agua marina en el Área Contractual 4, y en los Apéndices 6.2 a 6.8 se detallan los resultados por cada parámetro.



Tabla 6.15 Registro de parámetros básicos de calidad de agua de mar

Punto de muestreo	Muestra	Prof (m)	Temp (°C)	Salinidad (UP S)			pH		OD (ml/L)		Turbidez (UNT)		Fluorescencia (mg/m ³)
			Campo	Campo	Lab.	Campo	Lab.	Campo	Lab.	Campo	Lab.	Campo	
P1	P1-S	2.0	26.70	36.88	49.95	8.18	8.07	5.51	8.20	0.21	0.314	0.29	
	P1-M	24.0	26.25	36.88	51.32	8.19	8.09	5.61	7.95	0.14	0.378	0.27	
	P1-F	48.0	22.86	36.33	49.40	8.20	8.05	4.97	7.64	0.59	0.601	0.95	
P2	P2-S	2.0	26.83	36.88	50.04	8.18	8.09	5.54	8.84	0.27	0.406	0.37	
	P2-M	18.0	26.28	36.87	49.93	8.20	8.08	5.56	8.60	0.24	0.427	0.55	
	P2-F	36.0	23.40	36.35	33.73	8.17	8.04	5.04	7.90	0.50	0.355	1.49	
P3	P3-S	2.0	26.79	36.87	49.87	8.17	8.07	5.49	7.75	0.24	0.255	0.32	
	P3-M	22.0	26.23	36.87	50.29	8.16	8.07	5.62	7.79	0.20	0.523	0.36	
	P3-F	43.0	22.86	36.32	33.68	8.21	8.04	4.95	7.48	0.60	0.595	1.26	
PC1	PC1-F	43.0	22.88	36.32	49.30	8.16	8.04	4.93	7.86	0.51	0.588	1.22	
I1	I1-S	2.0	26.77	36.90	35.76	8.09	8.11	5.49	8.42	0.41	0.396	0.17	
	I1-M	14.0	26.38	36.89	35.94	8.15	8.07	5.51	8.30	0.44	0.415	0.68	
	I1-F	27.0	23.89	36.37	27.63	8.13	7.97	4.85	7.22	0.67	0.472	2.26	
I2	I2-S	1.0	26.51	36.90	50.01	8.12	8.07	5.42	8.24	0.46	0.323	0.21	
	I2-M	14.0	26.33	36.88	50.01	8.14	8.08	5.50	8.52	0.41	0.476	0.62	
	I2-F	27.0	23.95	36.39	35.22	8.03	8.04	3.88	7.43	0.76	0.982	2.13	
I3	I3-S	2.0	26.37	36.87	35.34	8.14	8.08	5.50	8.27	0.44	0.271	0.41	
	I3-M	17.0	26.35	36.81	35.81	8.13	8.14	5.50	8.64	0.31	0.241	0.39	
	I3-F	31.0	23.29	36.32	33.71	8.12	8.05	4.98	7.76	0.44	0.402	1.00	
I4	I4-S	2.0	26.22	36.80	35.70	8.90	8.10	5.52	7.68	1.01	0.142	0.22	
	I4-M	17.0	26.22	36.81	28.12	8.11	7.94	5.59	8.44	0.21	0.260	0.24	
	I4-F	34.0	23.11	36.32	34.89	8.10	8.04	5.10	7.66	0.81	0.552	1.09	
I5	I5-S	1.0	26.32	36.81	33.30	8.13	8.09	5.61	7.77	0.24	0.374	0.31	
	I5-M	15.0	26.30	36.88	34.19	8.14	8.08	5.04	7.54	0.33	0.377	0.56	
	I5-F	30.0	24.45	36.47	33.30	8.15	8.08	5.23	7.96	0.27	0.323	0.76	
IC1	IC1-F	28.0	23.87	36.34	33.95	8.12	8.04	4.93	7.85	0.55	0.509	1.11	
IC2	IC2-F	29.0	23.79	36.36	34.94	8.12	8.05	4.87	7.11	0.75	0.922	1.31	



Punto de muestreo	Muestra	Prof (m)	Temp (°C)	Salinidad (UP S)			pH		OD (ml/L)		Turbidez (UNT)		Fluorescencia (mg/m ³)
			Campo	Campo	Lab.	Campo	Lab.	Campo	Lab.	Campo	Lab.	Campo	
D1	D1-S	1.0	26.78	36.89	50.10	8.14	8.07	5.59	8.53	0.39	0.365	0.31	
	D1-M	18.0	26.32	36.87	35.70	8.21	8.10	5.63	8.31	0.30	0.310	0.71	
	D1-F	33.0	23.57	36.35	35.27	8.19	8.03	5.06	7.59	0.68	0.617	2.05	
D2	D2-S	1.0	26.86	36.88	35.44	8.15	8.10	5.50	8.64	0.30	0.270	0.17	
	D2-M	18.0	26.29	36.86	33.32	8.18	8.09	5.54	8.69	0.28	0.232	0.60	
	D2-F	33.0	23.47	36.34	32.39	8.19	8.07	5.11	7.59	0.62	0.780	1.82	
D3	D3-S	2.0	26.43	36.89	36.73	8.11	8.05	5.44	7.90	0.54	0.350	0.57	
	D3-M	15.0	26.25	36.88	35.44	8.12	8.08	5.45	7.96	0.41	0.376	0.79	
	D3-F	27.0	23.72	36.34	34.99	8.16	8.06	4.95	7.76	0.51	0.540	1.19	
D4	D4-S	1.0	26.55	36.89	35.39	8.13	8.09	5.43	9.20	0.60	0.429	0.82	
	D4-M	12.0	26.40	36.89	34.17	8.16	8.07	5.39	8.37	0.51	0.474	0.84	
	D4-F	24.0	23.71	36.34	33.26	8.12	8.08	5.04	7.89	0.70	1.300	1.21	
D5	D5-S	1.0	26.64	36.94	33.34	8.10	8.07	5.41	8.22	0.72	0.662	0.85	
	D5-M	10.0	26.28	36.91	35.33	8.07	8.09	5.34	8.30	0.55	0.572	1.22	
	D5-F	20.0	24.29	36.46	35.05	8.09	8.04	5.03	8.04	0.76	0.743	1.39	

Fuente: ERM, 2016



Los parámetros fisicoquímicos aportan información importante para identificar la masa de agua a la que pertenece el agua del Área Contractual 4, por lo cual a continuación se muestran en forma de gráfica para ilustrar claramente su comportamiento en el área de estudio. Cabe mencionar que las mediciones de campo fueron tomadas en toda la columna de agua con un CTD y exclusivamente se utilizó un equipo multiparamétrico HANNA para la medición puntual de pH.

En general, las aguas del Golfo de México se componen de siete masas de agua:

1. Agua Común del Golfo
2. Agua Subtropical Subyacente
3. Agua de los 18°C del Mar de los Sargazos
4. Agua Central del Atlántico Tropical
5. Agua Antártica Intermedia
6. Agua Profunda del Antártico Norte
7. Mezcla de Agua Intermedia del Caribe con Agua Profunda del Antártico Norte

Las cuatro primeras constituyen la capa cálida superior (0-500 m) y las tres restantes integran la capa fría inferior (500-3650 m) (Vidal, *et. al.*, 1990).

Resultados y análisis de salinidad y temperatura

El promedio de concentración de sales disueltas en el agua de mar ronda el 3.5% en peso, lo cual se expresa actualmente en partes por mil y se indica de la siguiente forma ‰.

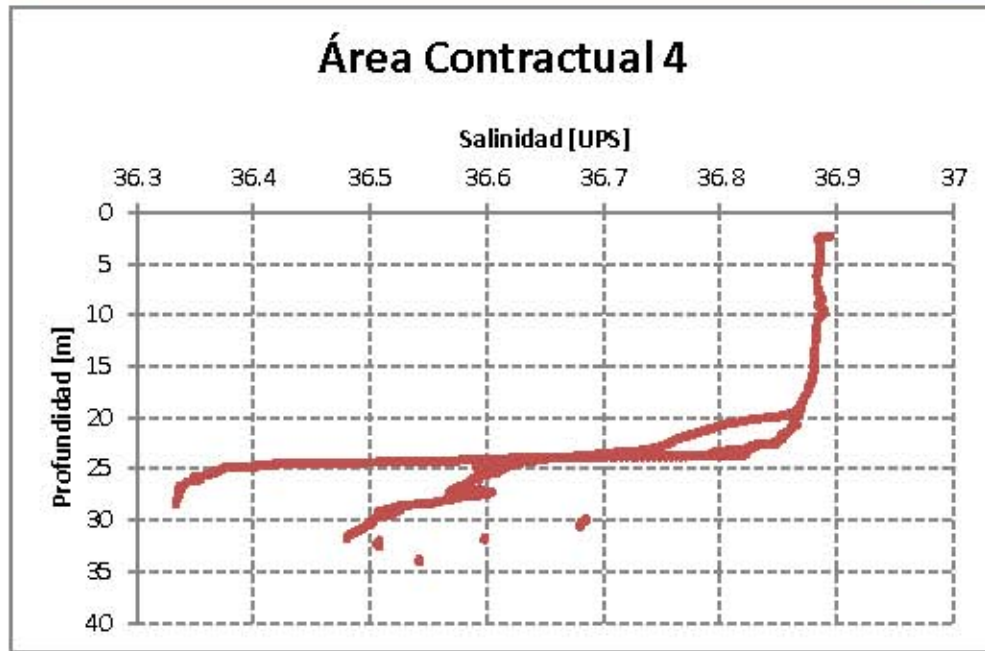


A continuación se listan los 11 componentes que en conjunto forman el 99.9% de los constituyentes disueltos del agua de mar (ver **Tabla 6.16**).

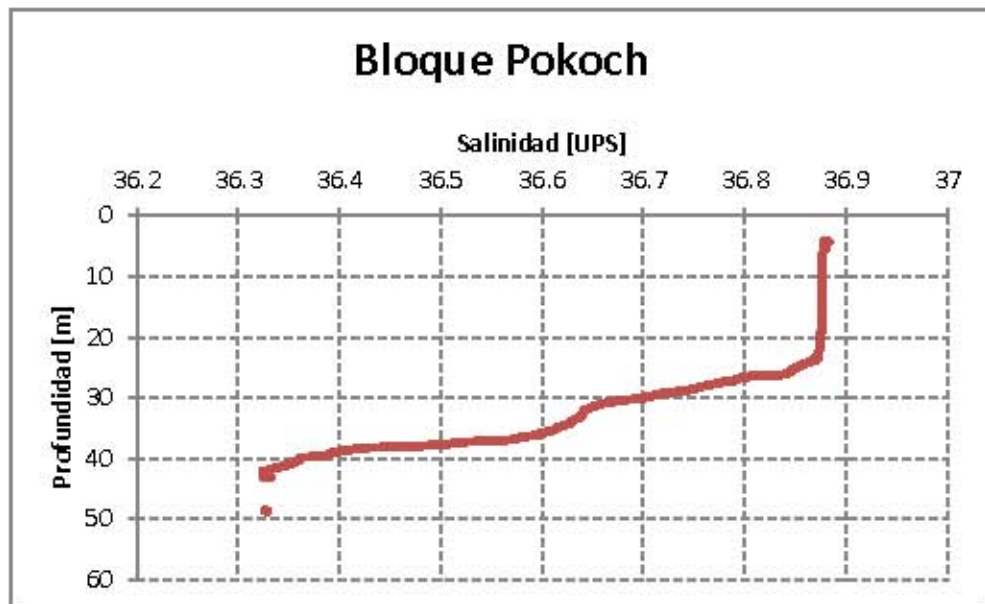
Tabla 6.16 Iones en el agua de mar

Iones	‰	Categoría
Cloruro, Cl ⁻	18.980	Aniones (iones negativos) 21.861%
Sulfato, SO ₄	2.649	
Bicarbonato, HCO ₃	0.140	
Bromuro, Br	0.065	
Borato, H ₂ BO ₃	0.026	
Fluoruro, F	0.001	
Sodio, Na	10.556	Cationes (iones positivos) 12.621%
Magnesio, Mg ²	1.272	
Calcio, Ca ²	0.400	
Potasio, K	0.380	
Estroncio, Sr ²	0.013	
Salinidad total		34.482‰

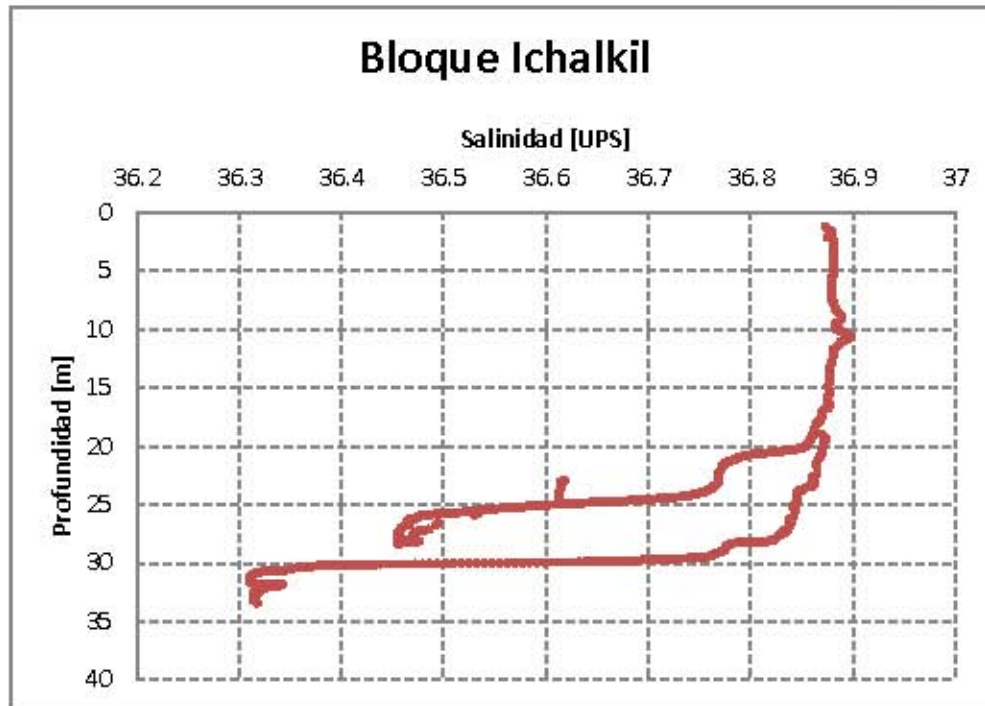
La salinidad del agua de mar en el Área Contractual 4 se encuentra en el rango de 36.32 a 36.94 Unidades Prácticas de Salinidad (UPS), con un promedio de 36.67 UPS, lo cual es natural en el Golfo de México en la zona donde se localiza el Área Contractual 4 y además se conoce que la Sonda de Campeche es la zona con la salinidad más alta de todo el Golfo de México (Grupo Interacción Océano Atmósfera, 2016). En las Gráfica 6.4, Gráfica 6.5 y Gráfica 6.6 se puede observar la marcada disminución de la salinidad conforme aumenta la profundidad de la columna de agua en el Área Contractual 4.



Gráfica 6.4 Comportamiento de la salinidad en el Área Contractual 4

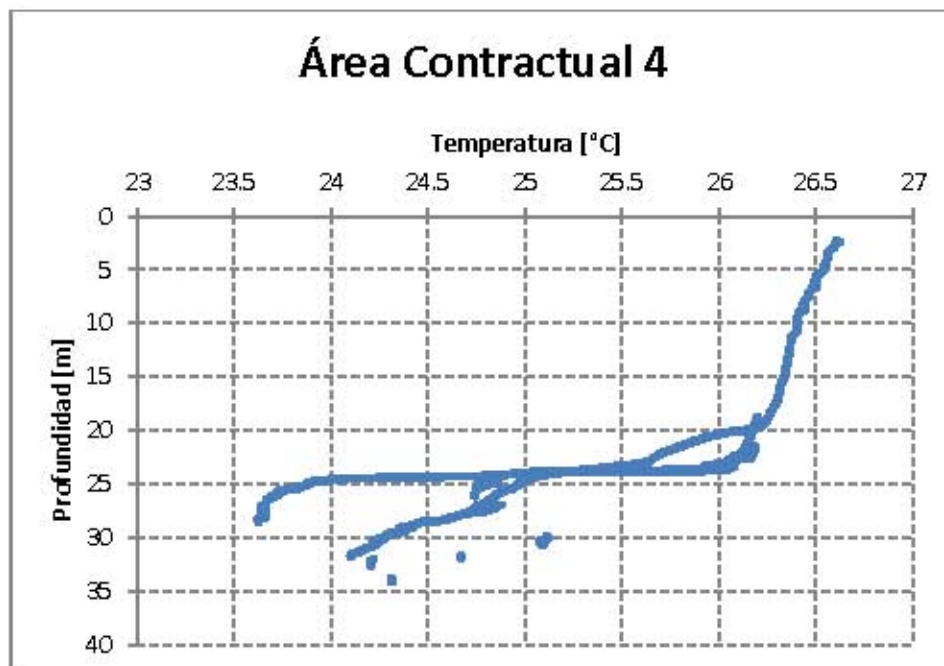


Gráfica 6.5 Comportamiento de la salinidad en el campo Pokoch



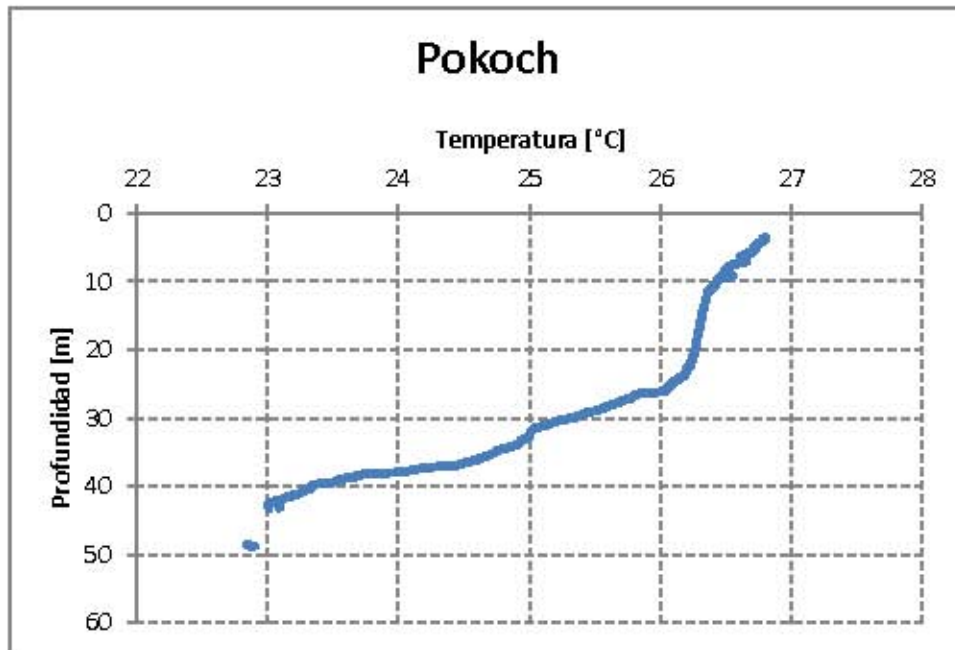
Gráfica 6.6 Comportamiento de la salinidad en el campo Ichalkil

Por su parte, la temperatura en toda la columna de agua se mantuvo entre los 22.86 y 26.86 °C, encontrándose las temperaturas más altas en la capa superficial de muestreo y con una notable tendencia a la baja en el estrato más profundo de muestreo (ver Gráfica 6.7, Gráfica 6.8 y Gráfica 6.9).

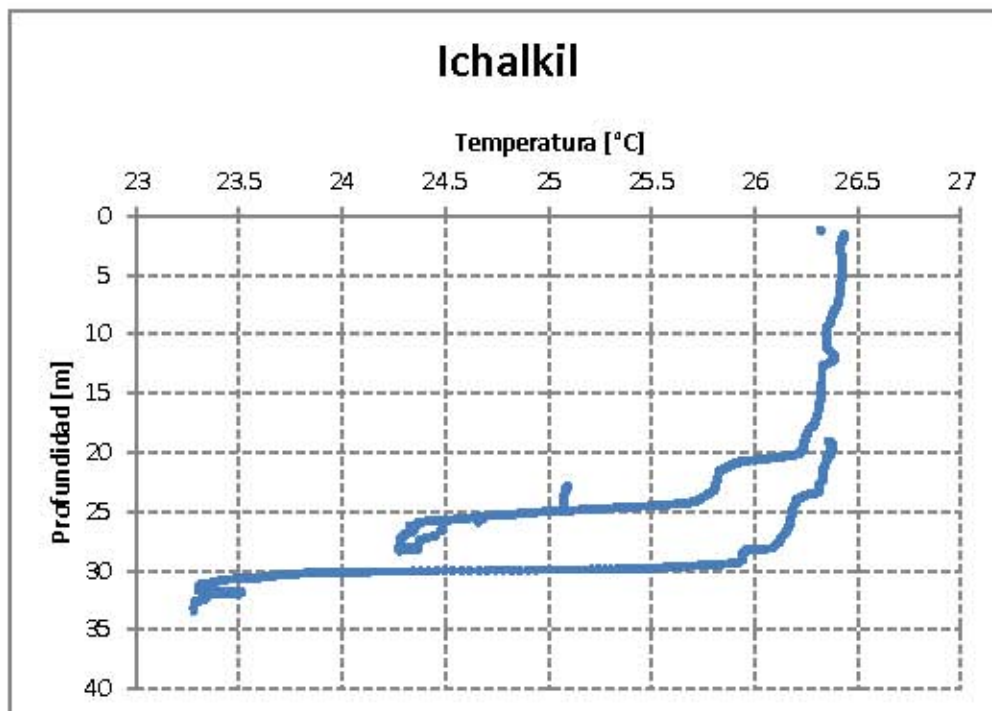




Gráfica 6.7 Comportamiento de la temperatura en el Área Contractual 4



Gráfica 6.8 Comportamiento de la temperatura en el campo Pokoch

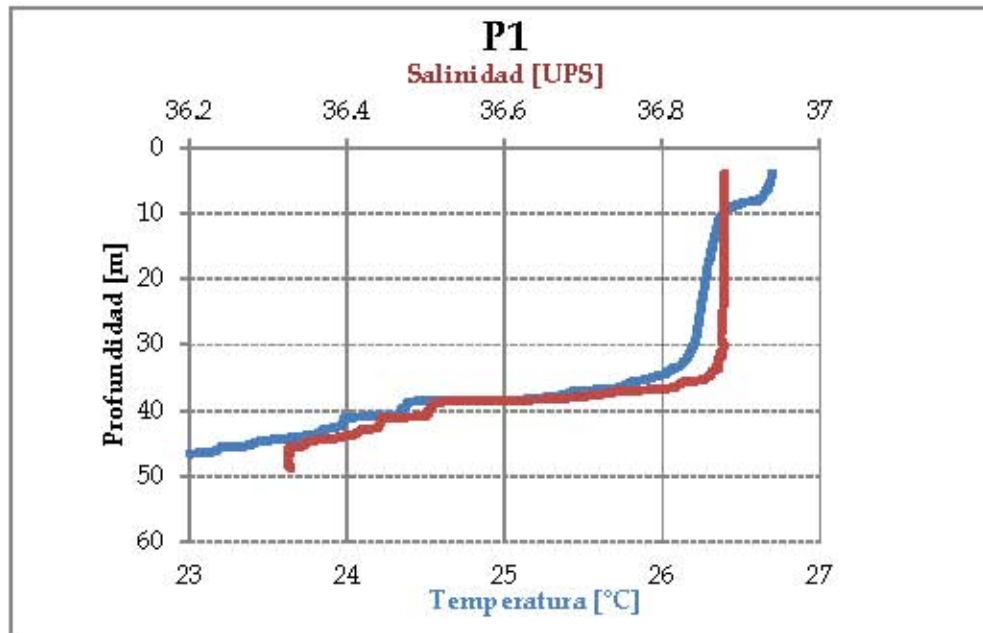


Gráfica 6.9 Comportamiento de la temperatura en el campo Ichalkil



Al contrastar las mediciones y distribución de la temperatura y salinidad se pueden determinar las masas de agua oceánicas prevalecientes al área de estudio, directamente relacionadas con la densidad encontrada en la columna de agua. A continuación se presentan las gráficas Temperatura-Salinidad de las estaciones de muestreo que se localizan dentro de los dos campos: Pokoch e Ichalkil, así como los puntos externos.

Pokoch



Gráfica 6.10 *Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en P1 del campo Pokoch*

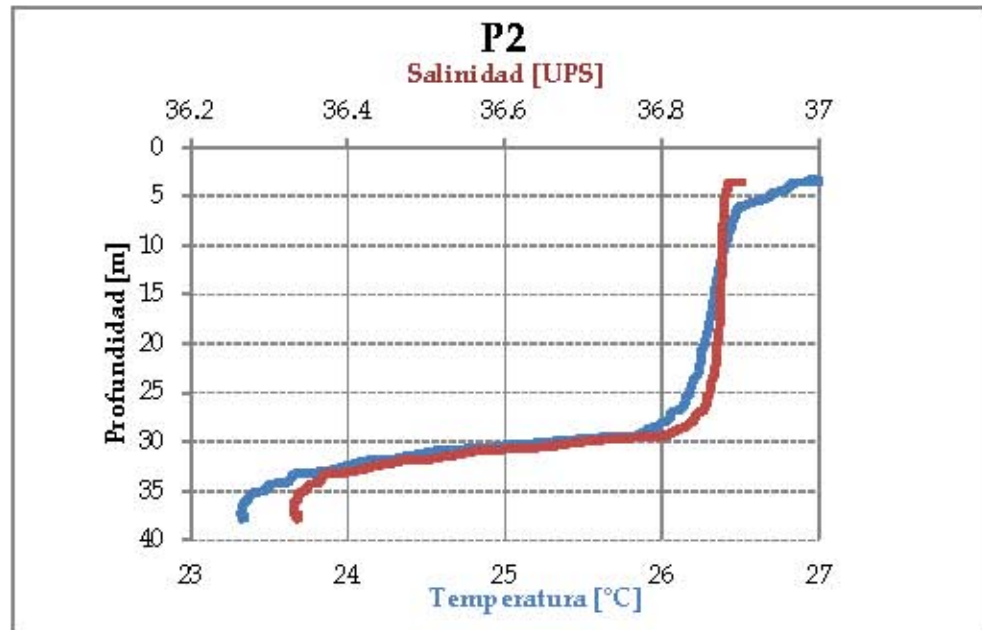
En el punto P1, al analizar el comportamiento de la salinidad contra la temperatura se pueden encontrar las siguientes aspectos que caracterizan la columna de agua; la salinidad se encuentra por encima de los 38.8 UPS hasta los 30 metros de profundidad, mientras que la temperatura a lo largo de esta misma profundidad se mantiene por encima de los 26°C, sin embargo, entre los 30 y 40 metros se forma la haloclina⁷ y termoclina⁸ indicando una modificación en la densidad de la columna del agua.

⁷ La haloclina es aquella capa de la columna de agua a partir de la cual se produce una transición y la salinidad varía rápidamente con la profundidad.

⁸ La termoclina es aquella capa de la columna de agua a partir de la cual se produce una transición y la temperatura varía rápidamente con la profundidad.

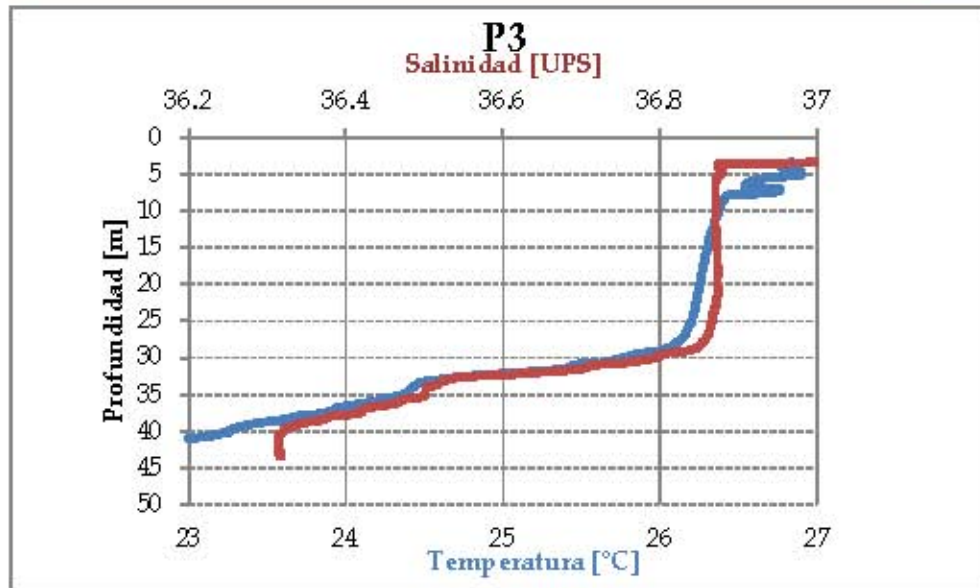


La constancia de los valores en la primera sección de la grafica indica que la capa de mezcla propiciada por la mezcla turbulenta llega hasta los 40 metros aproximadamente y de los 40 a los 50 se tiene un rango de salinidad de 36.4 a 36.8 UPS como de la temperatura de que fluctua en un rango de dos grados en un gradiente de profundidad de 40 metros.



Gráfica 6.11 Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en P2 del campo Pokoch

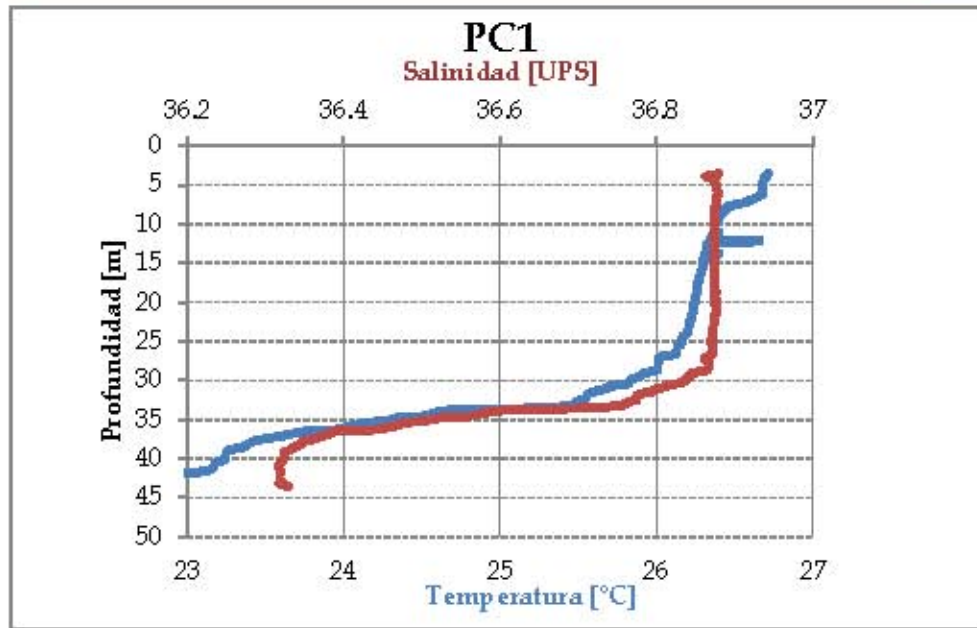
En el Punto P2 se puede notar la formación de la termoclina, y haloclina que se forman alrededor de los 30 metros de profundidad reflejando una relación directamente proporcional indicando a menor temperatura una menor salinidad para el punto de muestreo P2. Al analizar la columna de agua del océano se observa que hay fluctuaciones en la salinidad que en general producen una curva hipsográfica con un patrón típico; como se puede ver en la Gráfica 6.11, la salinidad en las aguas más superficiales es alta, debido a los procesos de evaporación. Al aumentar la profundidad, va descendiendo hasta llegar a los 500 o 1000 m, dependiendo de la latitud, donde la salinidad alcanza su valor mínimo, y que es el lugar donde se sitúa la haloclina oceánica. A partir de ahí, la salinidad aumenta suavemente con la profundidad.



Gráfica 6.12 Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en P3 del campo Pokoch

Para el punto P3 se puede determinar la formación de la termoclina alrededor de los 30 metros de profundidad nuevamente se puede observar que hay fluctuaciones en la salinidad que en general producen una curva hipsográfica con un patrón típico para esa zona del Golfo presentando la capa de mezcla turbulenta entre los 5 y 10 metros de profundidad, y mostrando la presencia de una masa de agua oceánica para la zona.

En el punto de muestreo PC1 que se muestra en la a continuación se pudo determinar la presencia de la haloclina y la termoclina entre los 25 y los 30 metros misma que nos revela la presencia de una masa de agua oceánica como se esperaría para esta zona del Golfo de México; se puede notar la capa de mezcla turbulenta entre los 0 y los 20 metros de profundidad y, también se puede notar una relación directamente proporcional con una leve variación dentro del rango de los 36.4 a los 36.8 UPS de salinidad para la columna de agua y un gradiente de temperatura que fluctuó en únicamente 3 °C siendo la zona más cálida la zona superficial y la más fría la zona profunda de la columna de agua.



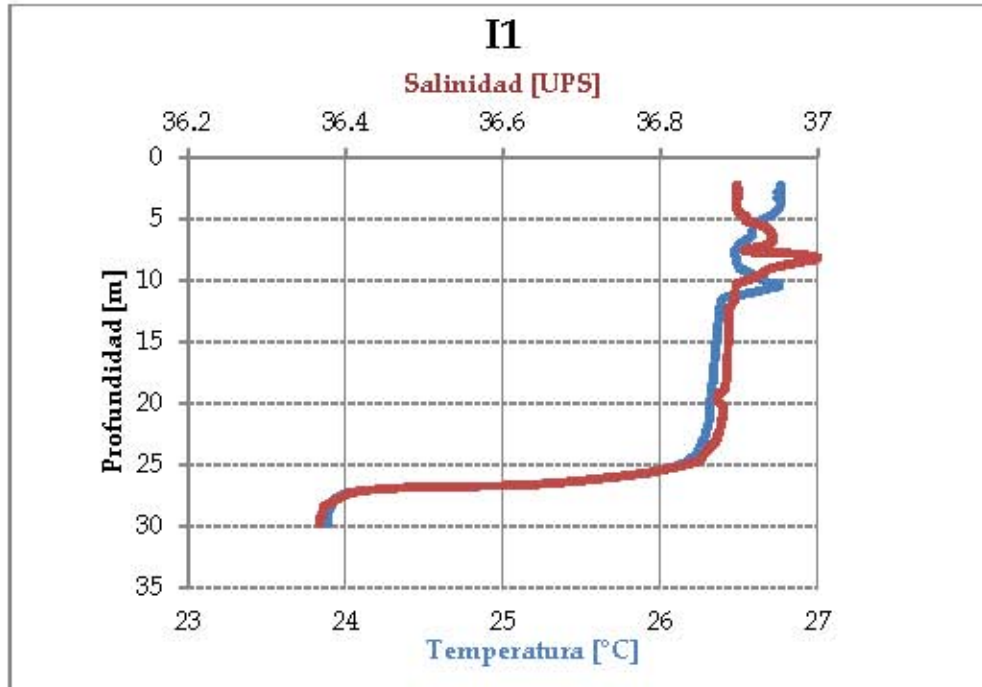
Gráfica 6.13 Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en PC1 del campo Pokoch

En resumen del área contractual Pokoch, en general se pudo encontrar la presencia de una haloclina y termoclina muy similar para cada uno de los puntos muestreados alrededor de los 30 y 35 metros de profundidad, excepto por el punto P1 mismo que se encuentra más al norte y en la zona más profunda del área contractual, lo que explica también la profundidad de la termoclina.

Con las mediciones tomadas en campo en el área contractual Pokoch se pudo determinar la presencia de una sola masa de agua oceánica y su zona de mezcla turbulenta, la denominada Agua Común del Golfo que se encuentra entre los 0 y los 150 metros de profundidad, y que presenta una salinidad promedio de 36.4 a 36.8 UPS. Por lo anterior se puede determinar que el comportamiento de la columna vertical es el reportado en la literatura para la zona.

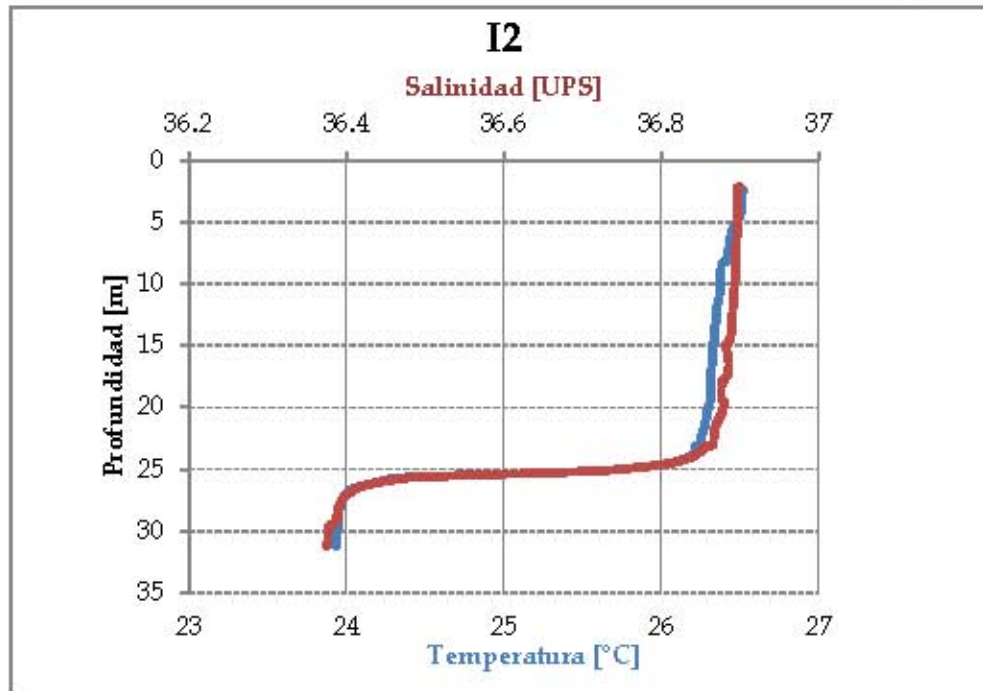


Ichalkil



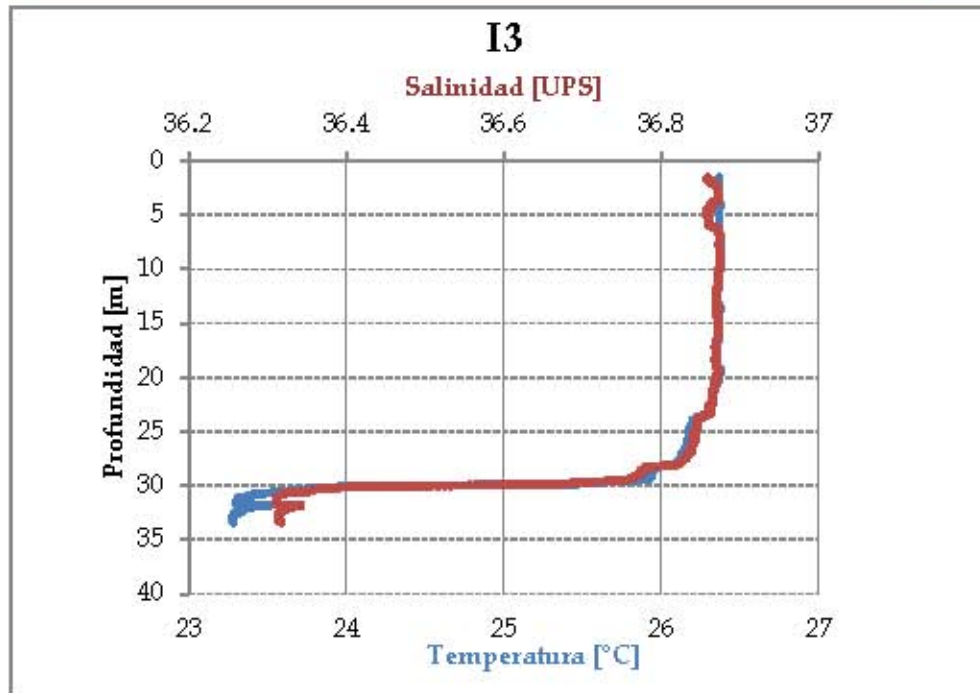
Gráfica 6.14 Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en I1 del campo Ichalkil

En el punto de muestreo I1 se puede notar la presencia de capa de mezcla turbulenta entre los cero y los 12 metros de profundidad; así mismo se puede determinar la haloclina actuando de manera directamente proporcional con la termoclina que se encuentra situada entre los 25 y 30 metros. Esta curva hipsográfica permite visualizar la presencia de una masa de aguas oceánicas, previamente descrita en la bibliografía para la zona.



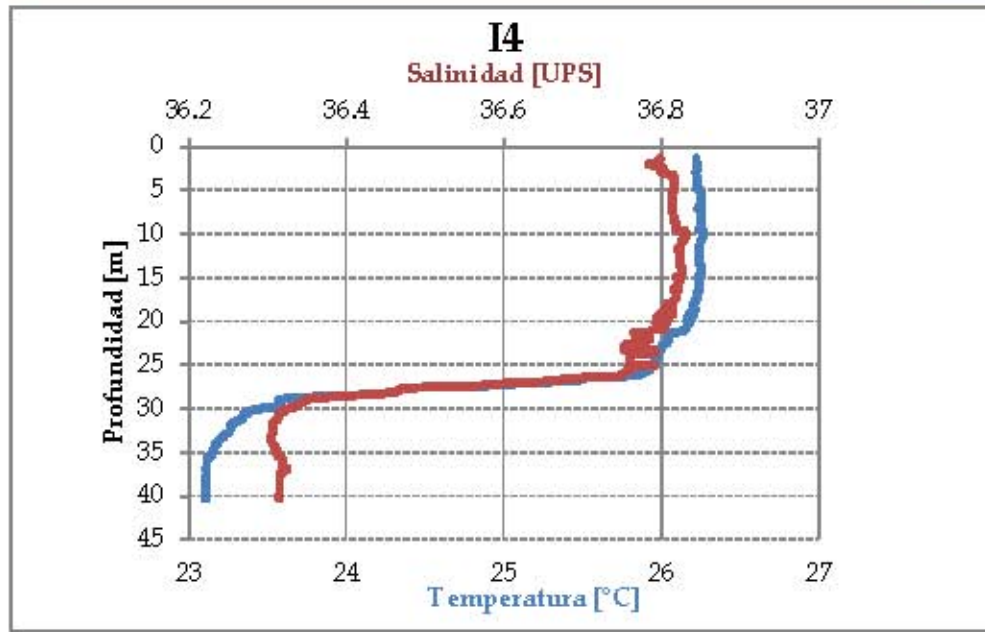
Gráfica 6.15 *Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en I2 del campo Ichalkil*

En el punto I2 se puede notar una termoclina perfectamente delimitada a los 25 metros de profundidad, de manera casi paralela con la haloclina, lo cual permite la visualización de la presencia de una masa de agua oceánica. Se muestra un ligero gradiente de salinidad de 36.4 a 36.8 UPS, así como un gradiente de temperatura de 24 a 27°C, encontrándose la temperatura más alta en la zona de la superficie y la más baja en la zona mas profunda de la columna de agua.



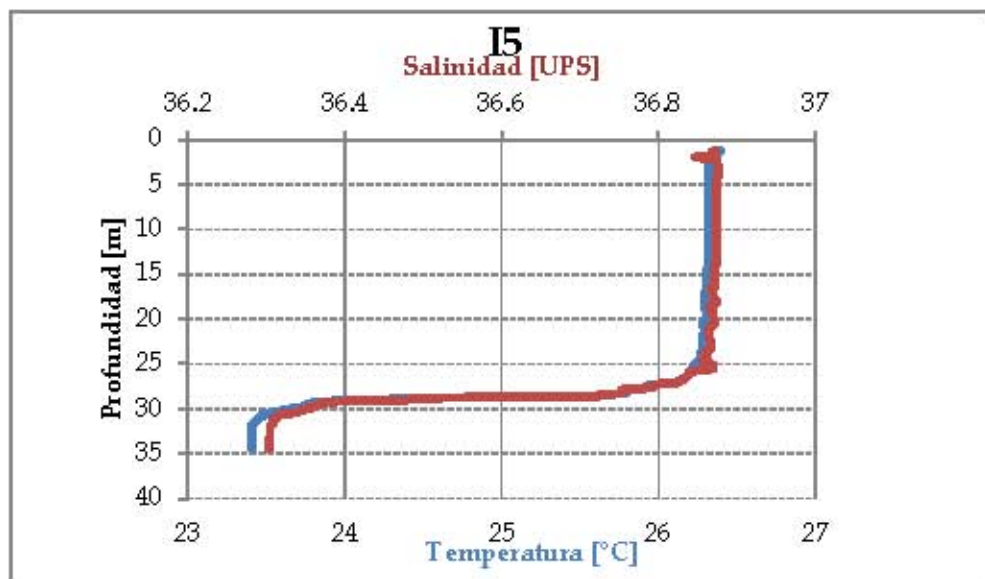
Gráfica 6.16 *Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en I3 del campo Ichalkil*

Para el punto I3 se puede ver la haloclina la termoclina a la profundidad de 30 metros, ambas variables están actuando casi paralelamente, lo que permite determinar la presencia de dos masas de agua oceánica y una zona de mezcla turbulenta de un ancho de 30 metros de profundidad. La temperatura varía en un rango de 3°C entre los 23.5 y los 26.5, encontrándose las temperaturas más altas en la zona de mezcla y las más bajas en la parte mas profunda de la columna de agua. Las condiciones que presenta la columna de agua en este punto son las condiciones reportadas en la literatura para esta zona del Golfo de México.



Gráfica 6.17 Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en I4 del campo Ichakil

El punto I4 presenta una termoclina y haloclina a la profundidad de 27 metros, así mismo se puede determinar la presencia de una masa de agua oceánica la temperatura fluctuó entre los 23 y lo 26°C y la salinidad se encontró en el rango de de los 36.2 a los 36.8 UPS, el cual es característico de las masas de agua oceánica presentes en el Golfo de México a esta latitud y profundidad.

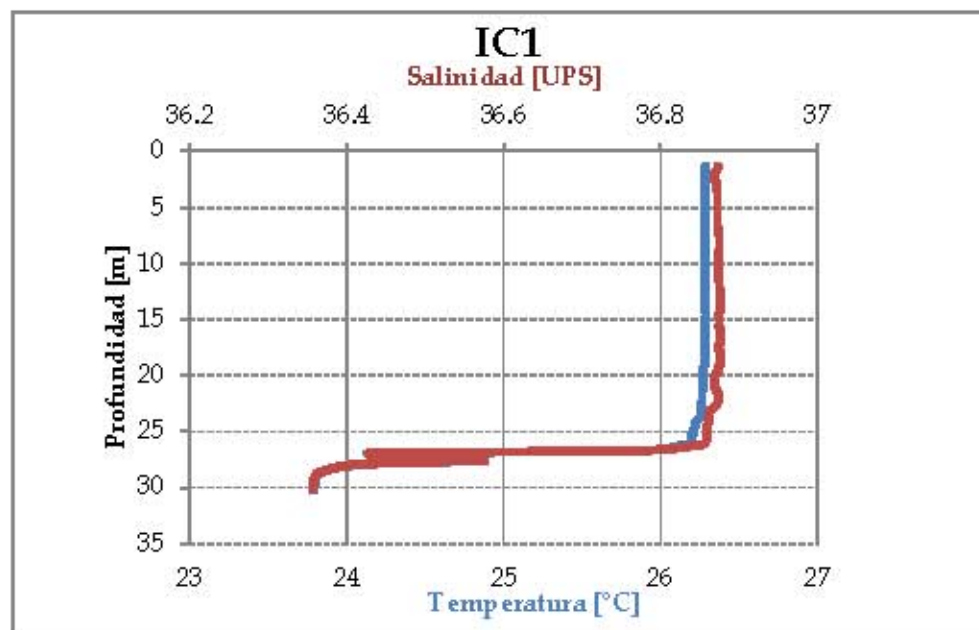


Gráfica 6.18 Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en I5 del campo Ichalkil

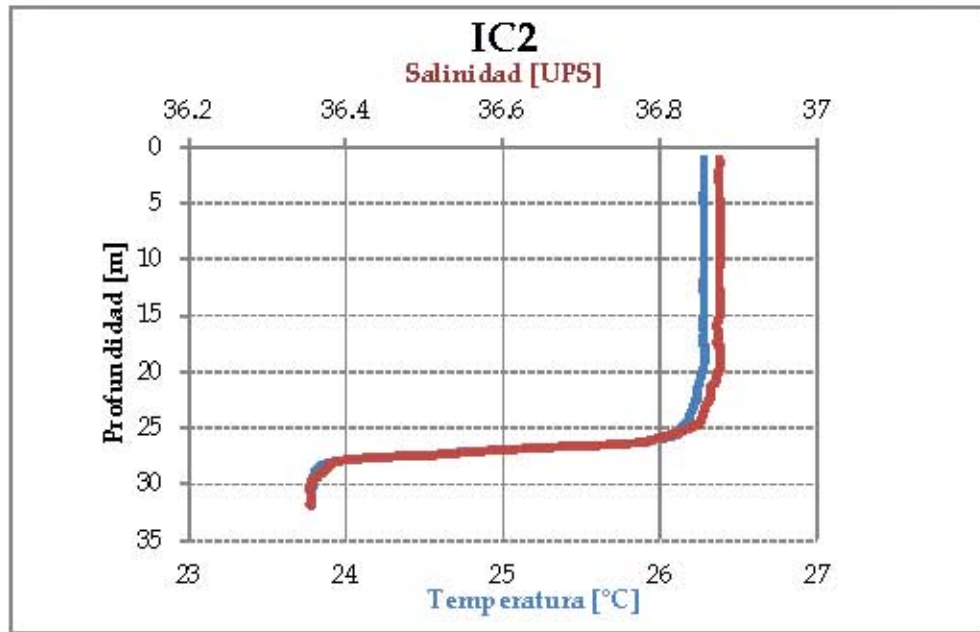


La termoclina y haloclina para el punto de muestreo I5 se encontró entre los 25 y los 35 metros de profundidad, teniendo este mismo ancho la capa de mezcla turbulenta, el gradiente de salinidad en este punto se tiene entre las 36.2 y las 36.8 UPS de salinidad, el rango de temperatura encontrado varia entre los 23 y los 26°C, encontrándose las temperaturas más bajas en la zona más profunda de la columna de agua y las temperaturas mas altas en la zona superficial.

En el punto IC1 se encontró una marcada termoclina y haloclina entre los 25 y 30 metros de profundidad, encontrándose una capa de mezcla de la misma profundidad, los rangos de salinidad varían entre las 36.4 y las 36.8 UPS la temperatura se encontró dentro del rango de los 24 y 26°C. El punto IC2 presenta un comportamiento muy similar al IC1.



Gráfica 6.19 Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en IC1 del campo Ichalkil

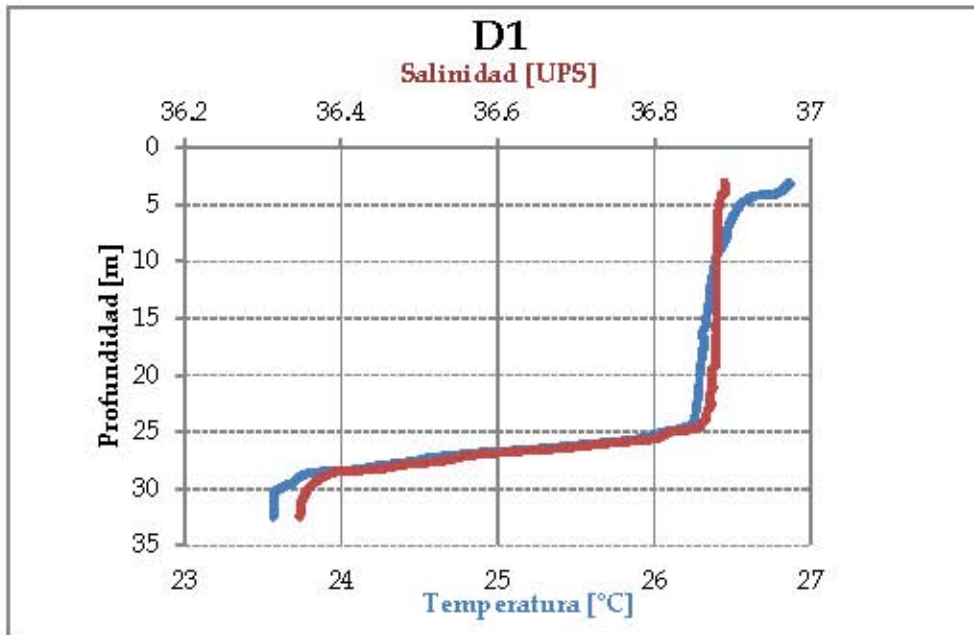


Gráfica 6.20 Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en IC2 del campo Ichalkil

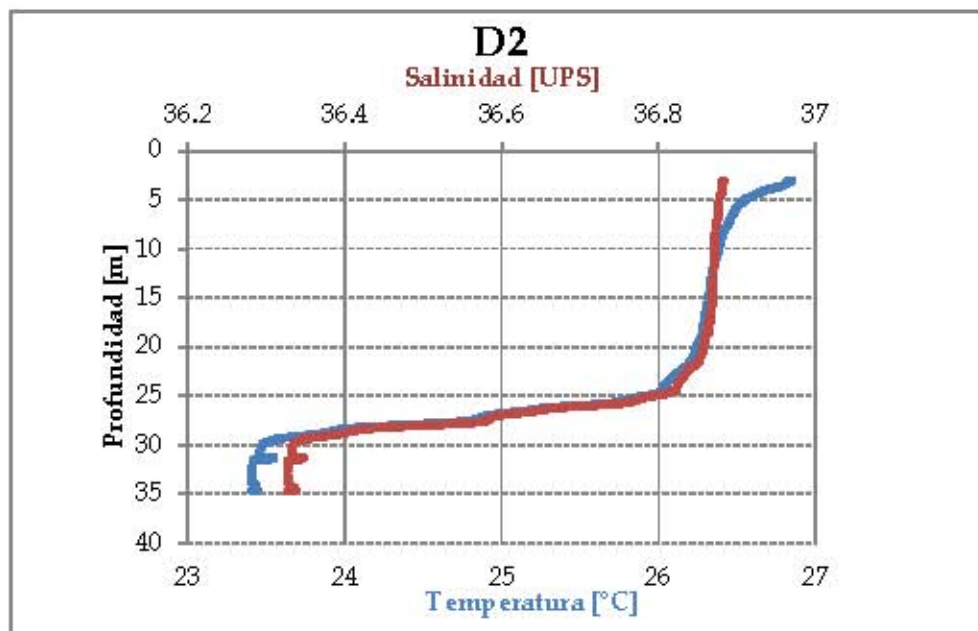
En resumen para el área contractual Ichalkil la termoclina y la haloclina tuvieron un comportamiento muy similar, encontrándose estas a una profundidad entre los 25 y los 30 metros, siendo la capa de mezcla turbulenta del mismo tamaño, con lo anterior se puede determinar la presencia de una sola masa de agua oceánica, la denominada de Agua Común del Golfo, la misma que se encuentra presente desde la superficial hasta los 500 metros de profundidad (Vidal, 1990), y presenta una salinidad máxima cercana a 36.8 UPS; por lo tanto, se puede decir que el comportamiento de la columna de agua en la zona del área contractual Ichalkil presenta las condiciones previamente reportadas para el sitio en la bibliografía disponible.



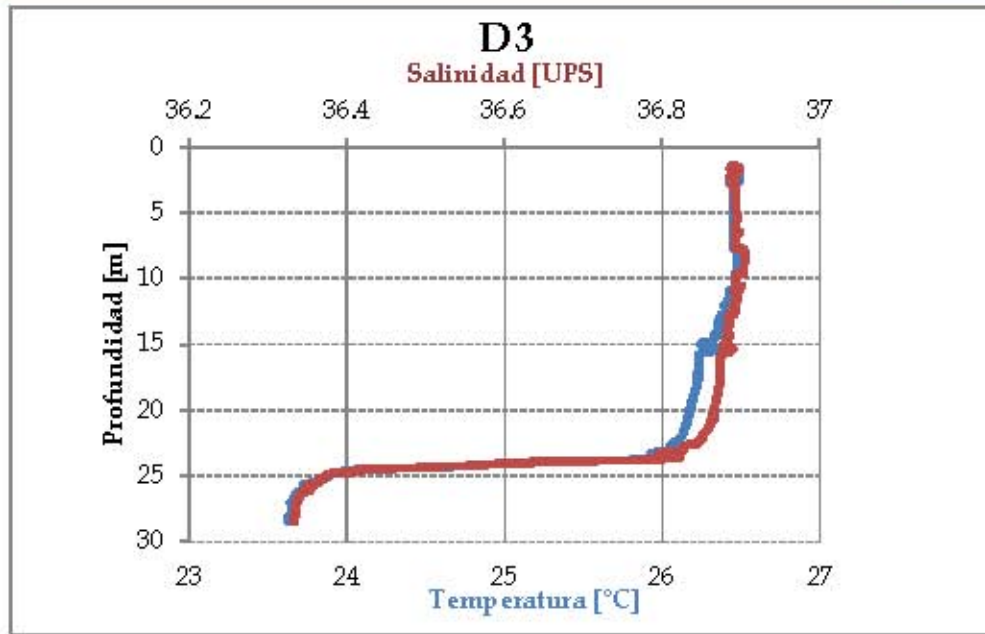
Ductos



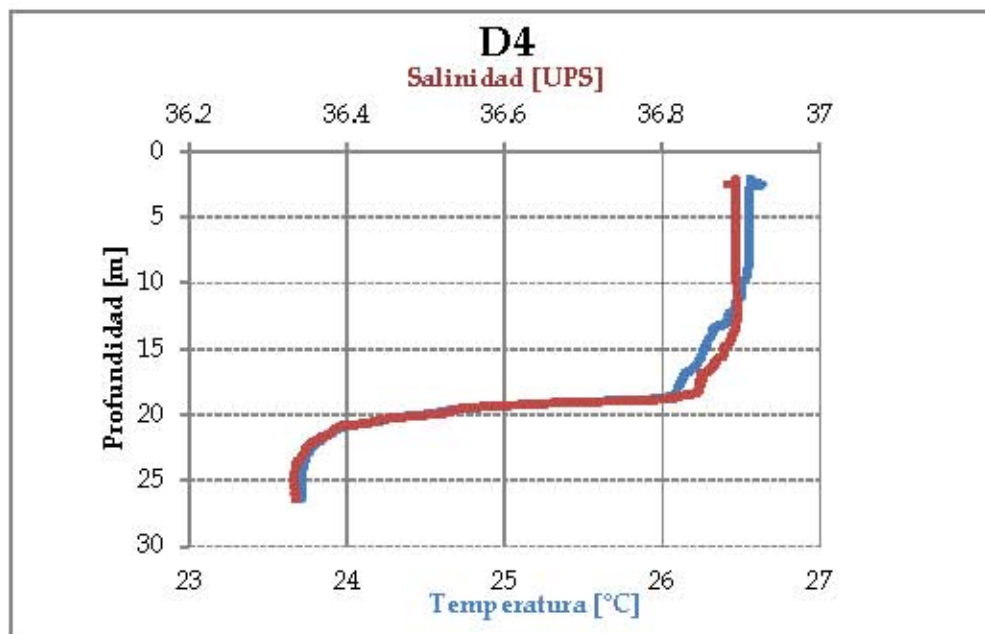
Gráfica 6.21 Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en el punto de muestreo D1



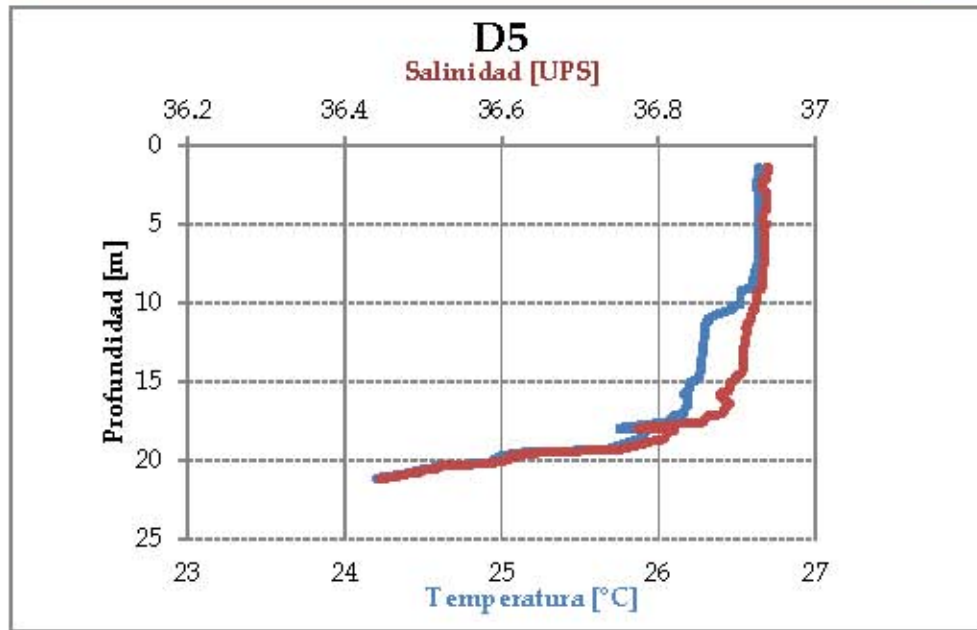
Gráfica 6.22 Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en el punto de muestreo D2



Gráfica 6.23 Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en el punto de muestreo D3



Gráfica 6.24 Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en el punto de muestreo D4



Gráfica 6.25 Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en el punto de muestreo D5

Los puntos nombrados con la letra D se refieren a puntos de muestreo a lo largo de las líneas de ductos que se encuentran entre las áreas contractuales de Ichalkil y Pokoch, no corresponden a las áreas consideradas para la caracterización dentro de la Línea Base sin embargo se tomaron muestras de los parámetros conservativos que se analizan en este apartado.

Cabe mencionar que los puntos D1 y D2 presentaron una termoclina y haloclina directamente proporcionales que están entre los 25 y 30 metros mostrando una zona de mezcla turbulenta y dos masas de agua oceánica a lo largo de la columna vertical; también es necesario considerar que los puntos D1 y D2 son los puntos de muestreo sobre el área de ductos que se encuentra en la zona más al norte adyacente al área contractual Pokoch, así mismo esta zona presenta mayor profundidad que la que se encontró en los puntos D3, D4 y D5 que se encuentra en la zona de ductos, al sur del área contractual Ichalkil y mucho más cercanos a la costa.

El punto D3, presentó una termoclina y haloclina muy similares en comportamiento entre los 20 y los 25 metros de profundidad los puntos D4 y D5 presentaron una haloclina y termoclina entre los 15 y 20 metros, misma que se explica por su cercanía a la costa ya que se encuentran al sur de las áreas contractuales en estudio.

De estos puntos en conjunto se puede decir que la columna de agua presenta las características esperadas para esta zona del Golfo de México pudiéndose observar la presencia de dos masas de agua oceánica; las denominadas Agua Común del Golfo misma que se encuentra desde la capa superficial hasta los 150 metros de

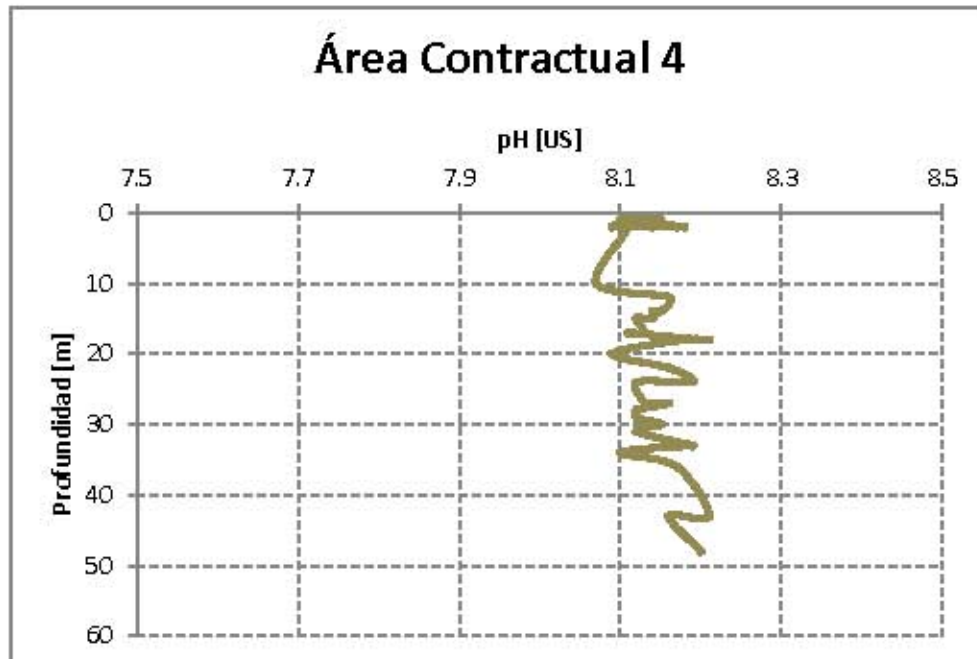


profundidad, así como la zona de la mezcla turbulenta de la misma, que genera la curva hipsográfica presentada en las gráficas que se han analizado.

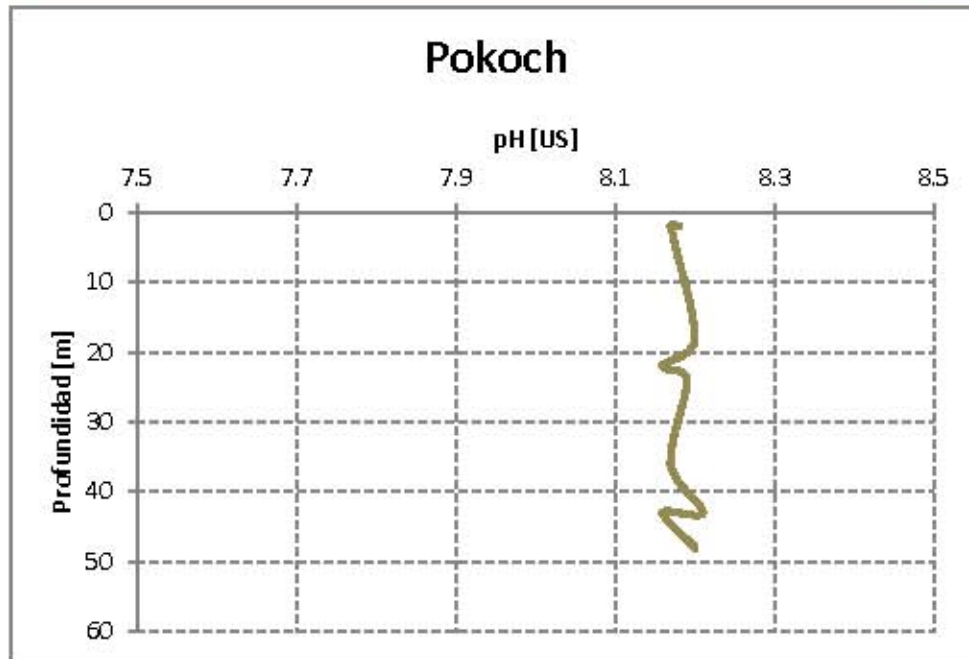
Resultados y análisis de pH

En el mar la alcalinidad está dada por la carga negativa de los iones de carbonato y bicarbonato disueltos en el agua marina, expresada en concentraciones molares. La concentración de los iones de carbonato decrecen con la profundidad y por lo general el agua de grandes profundidades es más ácida que el que el agua superficial. El agua oceánica puede ser ligeramente alcalina, el valor de pH generalmente fluctúa entre los 7.5 y 8.4 y varía en función de la temperatura, la salinidad, la presión y la profundidad. Cuando aumenta la profundidad el pH puede disminuir y presentar mayor acidez (Cifuentes *et al.*).

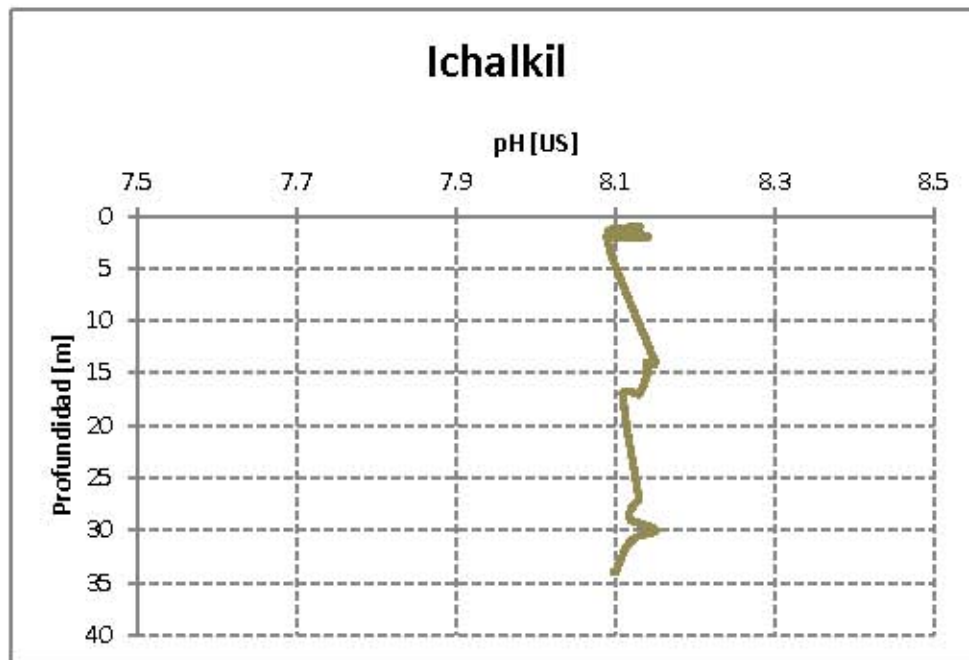
En el Área Contractual 4 el potencial Hidrógeno (pH) varió entre los 8.03 y 8.21 unidades de pH lo que implica una variación muy baja de 0.18 unidades en todo el área de estudio (ver Gráfica 6.26, Gráfica 6.27 y Gráfica 6.28). Estos valores caen dentro del promedio mundial antes mencionado, lo cual significa que el pH en el Área Contractual 4 se encuentra dentro de los parámetros normales para el desarrollo de la dinámica marina y de la biota presente.



Gráfica 6.26 Comportamiento del pH en el Área Contractual 4



Gráfica 6.27 Comportamiento del pH en el campo Pokoch



Gráfica 6.28 Comportamiento del pH en el campo Ichalkil

Resultados y análisis de oxígeno disuelto y turbidez

En aguas oceánicas superficiales bien mezcladas, la composición típica de gases disueltos incluye un 64% de nitrógeno (N₂), 34% de oxígeno (O₂) y 1.8% de dióxido

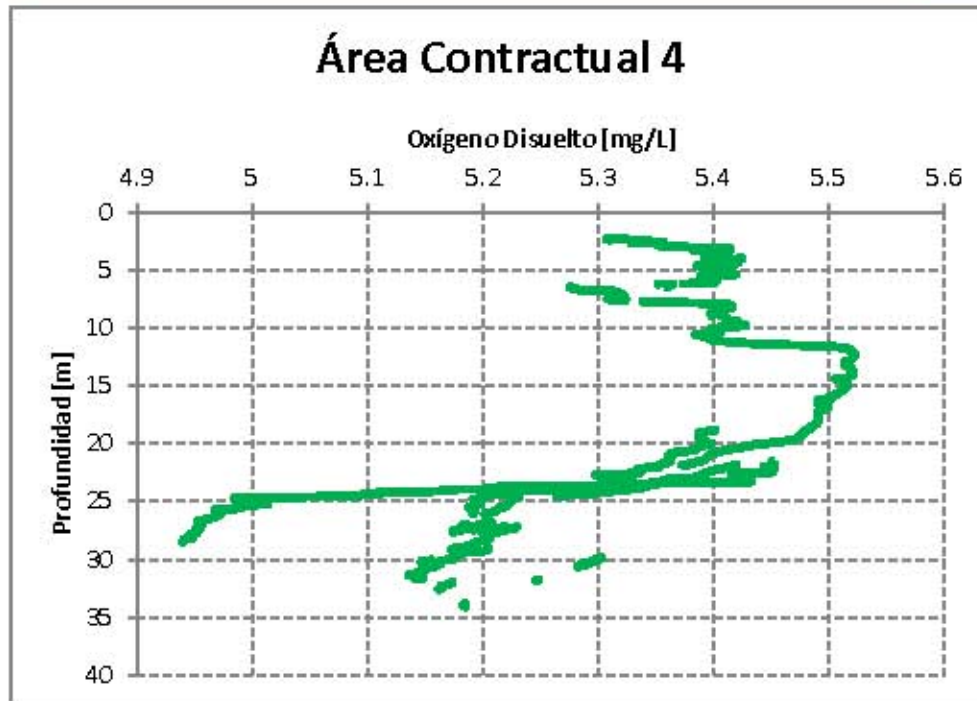


de carbono (CO_2), este último está muy por encima del 0.04% que se encuentra en el aire libre. El oxígeno (O_2) abunda sobre todo en la superficie, donde predomina la fotosíntesis sobre la respiración, y suele presentar su mínimo hacia los 400 m de profundidad, donde los procesos de mezcla y difusión superficial ya no alcanzan, pero donde todavía es alta la densidad de organismos consumidores, que lo agotan.

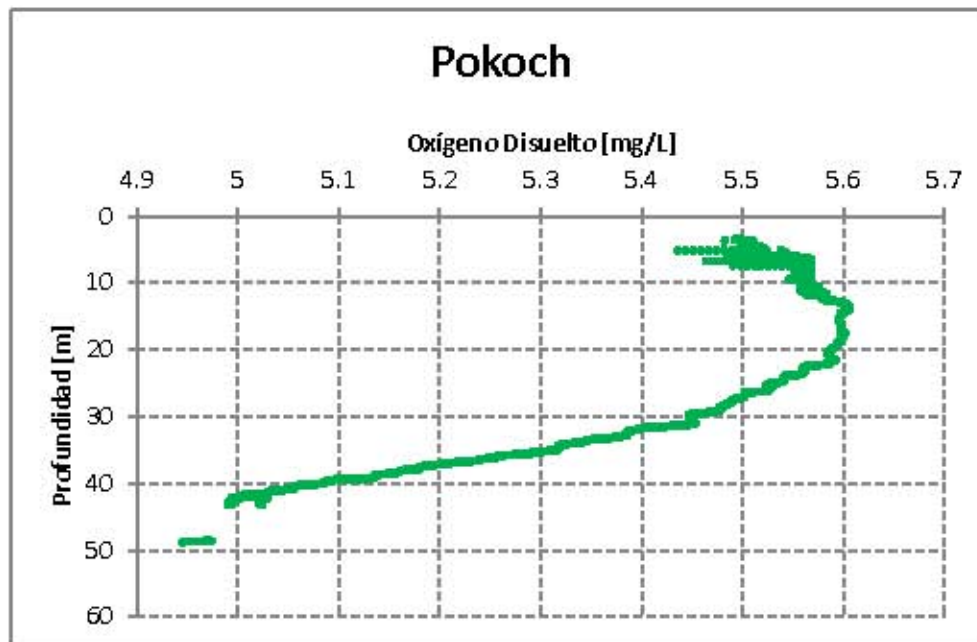
Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) a lo largo del Área Contractual 4 (ver Gráfica 6.29, Gráfica 6.30 y Gráfica 6.31) fluctuaron entre 3.88 a 5.61 en la zona superficial, entre 4.85 a 5.63 ml/L en un rango de profundidad entre 10 y 29 metros para la zona media de la columna de agua, y entre 4.87 a 5.52 ml/L a un rango de profundidad entre 30 y 48 metros. Las concentraciones más altas se encontraron en la capa media de agua (10 a 29 m) y tendieron a disminuir conforme aumentó la profundidad hacia el fondo marino, lo cual es consistente con los procesos de mezcla derivada de la acción de los vientos predominantes en la zona del Golfo de México, así como con los procesos asociados a los fondos marinos.

Las concentraciones de OD en el agua de fondo indican que el ambiente no es anóxico, lo cual es consistente con estudios previos que indican que la capa mínima del OD en el golfo de México se encuentra entre los 200 y 600 m de profundidad, siendo 2.5 ml/L (de la Lanza, 2001), de tal manera que valores superiores a los mencionados en las profundidades del Área Contractual 4 son normales en el Golfo de México.

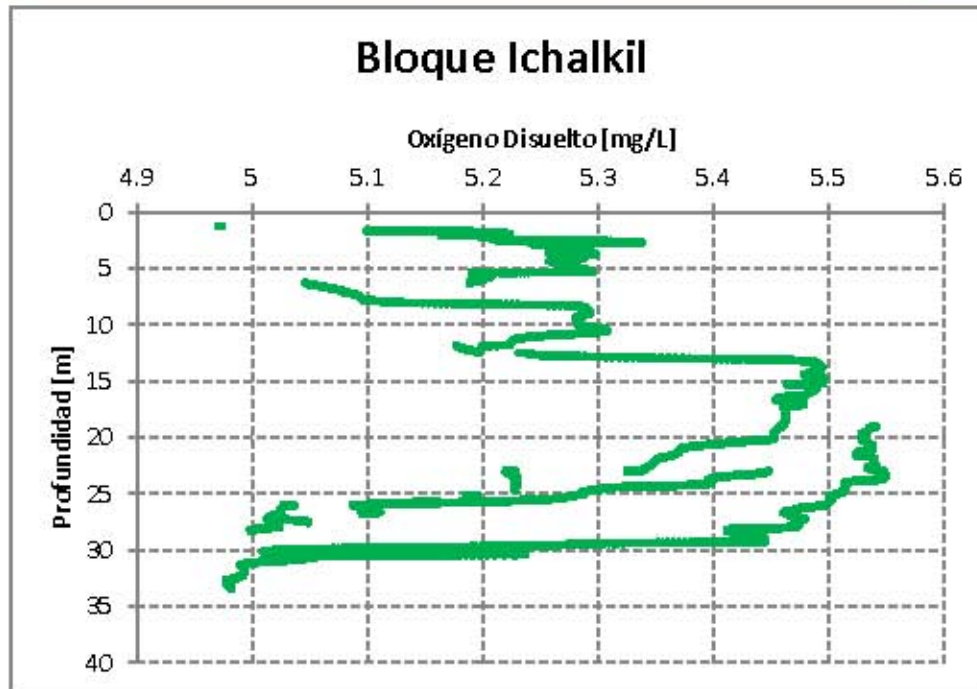
Las concentraciones de OD reportados por el laboratorio analítico están en un rango de 7.11 a 9.20 ml/L y son claramente mayores a las concentraciones detectadas en campo, esto se asocia a la oxigenación que sufrieron las muestras durante el traslado al laboratorio.



Gráfica 6.29 Comportamiento del oxígeno disuelto en el Área Contractual 4



Gráfica 6.30 Comportamiento del oxígeno disuelto en el campo Pokoch

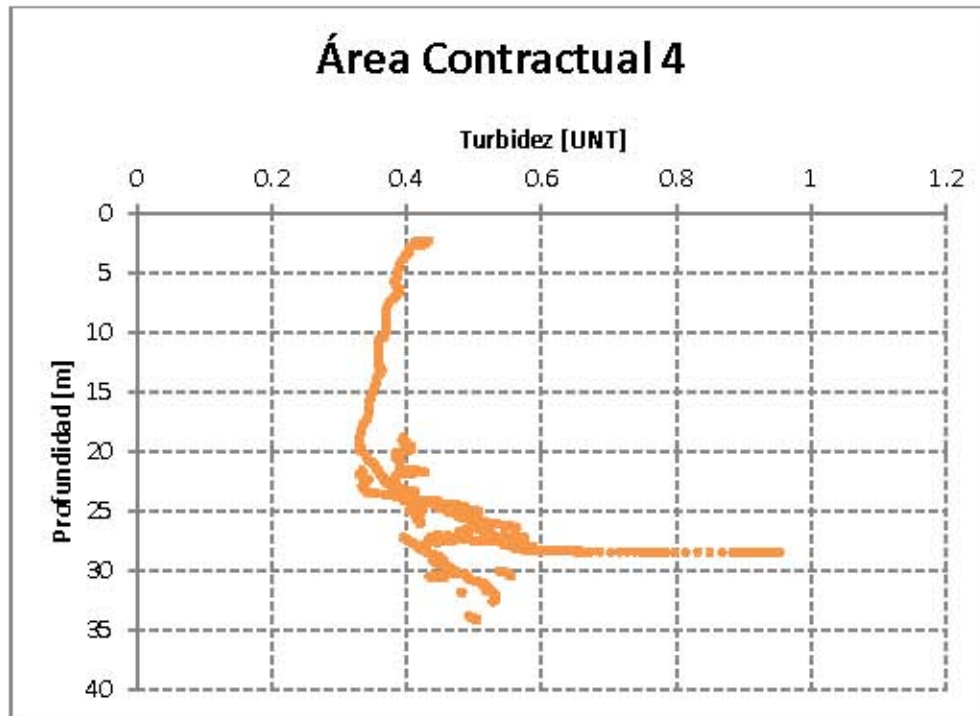


Gráfica 6.31 Comportamiento del oxígeno disuelto en el campo Ichalkil

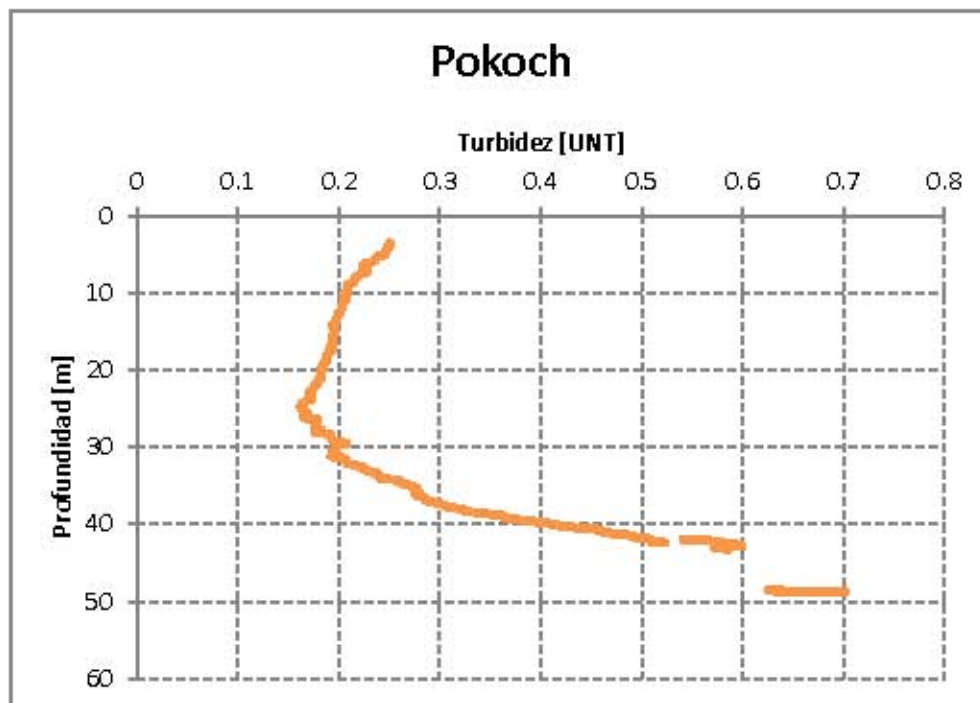
Por otro lado, la turbidez es un parámetro que constituye un indicador general de la calidad del agua aunque no ofrece resultados sobre un contaminante específico y se mide en NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez. Los factores que inciden en los incrementos de la turbidez en el agua marina pueden ser de origen natural o antrópico, y son de importancia para el Área Contractual 4 ya que se encuentra rodeada por plataformas petroleras.

En el Área Contractual 4, los valores de turbidez (ver Gráfica 6.32, Gráfica 6.33 y Gráfica 6.34) tiene un comportamiento similar en todas las muestras, siendo que la turbidez baja en las profundidades media de la columna total de agua y después aumenta en la profundidad máxima. En las muestras superficiales se encontró una variación entre 0.21 y 0.76 UNT, para las muestras en la zona media de la columna se encontró una fluctuación entre 0.20 y 0.81 UNT y para las muestras que se tomaron en la zona más profunda de la columna de agua se tuvo un rango entre 0.24 y 1.01 UNT. La guía de calidad del agua de British Columbia en Canadá, establece que la turbidez no debe exceder 8.00 UNT en 24 horas para que el agua sea adecuada para la vida acuática, los valores de turbidez del agua de mar del Área Contractual 4 se encuentran debajo de este límite máximo.

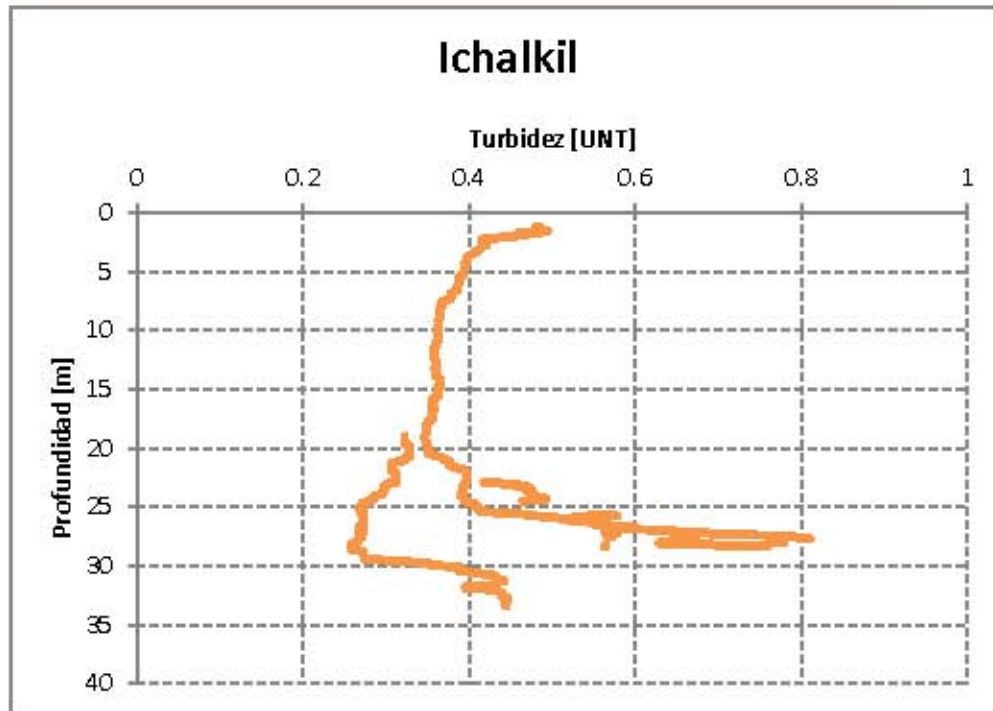
A pesar de que el Área Contractual 4 se encuentra cerca de múltiples plataformas petroleras, no se aprecian valores de turbidez tan altos que puedan ser asociados con vertidos antropogénicos provenientes de las plataformas.



Gráfica 6.32 Comportamiento de la turbidez en el Área Contractual 4



Gráfica 6.33 Comportamiento de la turbidez en el campo Pokoch

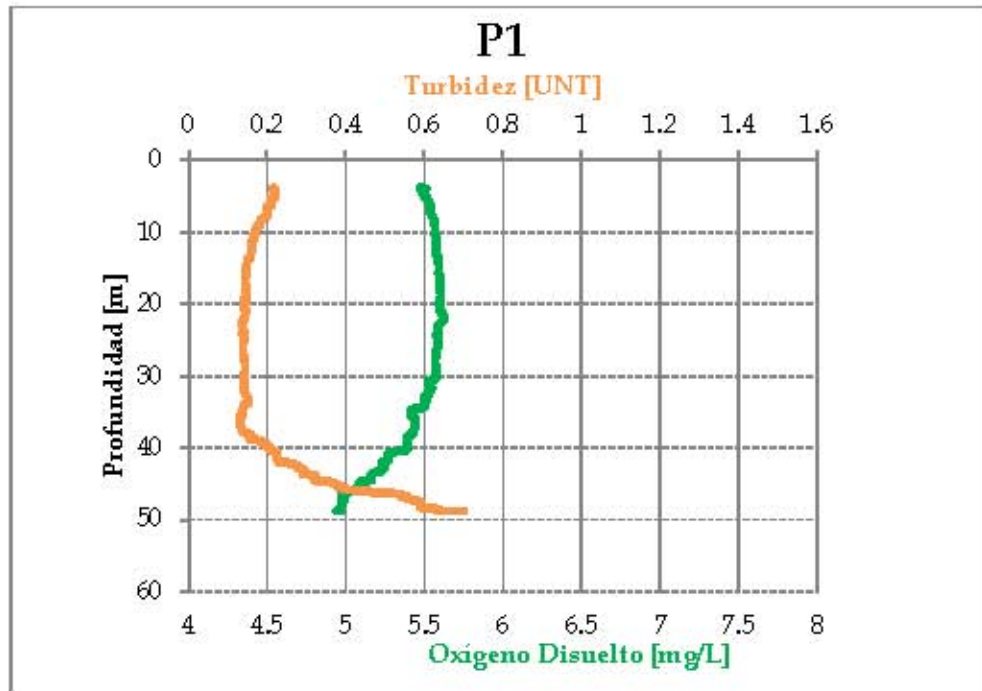


Gráfica 6.34 Comportamiento de la turbidez en el campo Ichalkil

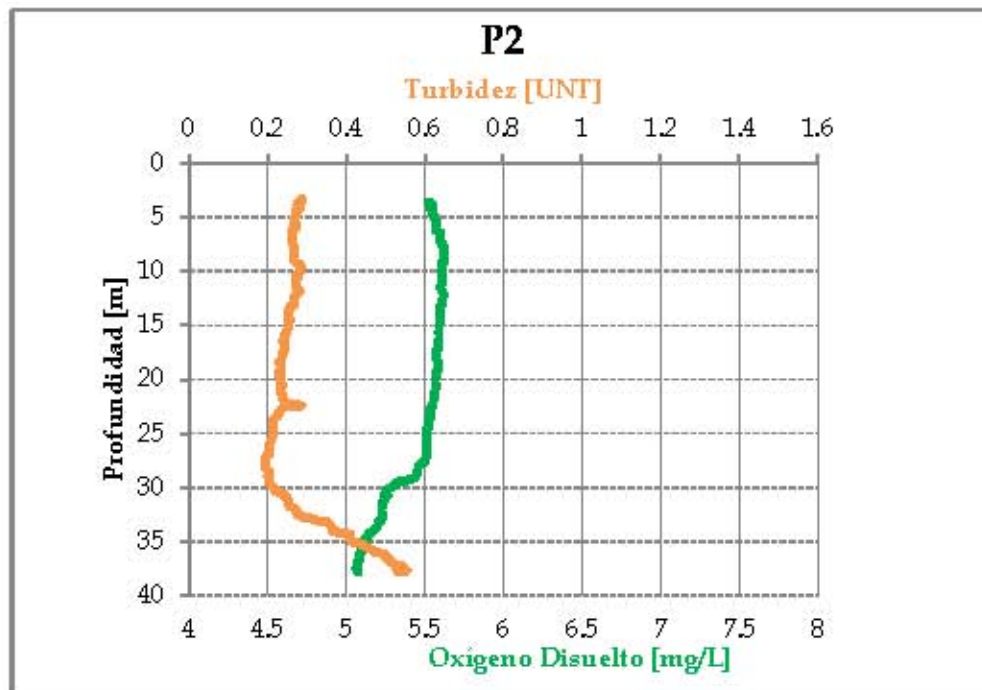
A continuación se presentan las gráficas Oxígeno Disuelto-Turbidez de las estaciones de muestreo que se localizan en el Área Contractual 4.



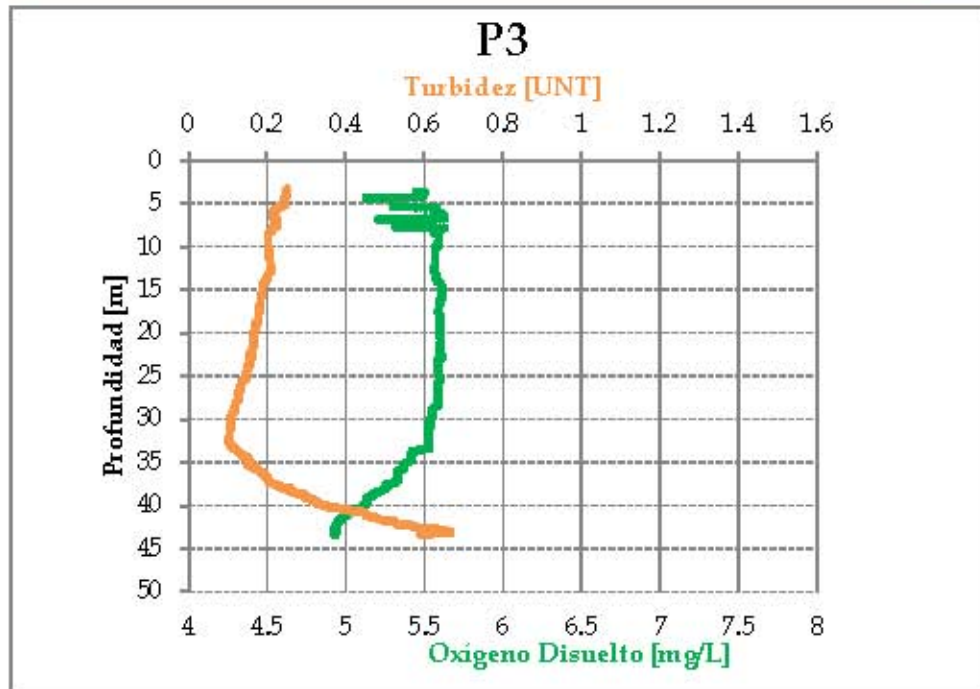
Pokoch



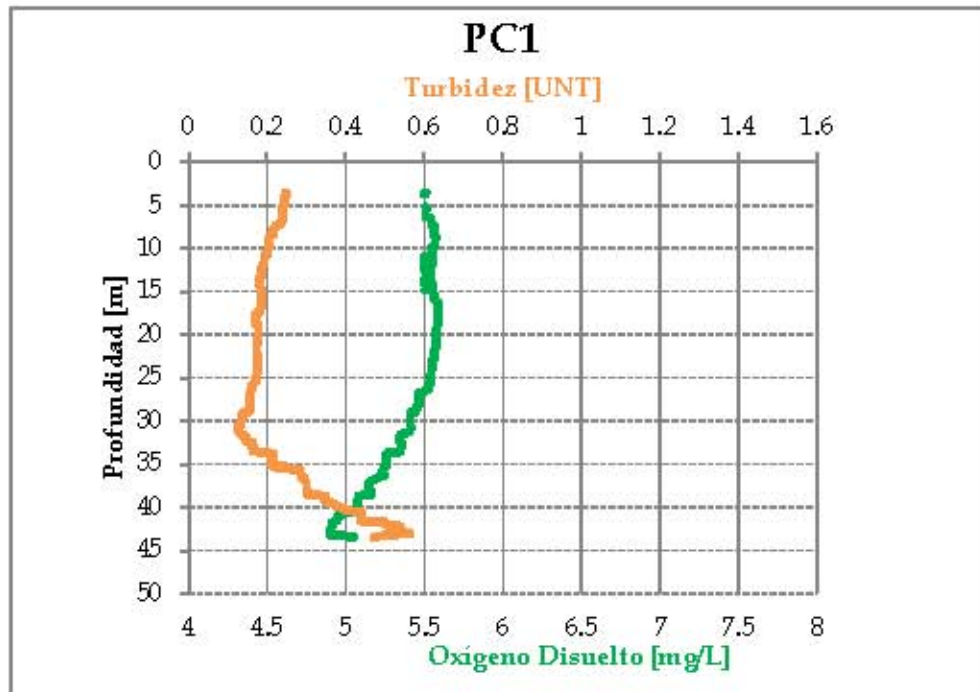
Gráfica 6.35 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en P1 del campo Pokoch



Gráfica 6.36 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en P2 del campo Pokoch



Gráfica 6.37 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en P3 del campo Pokoch



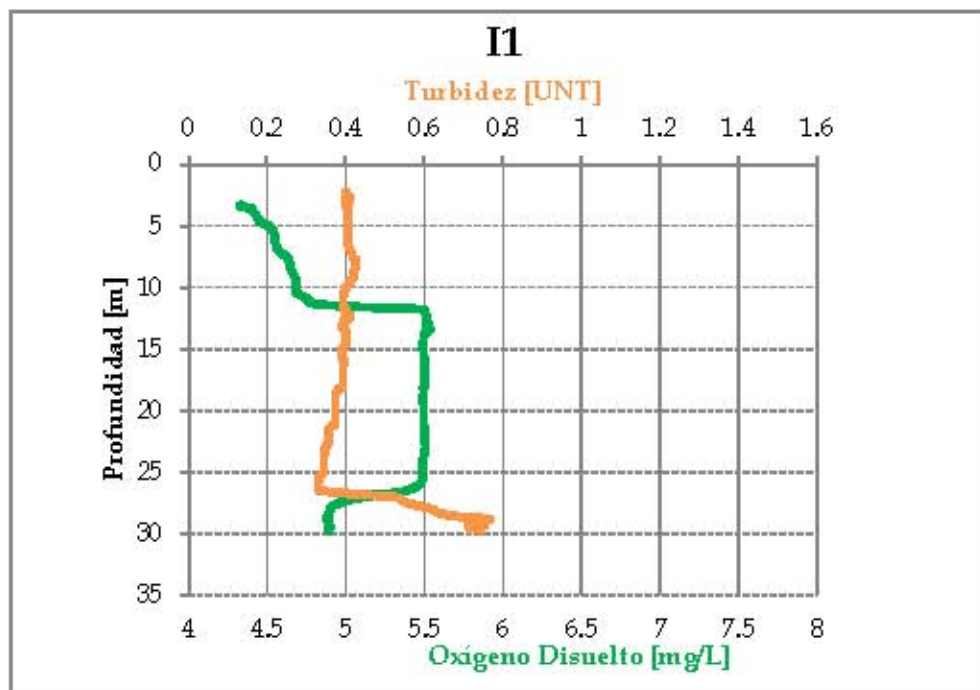
Gráfica 6.38 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en PC1 del campo Pokoch



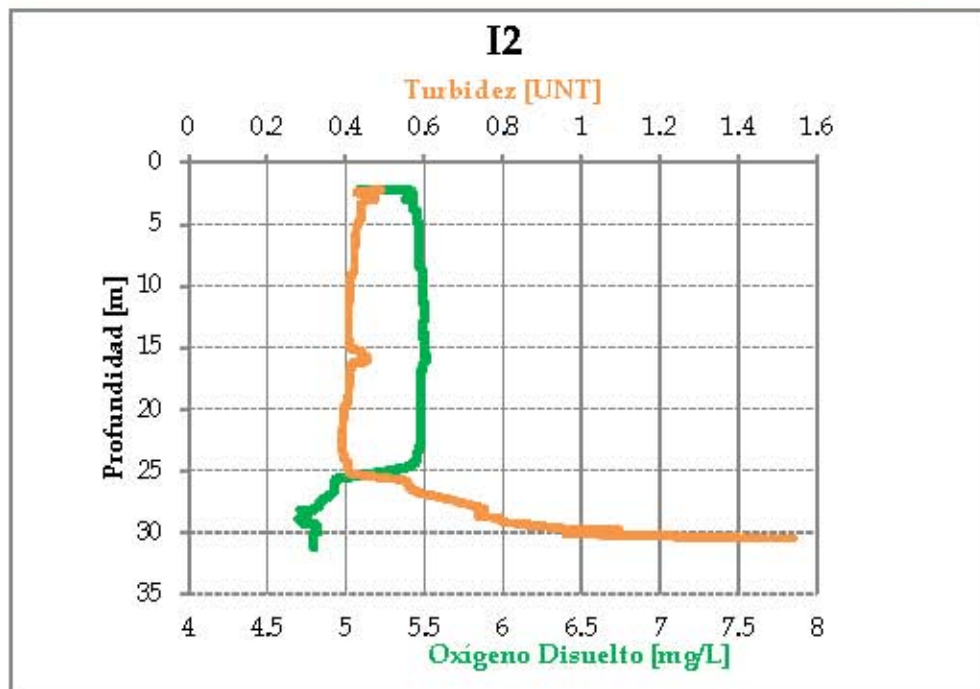
En el polígono Pokoch se ha encontrado una relación entre la turbidez y la cantidad de oxígeno disuelto, en la cual se encuentran altas concentraciones de oxígeno y bajas concentraciones de turbidez. La turbidez en la columna de agua se caracteriza por provenir a partir de material particulado resultado de producción biológica primaria y secundaria, incluyendo restos óseos, material fecal y restos de animales y plantas. Mucho de este material presenta partículas de tamaño mayor a las 100 Mm, las mismas que se sumergen relativamente rápido.

El punto de equilibrio en la columna se encontró más bien hacia el fondo de la misma, entre los 45 y los 35 metros de profundidad, lo cual se entiende al ser la zona bentónica la receptora de la materia orgánica presente para la zona que se encuentra con gran cantidad de plataformas y por tanto descargas de aguas residuales a las aguas marinas.

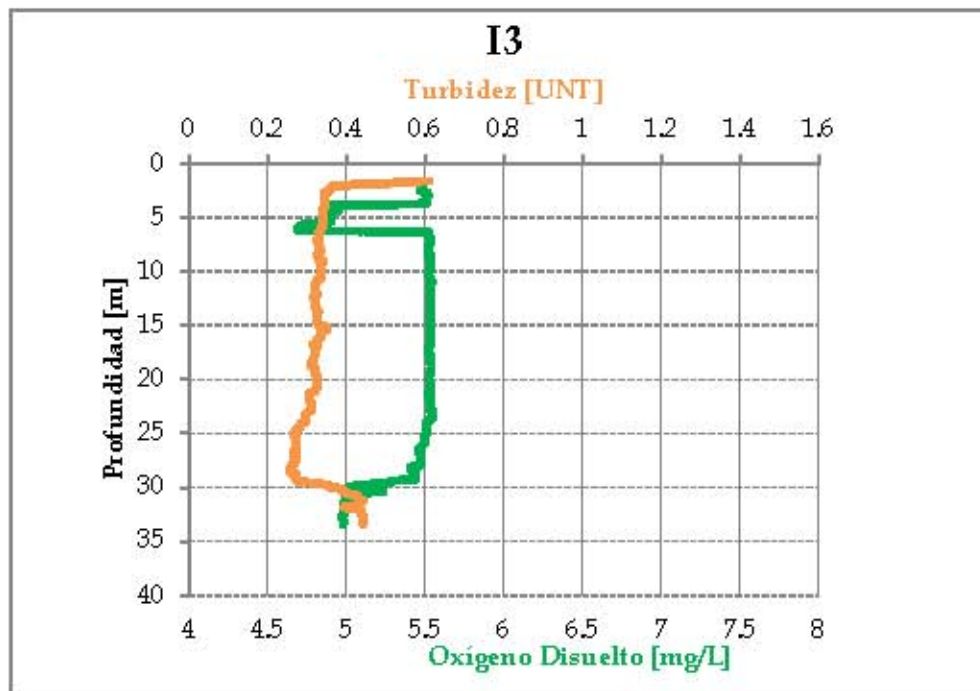
Ichalkil



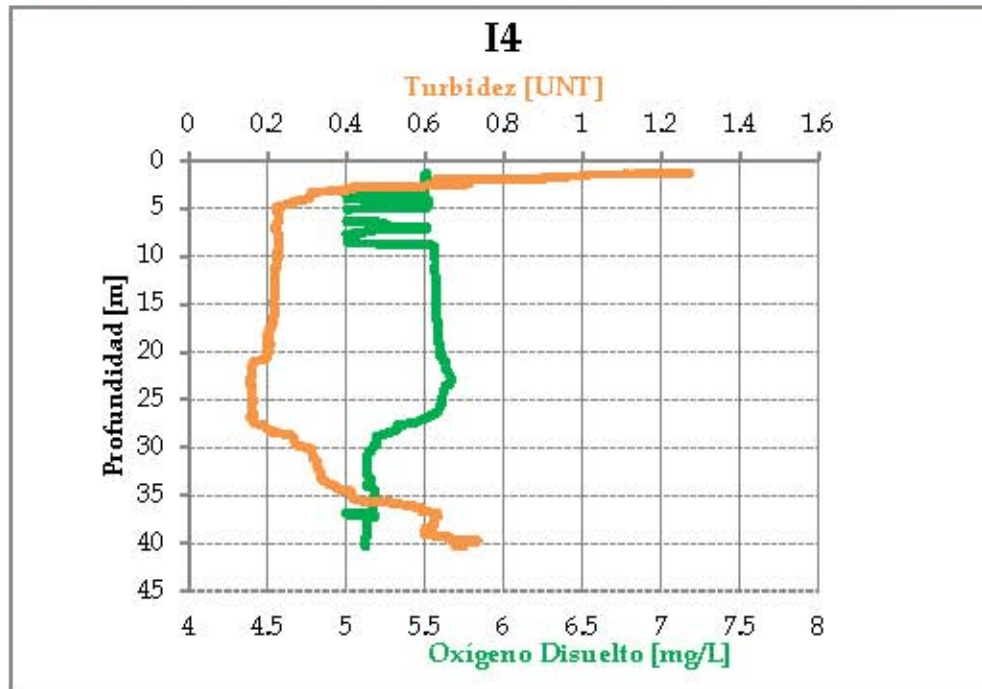
Gráfica 6.39 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en I1 del campo Ichalkil



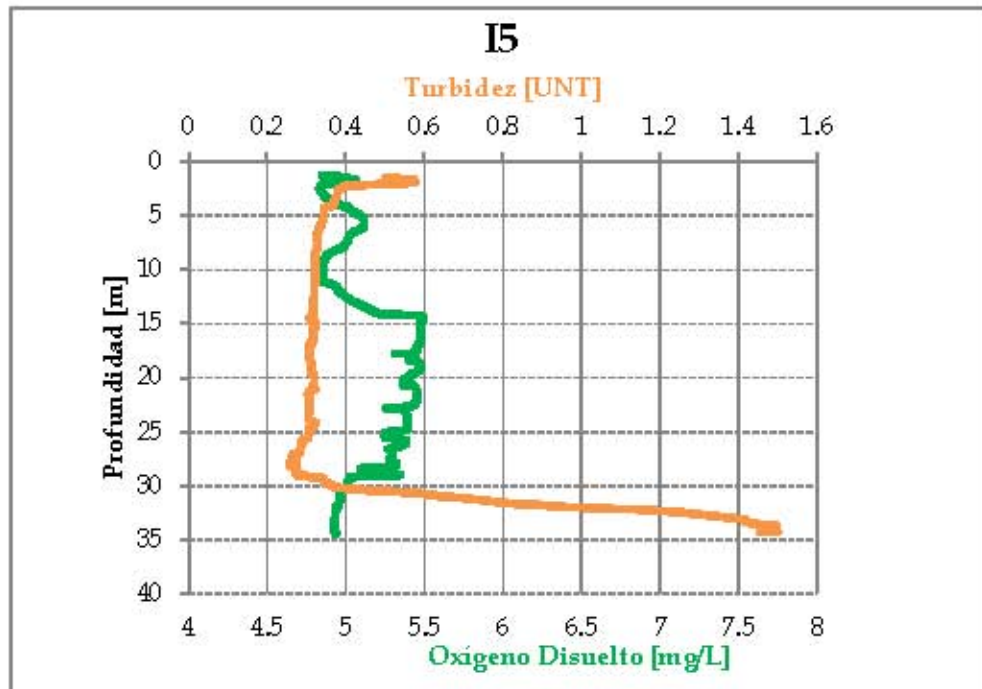
Gráfica 6.40 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en I2 del campo Ichalkil



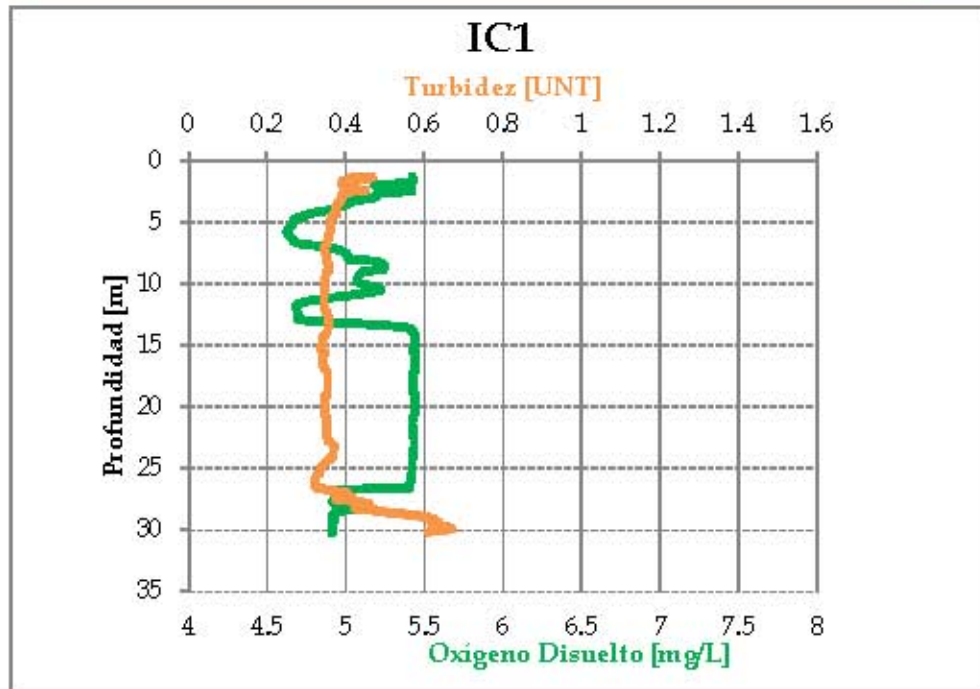
Gráfica 6.41 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en I3 del campo Ichalkil



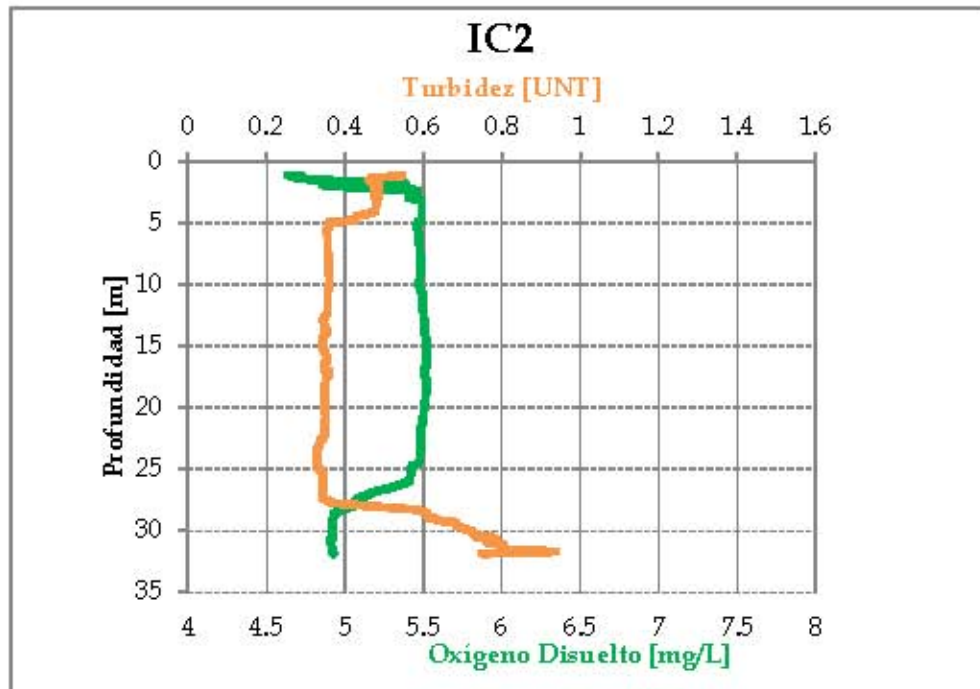
Gráfica 6.42 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en I4 del campo Ichalkil



Gráfica 6.43 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en I5 del campo Ichalkil



Gráfica 6.44 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en IC1 del campo Ichalkil



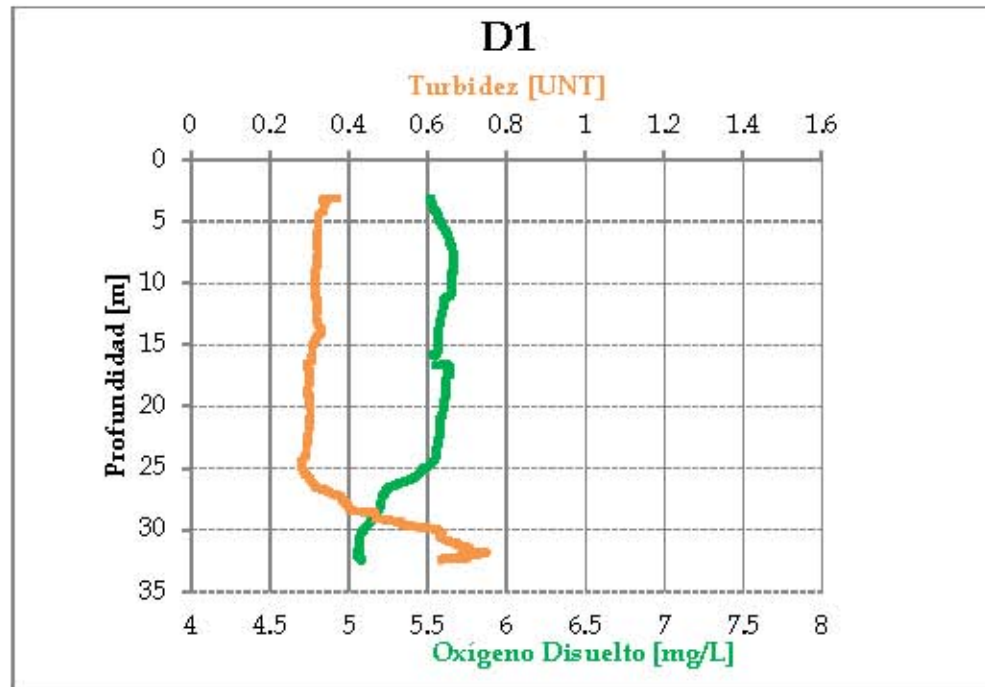
Gráfica 6.45 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en IC2 del campo Ichalkil



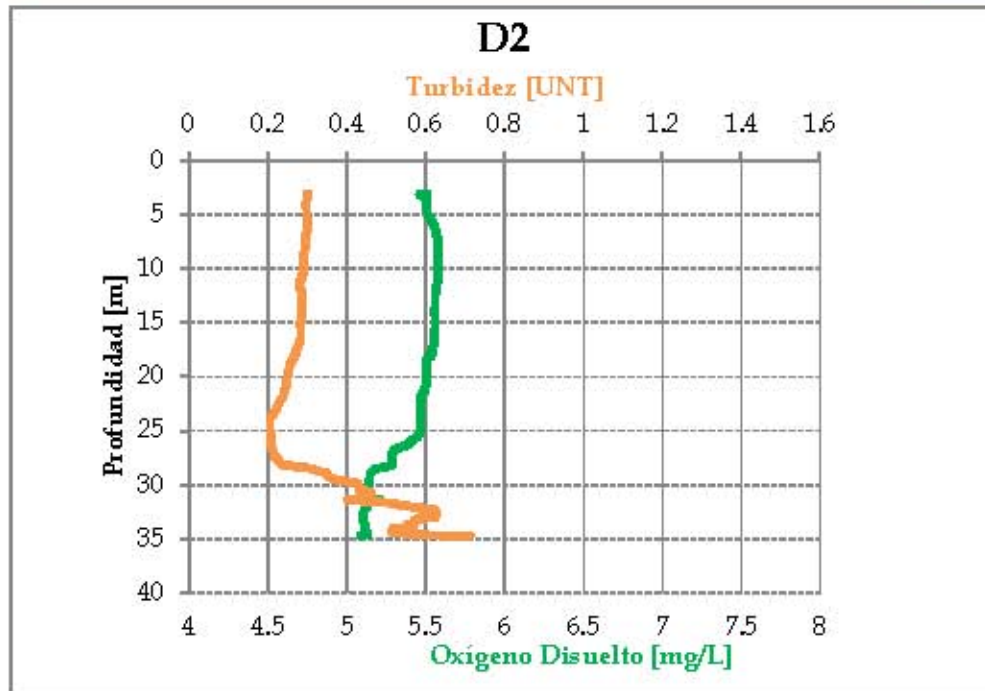
Se ha encontrado que la turbidez para el campo Ichalkil encontrada en la columna de agua está relacionada de manera indirecta con el oxígeno disuelto, ya que cuando hay altas concentraciones de oxígeno se presentan bajos niveles de turbidez, excepto por la zona superficial y la zona más profunda de la columna de agua.

En el campo Ichalkil se encontró que en todos los puntos muestreados, en la columna vertical, hay dos puntos de equilibrio en la relación entre la materia orgánica suspendida causante de la turbidez y el oxígeno disuelto presente. El equilibrio superficial se encuentra entre los 0 y los 10 metros de profundidad, mientras que el otro punto de equilibrio más cercano a la zona de fondo marino, se encuentra aproximadamente entre los 25 y 30 metros de profundidad, muy cerca del fondo.

Ductos

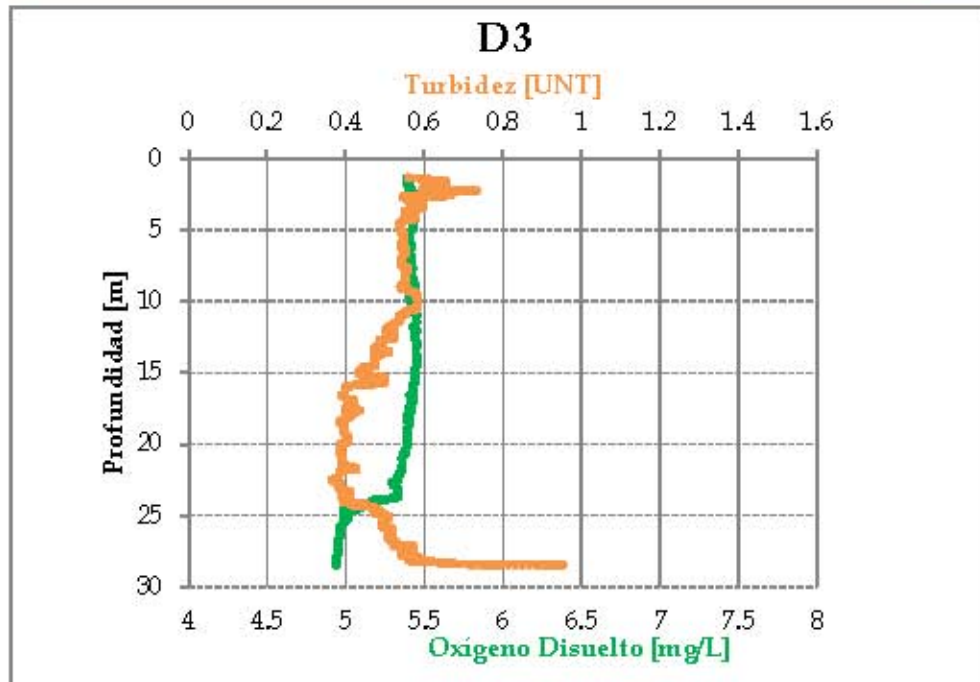


Gráfica 6.46 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en el punto de muestreo D1

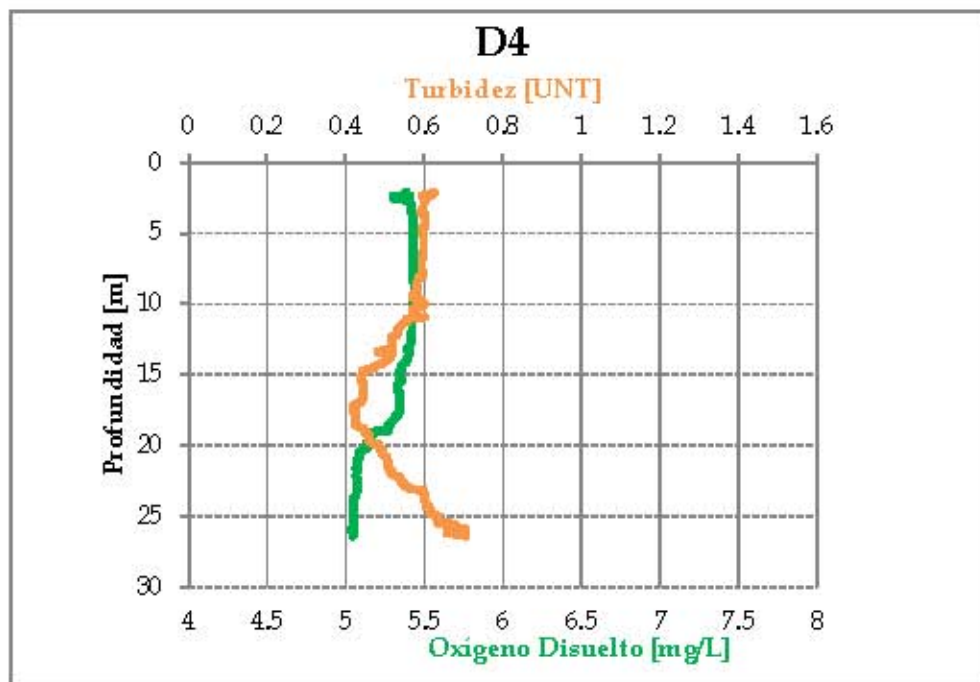


Gráfica 6.47 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en el punto de muestreo D2

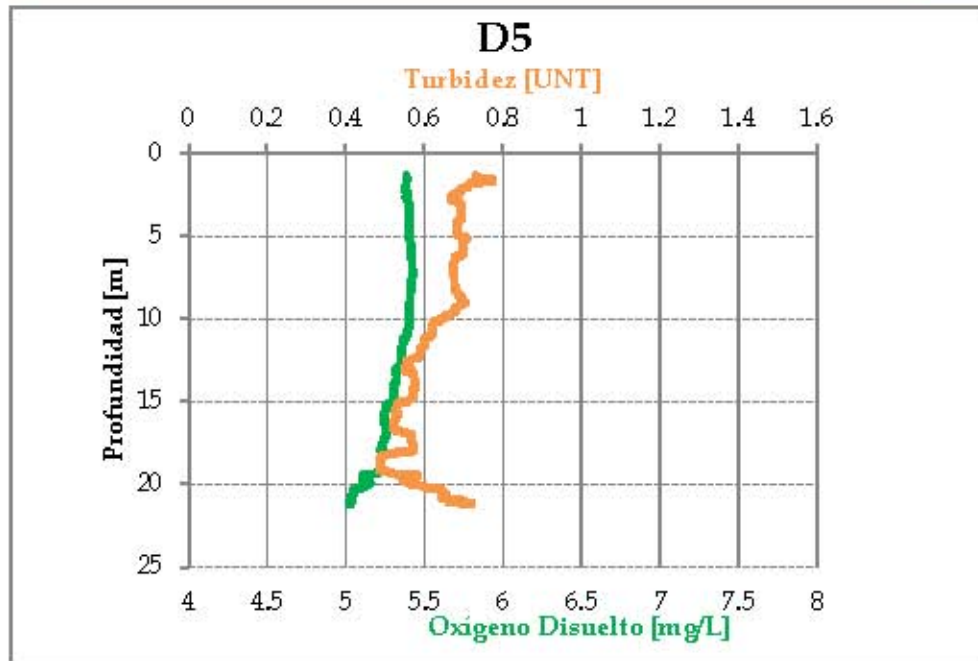
A lo largo de los ductos en los puntos D1 y D2 en la zona más al norte cercana al área contractual Pokoch se encontró una relación entre la turbidez y el volumen de oxígeno disuelto, con una proporción menor de turbidez y mayor de oxígeno a lo largo de la columna vertical, encontrándose el equilibrio entre las dos variables a una profundidad entre los 25 y 30 metros de profundidad, esta relación se explica dado que es solo hasta la profundidad donde ocurre el punto de equilibrio en que la cantidad de oxígeno se ve mermada por los procesos de respiración realizados por los microorganismos presentes en la materia orgánica suspendida.



Gráfica 6.48 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en el punto de muestreo D3



Gráfica 6.49 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en el punto de muestreo D4



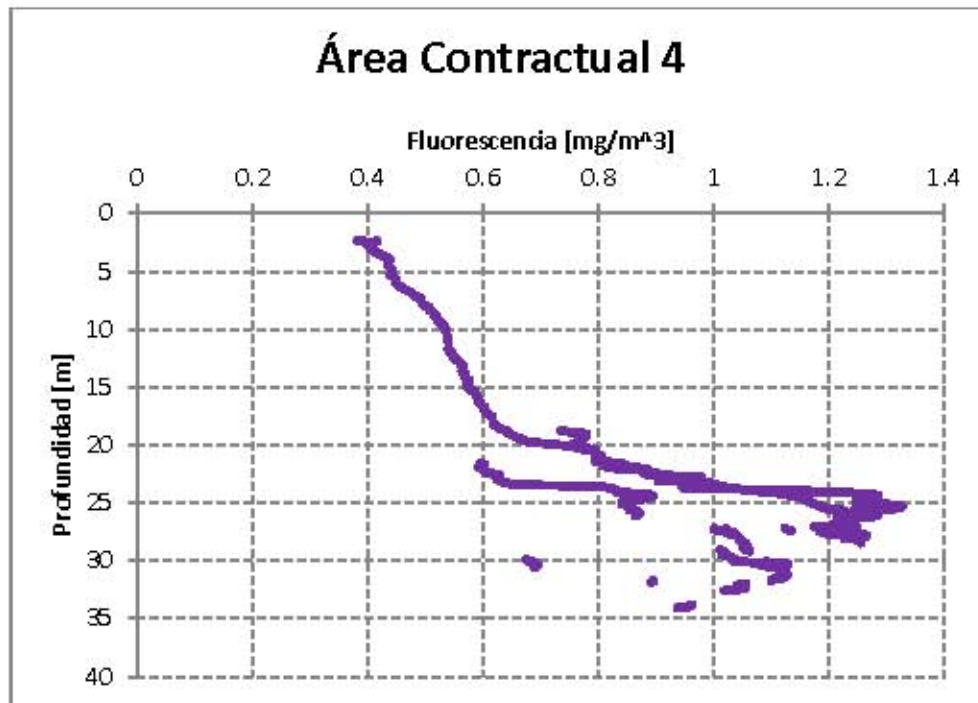
Gráfica 6.50 Comportamiento de la Turbidez vs. OD en el punto de muestreo D5

En los puntos de muestreo D3, D4, y D5 las curvas de turbidez y oxígeno disuelto poseen una relación muy cercana, incluso presentan dos puntos de equilibrio el más cercano a la zona superficial entre los 5 y los 18 metros de profundidad, mientras que el segundo punto de equilibrio se encuentra entre los 20 y 25 metros de profundidad; esto permite encontrar que la cantidad de materia orgánica disponible en esta área es muy alta, por lo que la disponibilidad de oxígeno se ve abatida en dos ocasiones a lo largo de la columna de agua; este comportamiento puede ser explicado por la cercanía a las plataformas del Activo Cantarel que se encuentran en la zona.

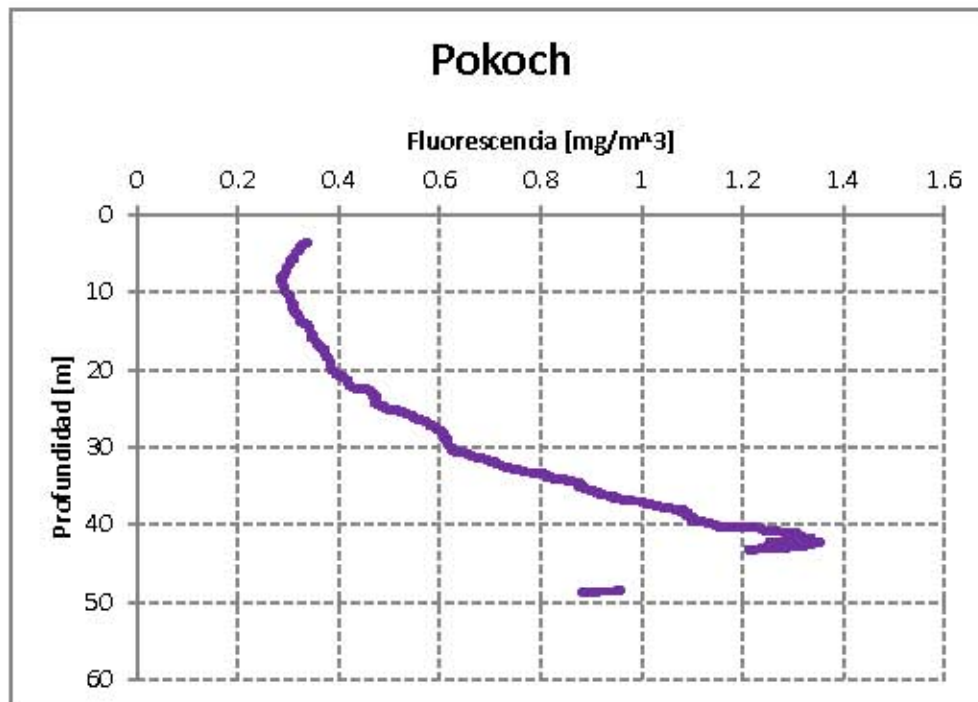
Resultados y análisis de fluorescencia

La fluorescencia natural, conocida también como fluorescencia pasiva o inducida por el sol, se puede utilizar para estimar la concentración de la clorofila *a*, la actividad fotosintética y en consecuencia, la productividad primaria en la columna de agua. La clorofila *a* es estimulada por la luz solar y emite fluorescencia a una longitud de onda cercana a 683 nm (Chamberlin *et al.*, 1990).

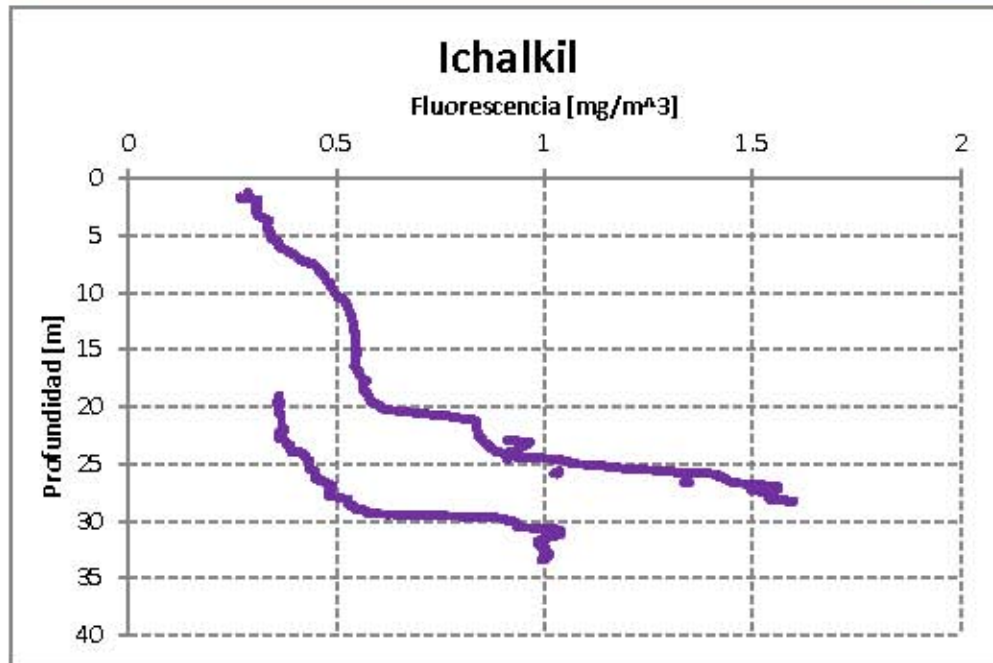
En el Área Contractual 4 los valores de fluorescencia más altos se presentan en las muestras profundas y en la columna de agua están en un rango de 0.17 a 2.23 mg/m³ (ver Gráfica 6.51, Gráfica 6.52 y Gráfica 6.53). En cuanto a la clorofila *a*, de manera general también se detectaron los valores más altos en las muestras medias y profundas del Área Contractual 4.



Gráfica 6.51 Comportamiento de la fluorescencia en el Área Contractual 4



Gráfica 6.52 Comportamiento de la fluorescencia en el campo Pokoch



Gráfica 6.53 Comportamiento de la fluorescencia en el campo Ichalkil

6.2.6.2 Resultados analíticos

Los resultados analíticos de las muestras de agua de mar fueron comparados con varios criterios internacionales debido a la falta de criterios o límites de comparación en la normatividad mexicana.

En general se utilizaron tres fuentes de criterios de comparación: los criterios de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), establecido en 1976, así como los criterios de la Guía Canadiense de Calidad Ambiental (CEQG) publicadas por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME) y las Tablas de Referencia Rápida (SQuiRTs) publicadas por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA).

Los criterios de comparación para agua marina del CCME son valores límite que en caso de ser excedidos en un largo plazo, pueden generar efectos adversos sobre la biota marina. Por otro lado, los valores publicados en los SQuiRTs de la NOAA son criterios para exposición crónica de los contaminantes a la vida acuática.

En 1976, la UNESCO estableció un criterio de comparación para hidrocarburos disueltos en agua marina costera, con el cual se compararon los resultados de laboratorio de HTP.



Cabe indicar que a fin de lograr una mayor precisión en los resultados de metales, se utilizó la metodología EPA 6010C-2007 y se acopló un nebulizador ultrasónico al ICP (equipo de espectroscopia de plasma de acoplamiento inductivo), con lo cual se pudieron cuantificar concentraciones muy bajas de metales y evaluar las condiciones de agua de mar para estos parámetros.

Dentro de cada uno de los apartados se expresa el resultado obtenido durante la campaña oceanográfica realizada en el Área Contractual 4 del 10 al 15 de abril de 2016 y la discusión bibliográfica adecuada a cada punto con la finalidad de contextualizar cada uno de los resultados. En los Apéndices 6.2 a 6.8 se detallan los resultados por cada parámetro.

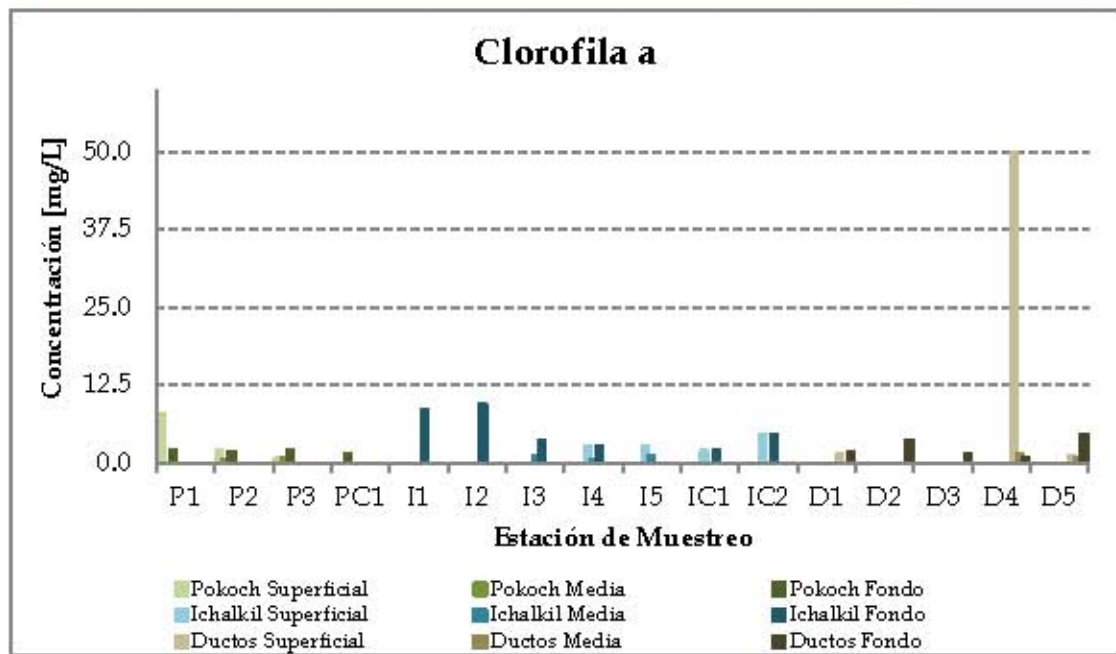
Clorofila a

Signoret *et al.* (1998) señalan que para el Sur del Golfo de México las concentraciones de clorofila a varían respecto a la profundidad. En el intervalo de 0 a 41 m es de 0.04 mg/m³; de 42 a 81 m es de 0.10 mg/m³ y a partir de 82 m de profundidad, esta cambia a 0.31 mg/m³. Este parámetro se considera como un indicador grueso de la biomasa fitoplanctónica (Cowles *et al.*, 1993; Lambert *et al.*, 1999).

Los resultados de laboratorio muestran que se detectó clorofila a en 32 de 45 muestras. En la capa superficial se detectaron concentraciones de 1.305 a 49.92 mg/L, entre la capa de media agua (10 a 29 m) se detectaron concentraciones entre 0.507 y 8.621 mg/L, finalmente en la capa profunda (30 a 48 m) se detectaron concentraciones entre 1.989 y 3.818 mg/L (ver Gráfica 6.54).

Como se observa en los resultados analíticos, la clorofila a varía espacialmente y en general sus concentraciones son bajas en el Golfo de México (De Lanza *et al.*). El Área Contractual 4 es somera y se pueden presentar concentraciones de clorofila en toda la columna de agua; sin embargo, en general las concentraciones más altas se registraron en las últimas profundidades de la capa media de agua y en la capa más profunda del bloque Ichalkil, que es el bloque más cercano a la línea de costa.

En el Apéndice 6.2 se presentan los resultados analíticos de clorofila a para cada muestra de agua de mar tomada en el Área Contractual 4.



Gráfica 6.54 *Concentración de Clorofila a en agua marina*

Sólidos Suspendedos Totales (SST)

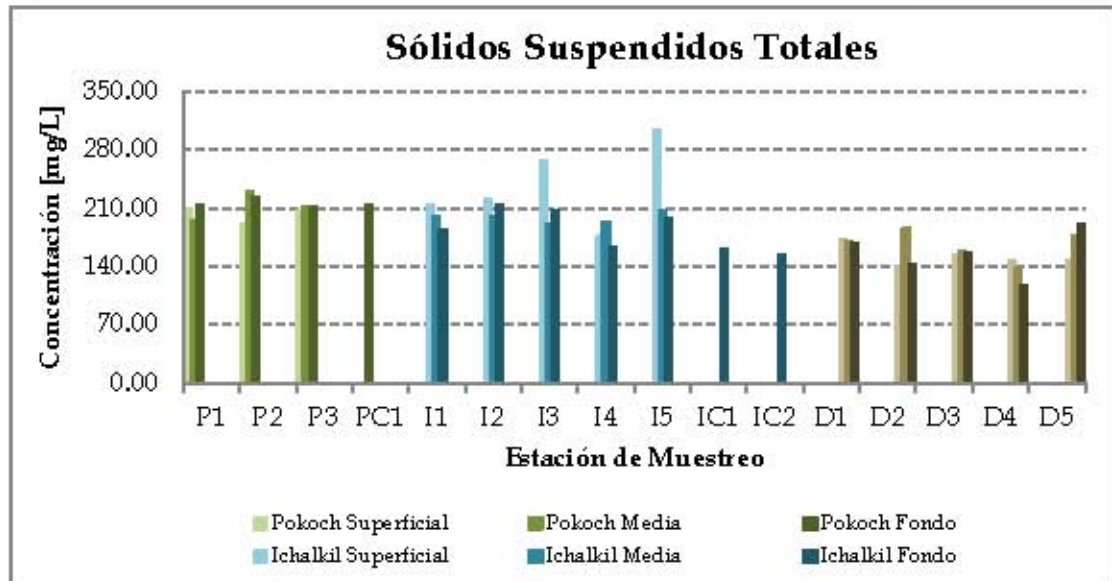
Los sólidos suspendidos totales (SST) incluyen sedimentos y materia orgánica que aportan fundamentalmente nutrientes, y tienen su origen en las aguas residuales y en la erosión del suelo.

En el Área Contractual 4, se detectaron SST en todas las muestras en un rango de 118.00 a 304.00 mg/L (ver Gráfica 6.55). Las muestras que presentaron la concentración más alta fueron la I5-S = 304.00 mg/L e I3-S = 266.00 mg/L.

La concentración de SST determina el grado de turbidez del agua; los aportes de sedimentos suspendidos pueden tener tanto fuentes antropogénicas, que pueden relacionarse con las plataformas petroleras que circundan el Área Contractual 4, así como fuentes naturales que aporta el continente a través de las corrientes de circulación marina.

En general, el valor promedio de la concentración de SST es muy homogéneo para todas las muestras recolectadas; aunque ligeramente menor hacia los puntos que se encuentran alejados de infraestructura activa.

En el Apéndice 6.3 se presentan los resultados analíticos de SST a para cada muestra de agua de mar tomada en el Área Contractual 4.



Gráfica 6.55 Concentración de Sólidos Suspendedos Totales en agua marina

Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP)

El aporte de hidrocarburos en el área de estudio se asocia con la intensa actividad petrolera que se realiza en sus alrededores, ya que se encuentra rodeada de plataformas petroleras en la zona de exclusión de PEMEX.

En el Golfo de México se han investigado los HTP con anterioridad, estudios del CIVESTAV durante 2013 señalan el agua de la zona afótica circundante al Área Contractual 4 presenta concentraciones de hidrocarburos totales entre 0.015 y 0.020 mg/L (ver Gráfica 6.56).

Sin embargo, en el Área Contractual 4, se detectaron HTP únicamente en dos muestras, de la siguiente manera:

- P1-F = 0.81 mg/L de HTP-FM
- P2-S = 17.60 mg/L de HTP-FP

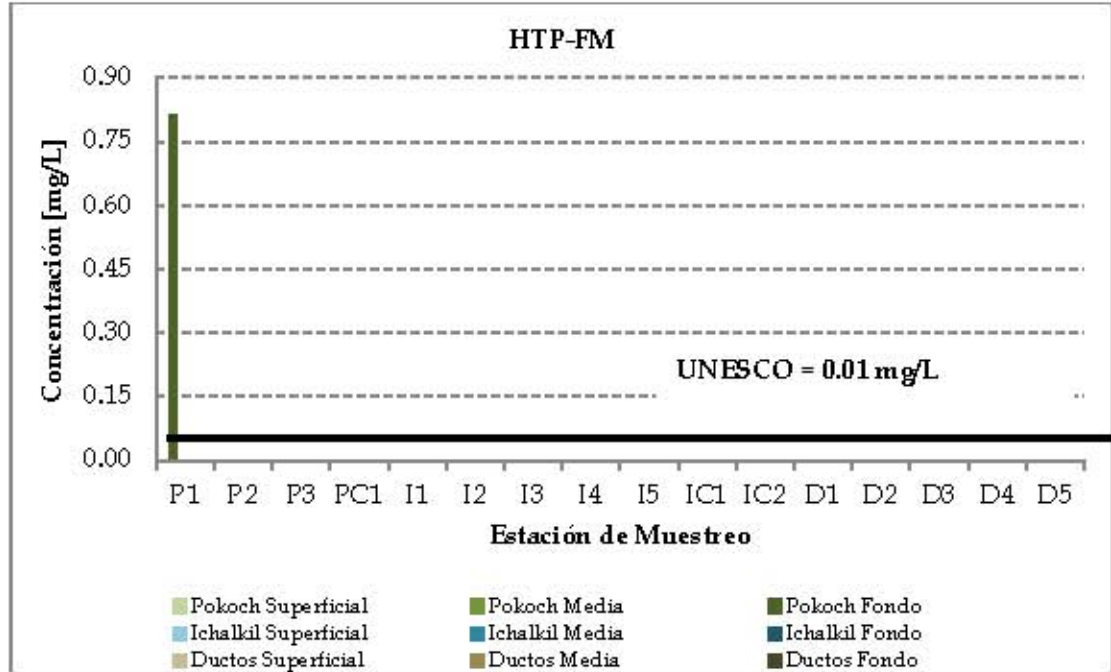
Ambas concentraciones exceden el límite máximo permisible establecido por UNESCO que es 0.01 mg/L, el cual es aplicable a hidrocarburos disueltos en aguas superficiales para que sean consideradas como no contaminadas; así mismo estas concentraciones son mucho mayores a las reportadas por CINVESTAV.

En el resto de las muestras no se detectaron concentraciones por arriba de los límites de cuantificación del laboratorio.

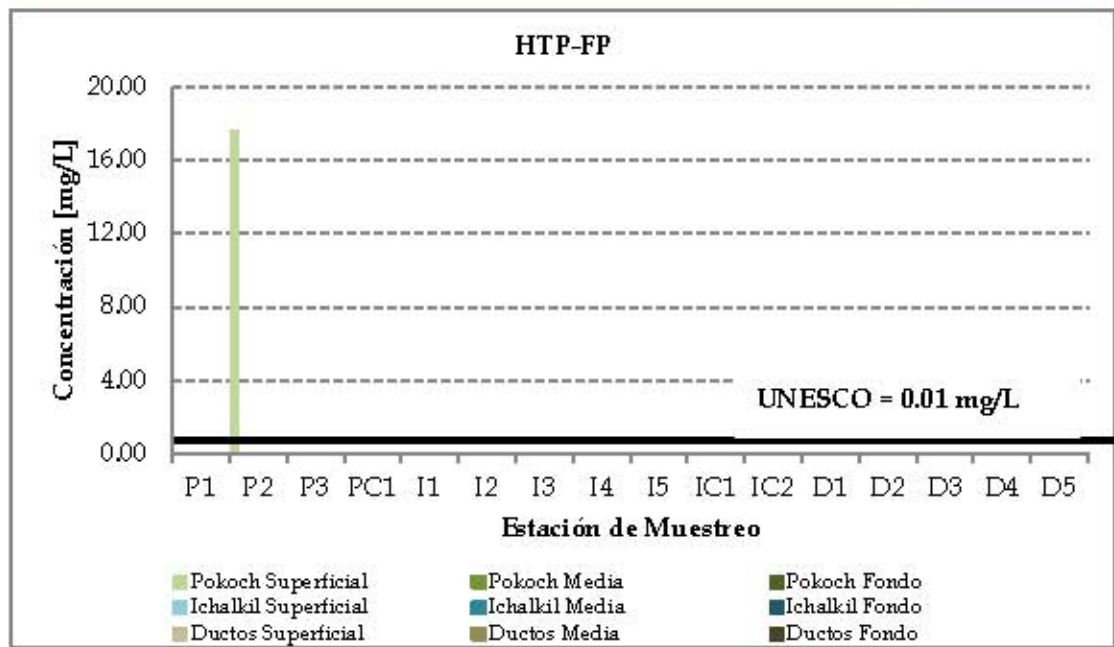


Con base en la información disponible, se observa que el punto con mayor concentración de hidrocarburos (P2) dentro del bloque Pokoch, se ubica en la cercanía de un pozo actualmente activo.

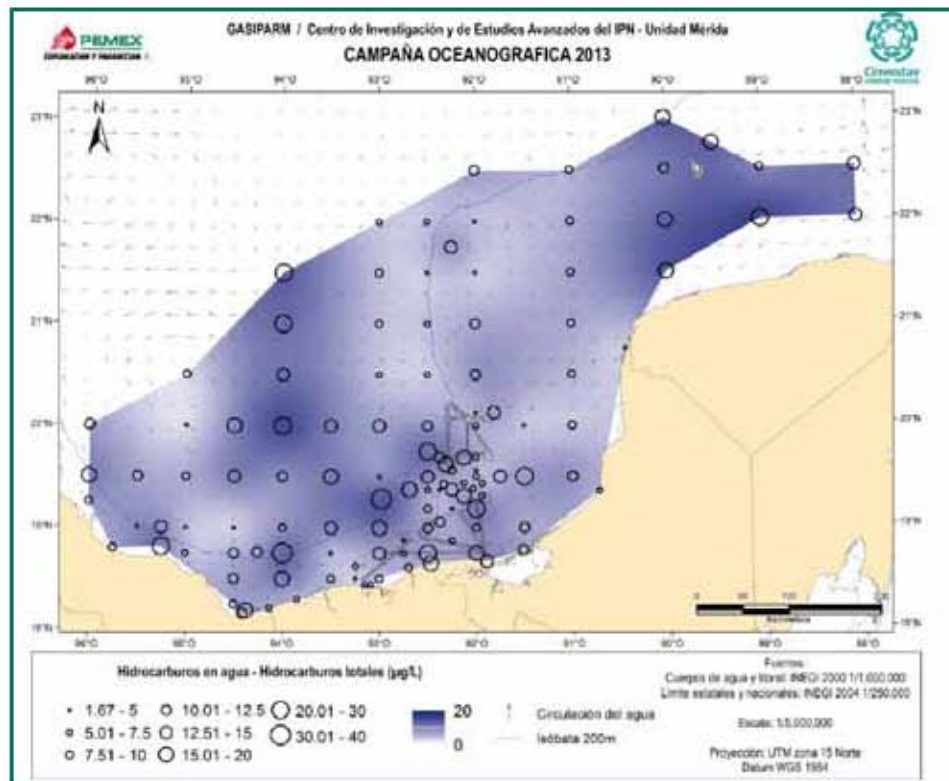
En el Apéndice 6.4 se presentan los resultados analíticos de HTP para cada muestra de agua de mar tomada en el Área Contractual 4.



Gráfica 6.56 *Concentración de Hidrocarburos Totales de Pétroleo – Fracción Media en agua marina*



Gráfica 6.57 Concentración de Hidrocarburos Totales de Pétroleo – Fracción Pesada en agua marina



Fuente: PEMEX-CINVESTAV, 2013

Figura 6.34 Concentración de HTP en áreas circundantes al Área Contractual 4

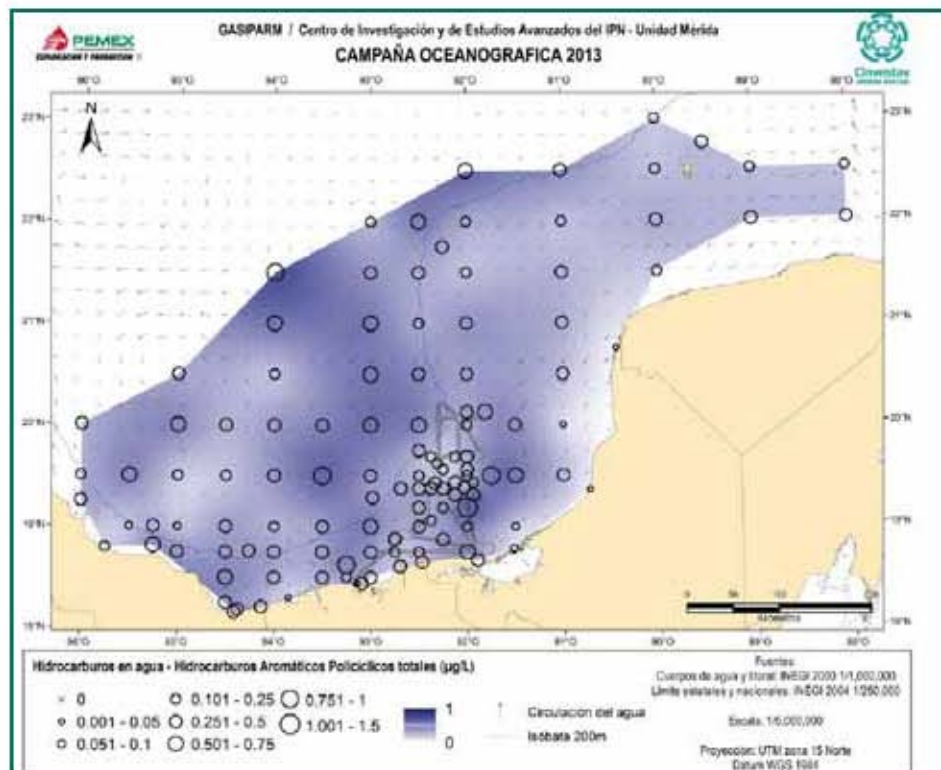


Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)

Los HAP son contaminantes que han sido distribuidos en el ambiente marino debido a la actividad petrolera y han sido ampliamente estudiados debido a que constituyen la fracción más tóxica de los hidrocarburos por su carácter carcinogénico y mutagénico. Los HAP de bajo peso molecular, formados por 2 y 3 anillos, tienen toxicidad aguda, por lo cual NOAA ha establecido un límite máximo de exposición aguda que es 0.300 mg/L.

En la campaña oceanográfica del CINVESTAV en 2013, se detectaron HAP en el área circundante al Área Contractual 4 con una concentración máxima de 0.001 mg/L (ver Figura 6.35). En el Área Contractual 4 no se detectaron HAP en concentraciones por arriba del límite de cuantificación del laboratorio en ninguna muestra analizada, el cual es menor que el límite de exposición aguda de la NOAA (0.300 mg/L).

En Apéndice 6.5 se presentan los resultados analíticos de HAP para cada muestra de agua de mar tomada en el Área Contractual 4.



Fuente: PEMEX-CINVESTAV, 2013

Figura 6.35 *Concentración de HAP en áreas circundantes al Área Contractual 4*



Hidrocarburos monoaromáticos (BTEX)

Los hidrocarburos monoaromáticos, también denominados BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos) son contaminantes derivados del petróleo y han sido ampliamente estudiados y clasificados por su toxicidad, son medianamente solubles en agua, lo que permite su transferencia al agua marina. Los resultados analíticos en el Área Contractual 4 presentan que no hubo detecciones por arriba del límite de cuantificación del laboratorio en ninguna muestra de agua marina.

En el Apéndice 6.6 se presentan los resultados analíticos de BTEX para cada muestra de agua de mar tomada en el Área Contractual 4.

Nutrientes

De acuerdo con la bibliografía, los cambios en las concentraciones de nutrientes en el mar son producto de aportes de las actividades antropogénicas y de las descargas residuales sin ningún tipo de tratamiento (Reyes 2001). Las principales consecuencias del exceso de aporte de nutrientes en el mar repercuten sobre la comunidad de fitoplancton y apuntan a un aumento de dinoflagelados y clorofitas. En el Apéndice 6.7 se presentan los resultados analíticos de nutrientes a para cada muestra de agua de mar tomada en el Área Contractual 4.

Se evaluaron cuatro nutrientes en el agua de mar del Área Contractual 4 con el fin de conocer las características nutrimentales del mismo ya que estos son indispensables para dar inicio a las cadenas tróficas en el océano. Los nutrientes evaluados son los siguientes:

Amonio (NH_3)

El amonio es una base que generalmente se encuentra en el agua de mar y que puede llegar a niveles muy altos cuando hay aporte del mismo al agua a través de ríos; este puede provenir de la descomposición de nitrógeno de la materia orgánica, realizado por bacterias. En el Área Contractual 4 no se detectó amonio por arriba del límite de cuantificación del laboratorio.

Nitritos (NO_2) y Nitratos (NO_3)

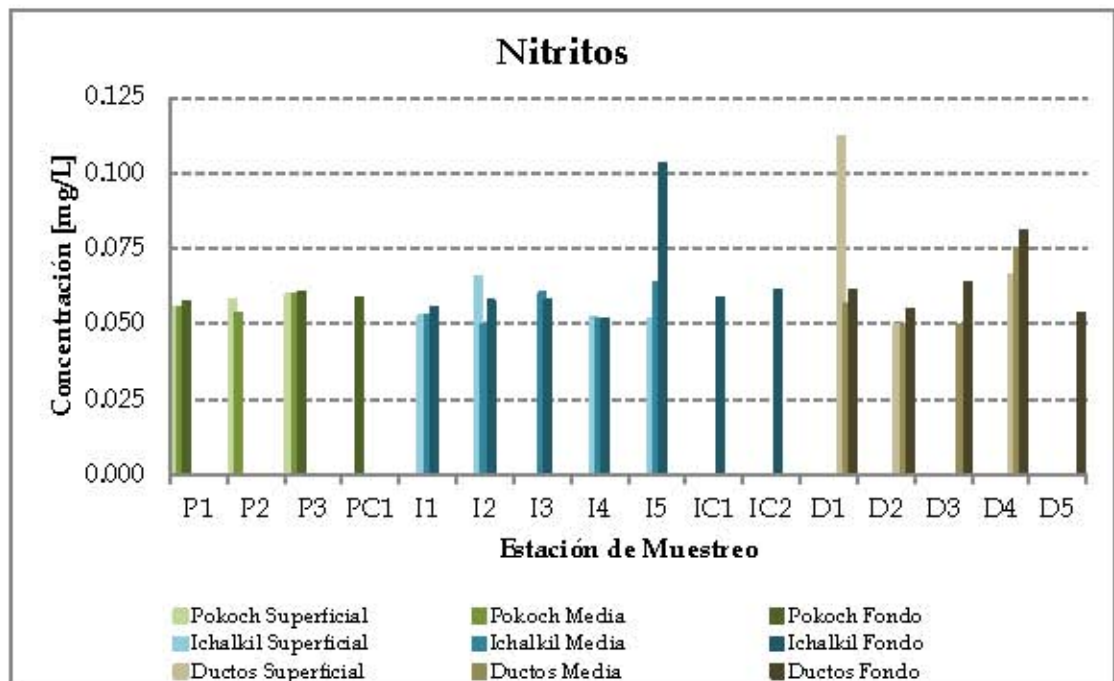
El nitrógeno es el gas que se encuentra en mayor proporción en el mar, pero por su carácter inerte no interviene en el ciclo biológico de las sustancias nitrogenadas, aunque existen en el mar ciertas bacterias que son capaces de producirlo y otras de fijarlo.



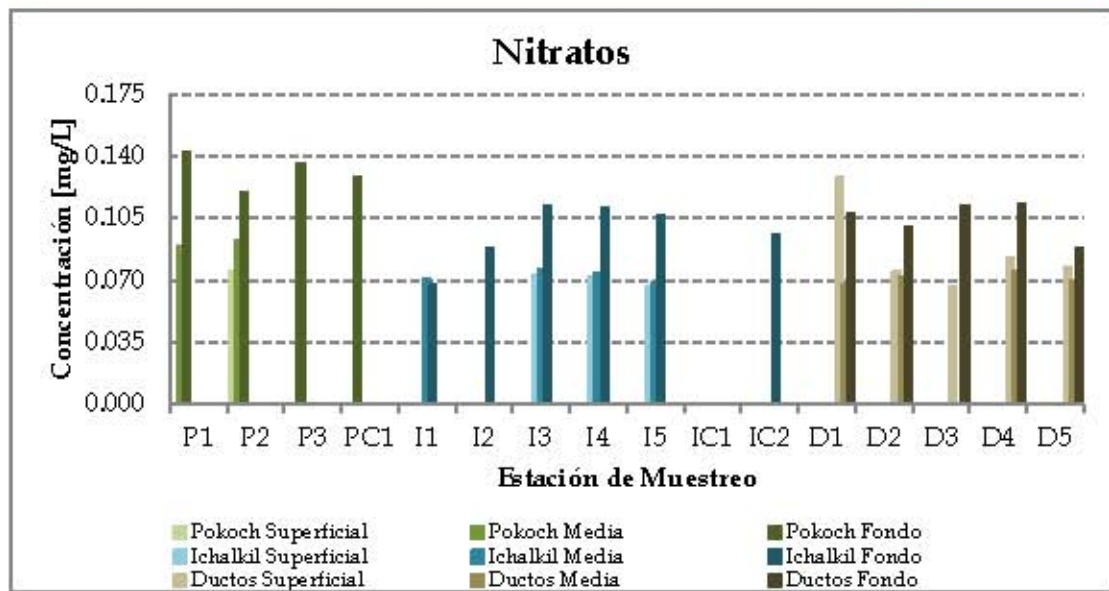
La reserva principal en el agua del mar está constituida por los nitratos y en menor cantidad por el amoníaco y los nitritos (Lemus). Los nitritos y nitratos son nutrientes no conservativos y su concentración en el mar depende de la asimilación fitoplanctónica y su temporalidad.

En el Área Contractual 4 se presentaron concentraciones de nitritos en 37 muestras de agua en un rango de 0.050 a 0.112 mg/L (ver Gráfica 6.58). Por otro lado, 34 muestras presentaron concentraciones de nitratos en un rango de 0.066 a 0.143 mg/L, siendo las muestras de fondo las que presentaron las concentraciones ligeramente más altas (ver Gráfica 6.59) en relación al resto de las profundidades; sin embargo todos los valores de nitratos están por debajo del criterio de comparación de la CMME para exposición a largo plazo (nitratos = 200.00 mg/L).

La concentración de Nitritos y Nitratos es en general homogénea a lo largo de la columna de agua analizada en las estaciones de muestreo de los bloques denominados Pokoch e Ichalkil, así como en las estaciones de muestreo del área circundante a estas.



Gráfica 6.58 Concentración de Nitritos en agua marina



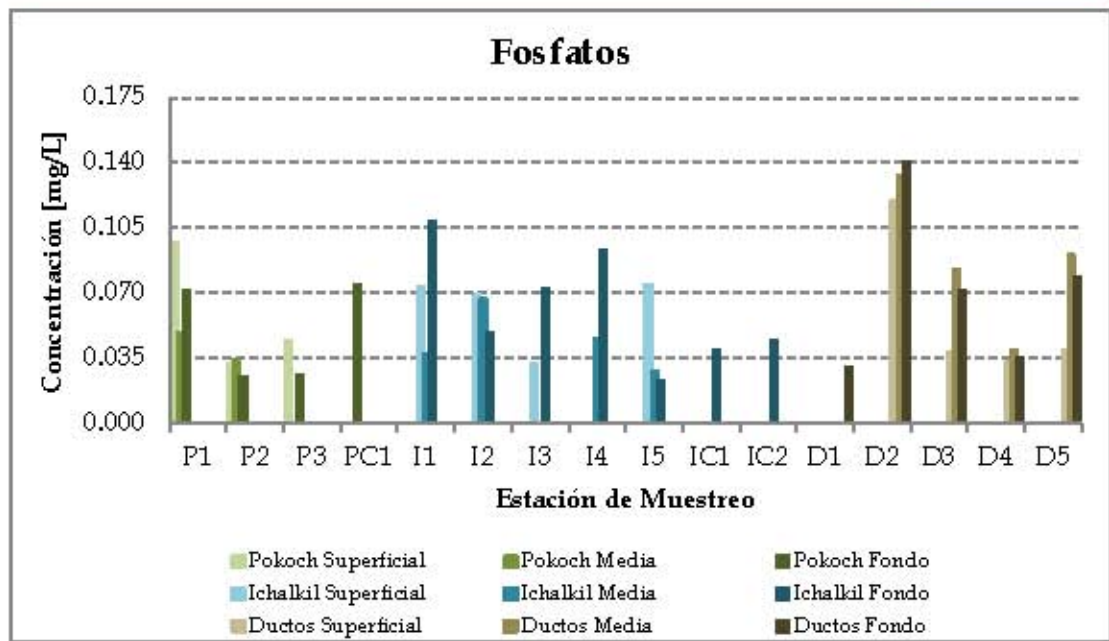
Gráfica 6.59 Concentración de Nitratos en agua marina

Fosfatos (PO₄)

El fósforo se presenta como fosfatos en el agua marina y es un elemento que forma parte de los seres vivos, por ejemplo de la cubierta de los dinoflagelados y permite que éstos produzcan bioluminiscencia (Lemus).

Generalmente el agua marina presenta una concentración de fosfatos de 0.088 mg/L. En el Área Contractual 4, 37 muestras de agua presentaron concentraciones de fosfatos en un rango de 0.054 a 0.209 mg/L (ver Gráfica 6.60). Las concentraciones más altas fueron detectadas en la estación de muestreo D2, en sus tres profundidades, siendo las concentraciones 0.120 mg/L en la muestra superficial (1 m), 0.133 mg/L en la muestra a profundidad media (18 m) y 0.140 mg/L en la muestra a la máxima profundidad (33 m).

En el Apéndice 6.7 se presentan los resultados analíticos de nutrientes a para cada muestra de agua de mar tomada en el Área Contractual 4.



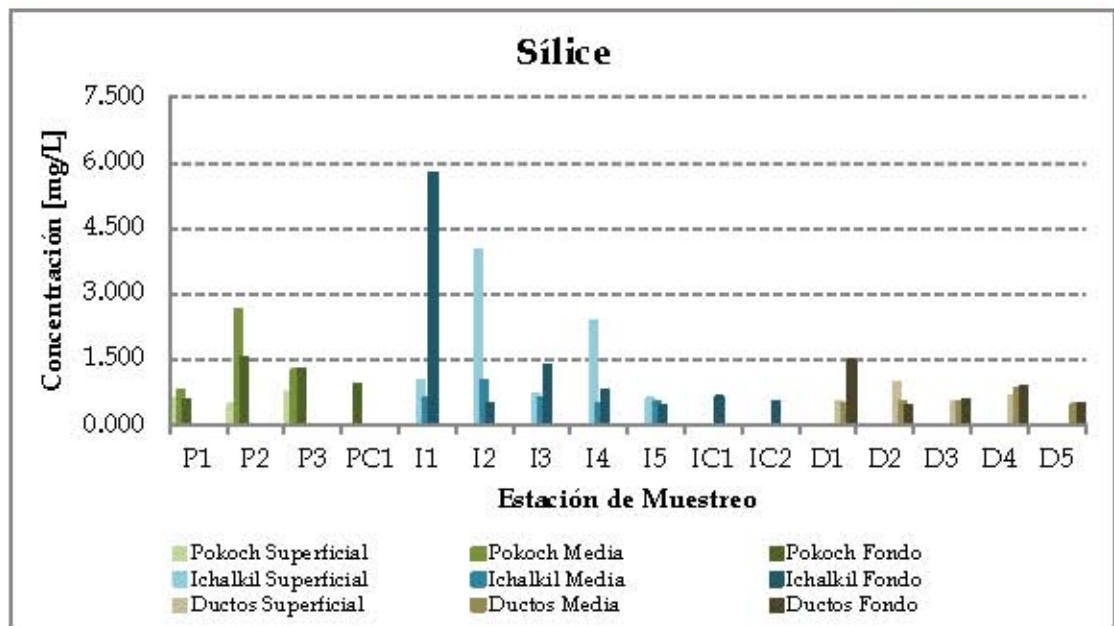
Gráfica 6.60 Concentración de Fosfatos en agua marina

Silicatos (Sílice y Silicio)

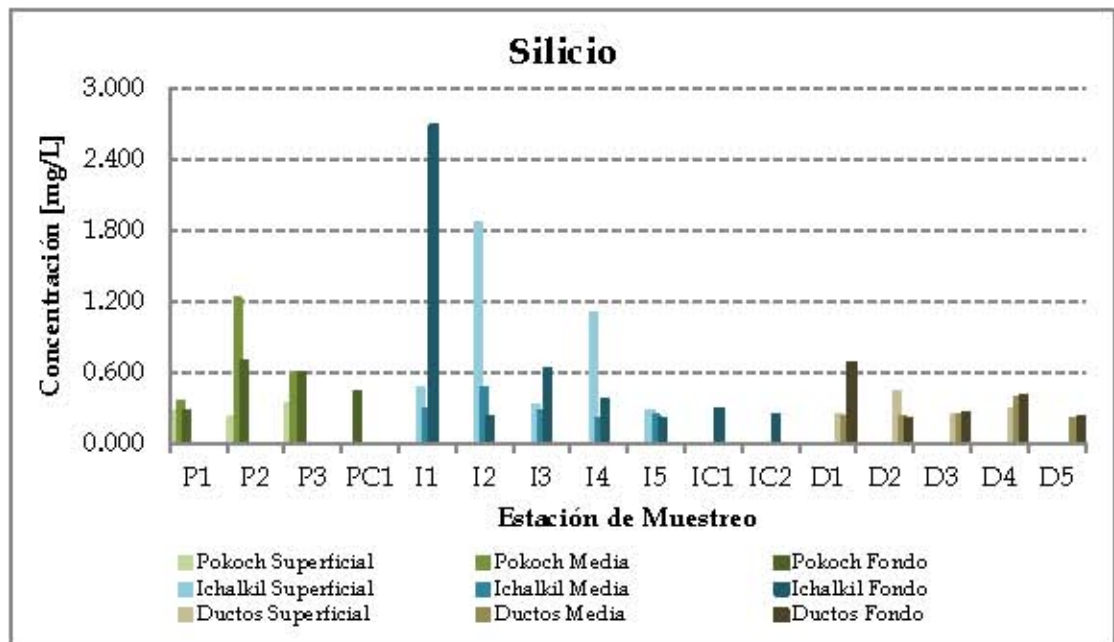
Los silicatos son los nutrientes escasos en el medio marino, promediando valores alrededor de 5 mg/L. Las aportaciones externas al agua marina se relacionan con descargas industriales y domésticas.

En el Área Contractual 4 se detectaron concentraciones de sílice en todas las muestras, en un rango de 0.44 a 5.76 mg/L (ver Gráfica 6.61). Asimismo, las concentraciones de silicio variaron entre 0.20 y 0.69 mg/L (ver Gráfica 6.62).

La tendencia de las concentraciones entre Sílice y Silicio es en general similar para todas las estaciones de muestreo; conservativa entre cada bloque y homogénea para el área completa. No obstante, el bloque Ichalkil presenta un valor promedio de concentración ligeramente mayor en comparación con el bloque Pokoch.



Gráfica 6.61 Concentración de Sílice en agua marina



Gráfica 6.62 Concentración de Silicio en agua marina



Metales

El agua de mar tiene naturalmente metales disueltos en él, los cuales son requeridos en pequeñas cantidades por organismos para completar su ciclo vital; sin embargo, el exceso de estos o la aparición de metales ajenos al medio marino puede indicar contaminación.

De acuerdo con la bibliografía, la distribución y comportamiento de los metales en agua marina se ven afectados por varios procesos como son: la mezcla de masas de agua, la interacción agua-partícula, el mecanismo de adsorción-desorción y la difusión de la parte baja de los sedimentos (Medina, 2006). En las siguientes secciones se presenta el comportamiento de los metales en el Área Contractual 4.

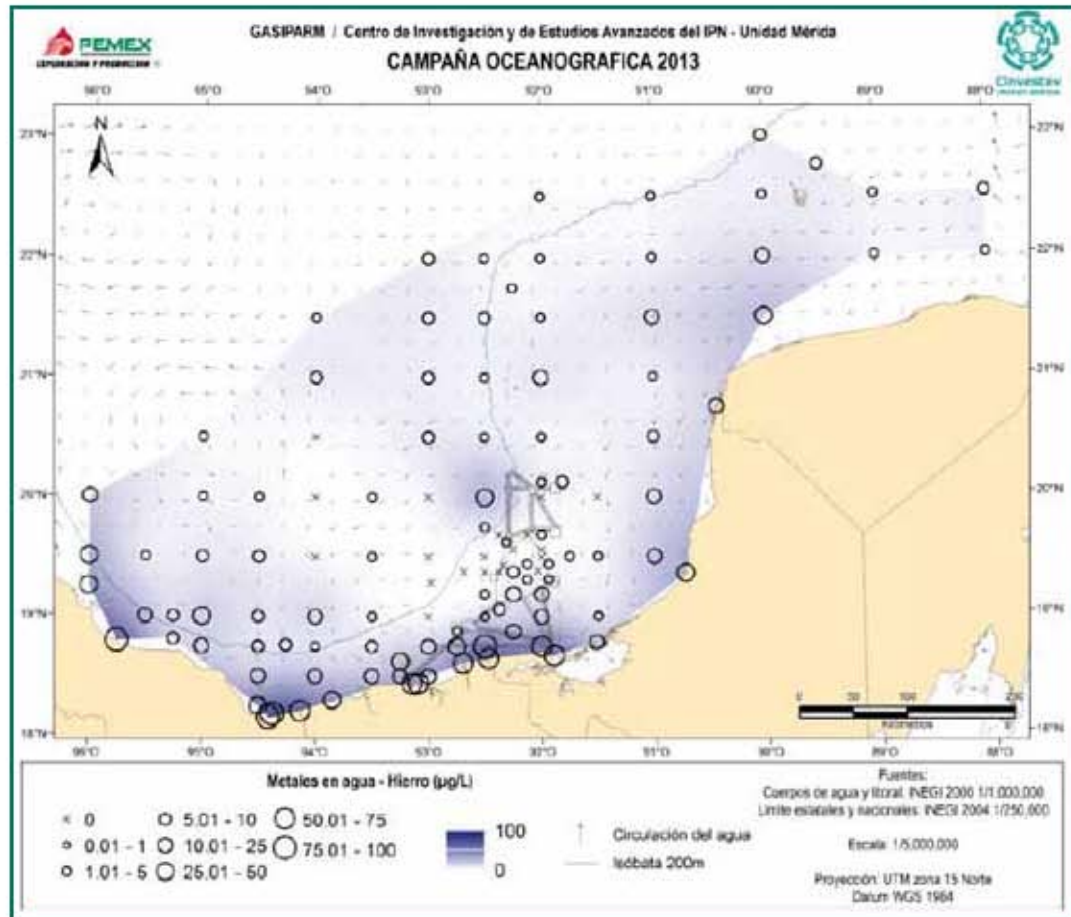
En el Apéndice 6.8 se presentan los resultados analíticos de concentración de metales para cada muestra de agua de mar colectada en el Área Contractual 4.

Para efectos de este estudio se determinó la concentración de los siguientes 12 elementos metálicos:

Hierro (Fe)

El Hierro tiene un papel importante en la bioquímica oceánica y se sabe que su presencia en bajas concentraciones indica una pobre actividad biológica, con gran cantidad de nutrientes y una baja producción de fitoplancton.

Se tienen registros de Hierro del agua de mar de la Sonda de Campeche, reportados por la campaña oceanográfica de CINVESTAV en 2013, y esa zona presenta concentraciones máximas de 0.075 mg/L (ver Figura 6.36).

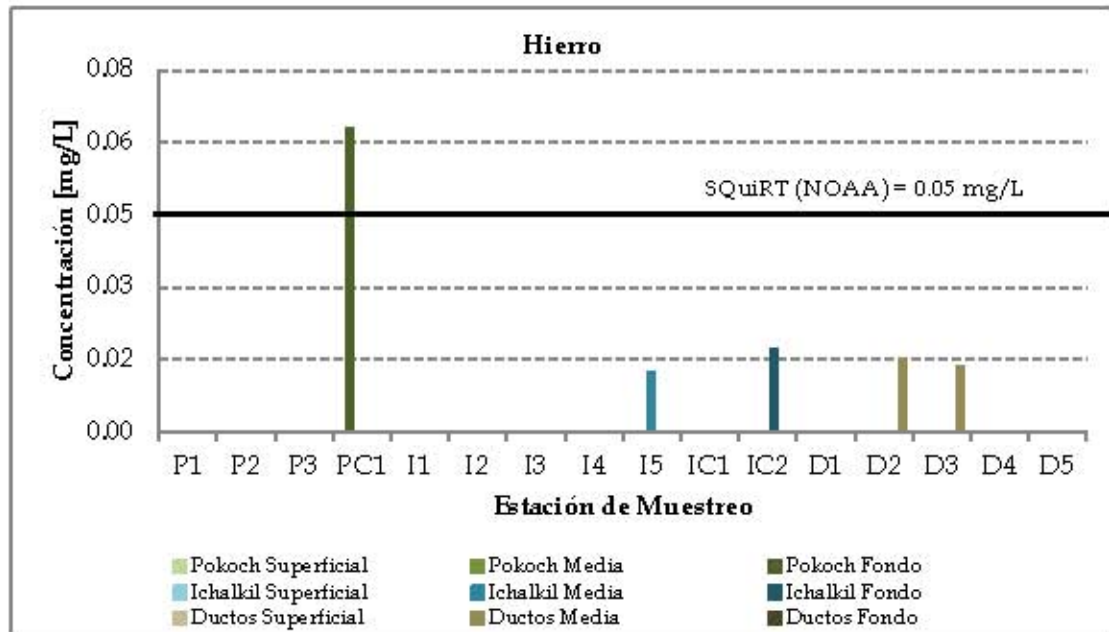


Fuente: PEMEX-CINVESTAV, 2013

Figura 6.36 Concentración de Hierro en áreas circundantes al Área Contractual 4

En el Área Contractual 4 se detectó Hierro en 5 muestras, con concentraciones en un rango de 0.0124 a 0.0630 mg/L, este último valor corresponde a la muestra PC1-F (43 m de profundidad) y excede el criterio de exposición crónica establecido por la NOAA (Hierro = 0.0500 mg/L), lo cual implica que se podrán observar efectos adversos en la vida acuática a largo plazo, siempre que haya una concentración constante de Hierro en el medio marino (ver Gráfica 6.63).

Con base en los resultados analíticos, no es posible caracterizar ni relacionar la tendencia de las concentraciones entre las estaciones de muestreo de un mismo bloque y entre estos. Sin embargo, se observa que el punto que excede los criterios de comparación corresponde con la ubicación de un pozo cerrado, de acuerdo a la información disponible.



Gráfica 6.63 Concentración de Hierro en agua marina

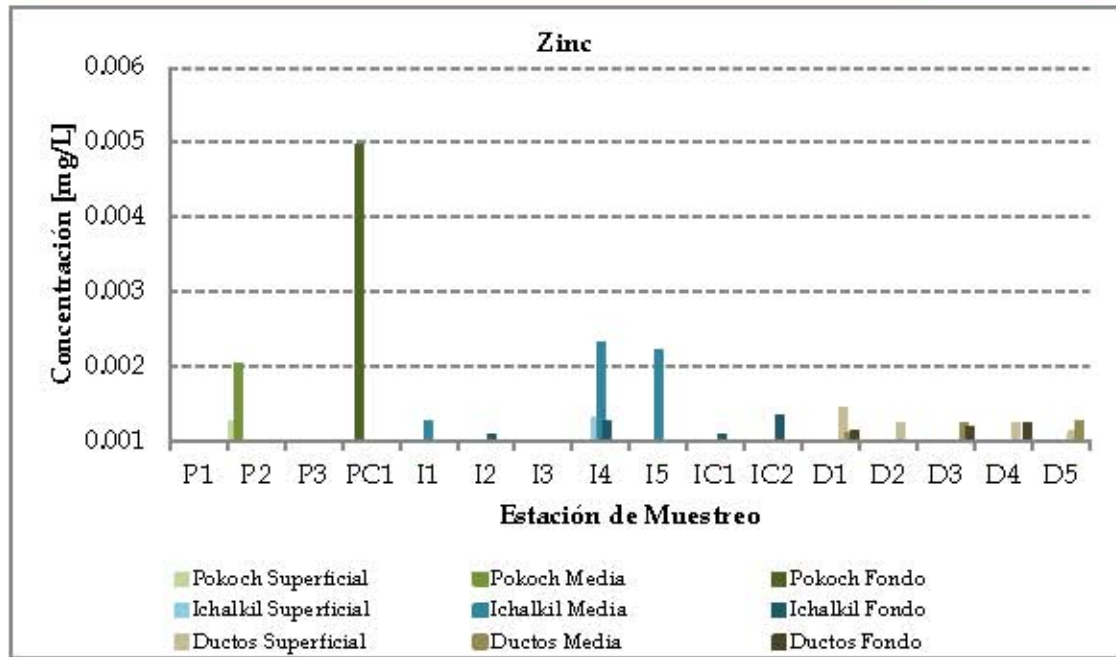
Zinc (Zn)

El Zinc es un metal de relevancia, ya que es precursor de la enzima usada por el fitoplancton marino para catalizar la conversión del NaHCO_3 a CO_2 (Morel *et al.*, 1994). Debido a las características del Zinc, este metal no se considera un contaminante, ya que es requerido por diversos organismos marinos como parte de su dieta (Medina, 2006).

La campaña oceanográfica SGM-8 de la UNAM ha reportado valores mínimos de 0.000022 mg/L y máximos de 0.0064 mg/L de Zinc en la Sonda de Campeche.

En el Área Contractual 4 se detectó Zinc en 21 muestras en un rango de 0.0011 a 0.0050 mg/L, estas concentraciones están por debajo de los criterios de comparación internacionales (Zinc = 0.0810 mg/L) (ver Gráfica 6.64).

Similar al análisis planteado para el Hierro, los resultados analíticos para Zinc no definen un patrón bien definido de las concentraciones, ya que en su mayoría no presentaron detecciones por arriba del límite de detección del laboratorio. Sin embargo, con base en la información disponible, se observa que el mayor valor detectado corresponde a la ubicación de un pozo cerrado.

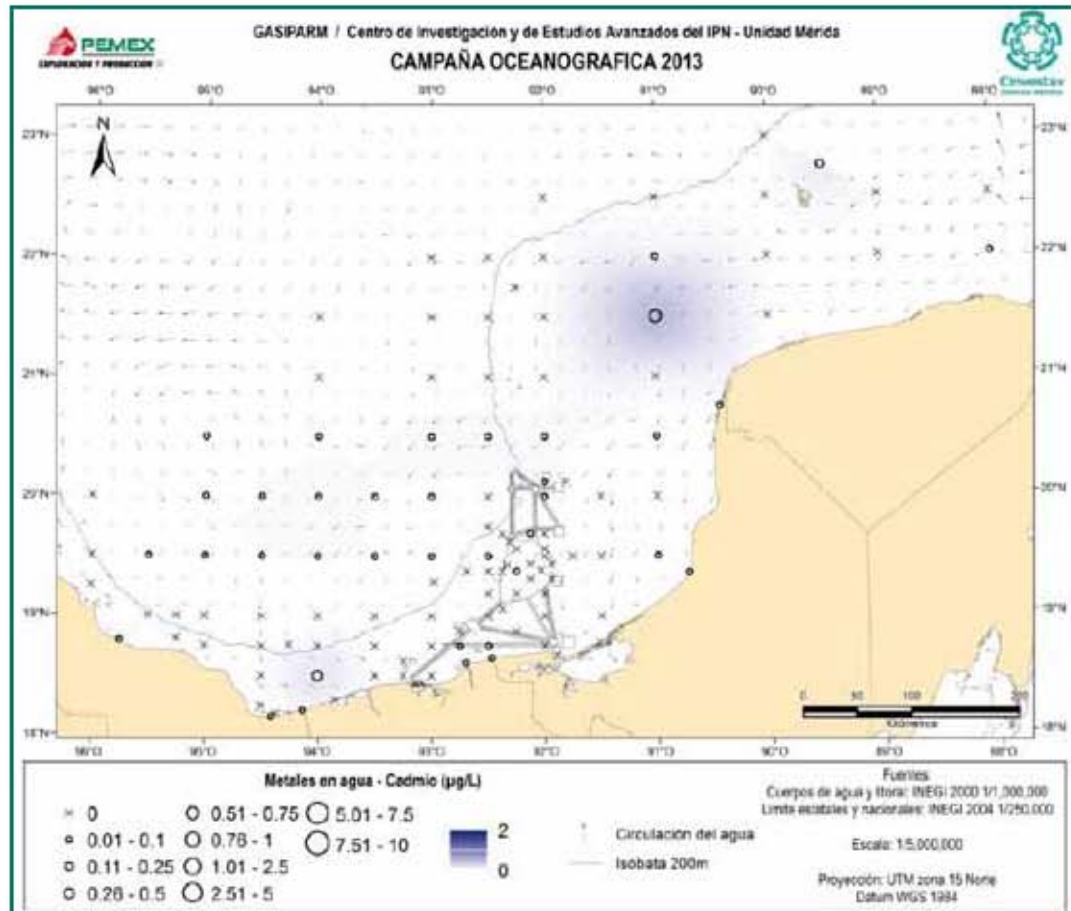


Gráfica 6.64 Concentración de Zinc en agua marina

Cadmio (Cd)

El Cadmio es un oligoelemento que se encuentra en concentraciones variables y muy pequeñas en el agua de mar, sin embargo, las altas concentraciones de este metal se atribuyen a contaminación probablemente proveniente de las actividades industriales aledañas a la costa del Golfo de México.

En el Área Contractual 4 no se detectaron concentraciones de Cadmio por arriba del límite de detección del laboratorio en ninguna de las muestras. Adicionalmente, en la campaña oceanográfica de CINVESTAV en el 2013 tampoco se registraron concentraciones de Cadmio en el área circundante al Área contractual 4 (ver Figura 6.37).



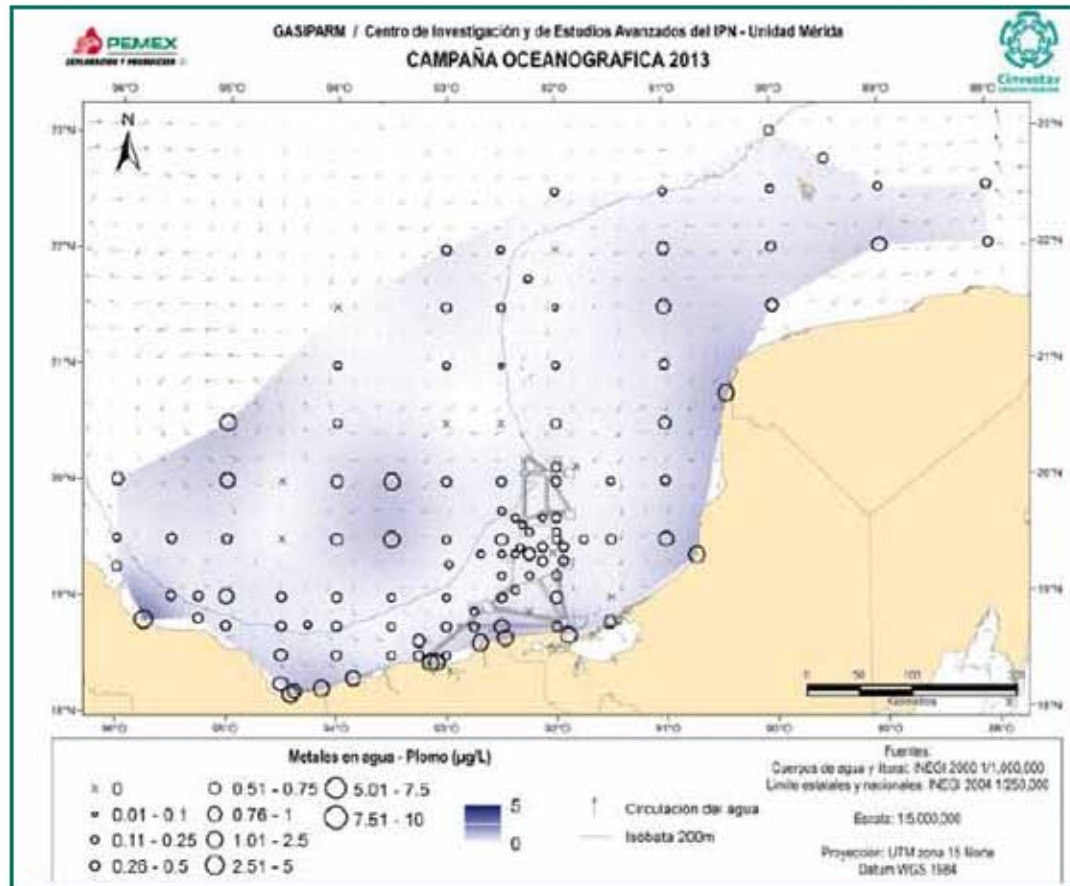
Fuente: PEMEX-CINVESTAV, 2013

Figura 6.37 Concentración de Cadmio en áreas circundantes al Área Contractual 4

Plomo (Pb)

Las concentraciones de Plomo, suelen encontrarse entre 0 y 20 m de profundidad, además de que la deposición atmosférica contribuye a estas. Este metal es incorporado a los océanos debido a las vertientes en ríos y lagunas terrestres.

En el Área Contractual 4 no se detectaron concentraciones de Plomo por arriba del límite de cuantificación del laboratorio en ninguna de las muestras de agua. Por otro lado, el CINVESTAV en su campaña de 2013 ha reportado que concentraciones de hasta 0.0075 mg/L en la zona cercana al área de estudio (ver Figura 6.38).



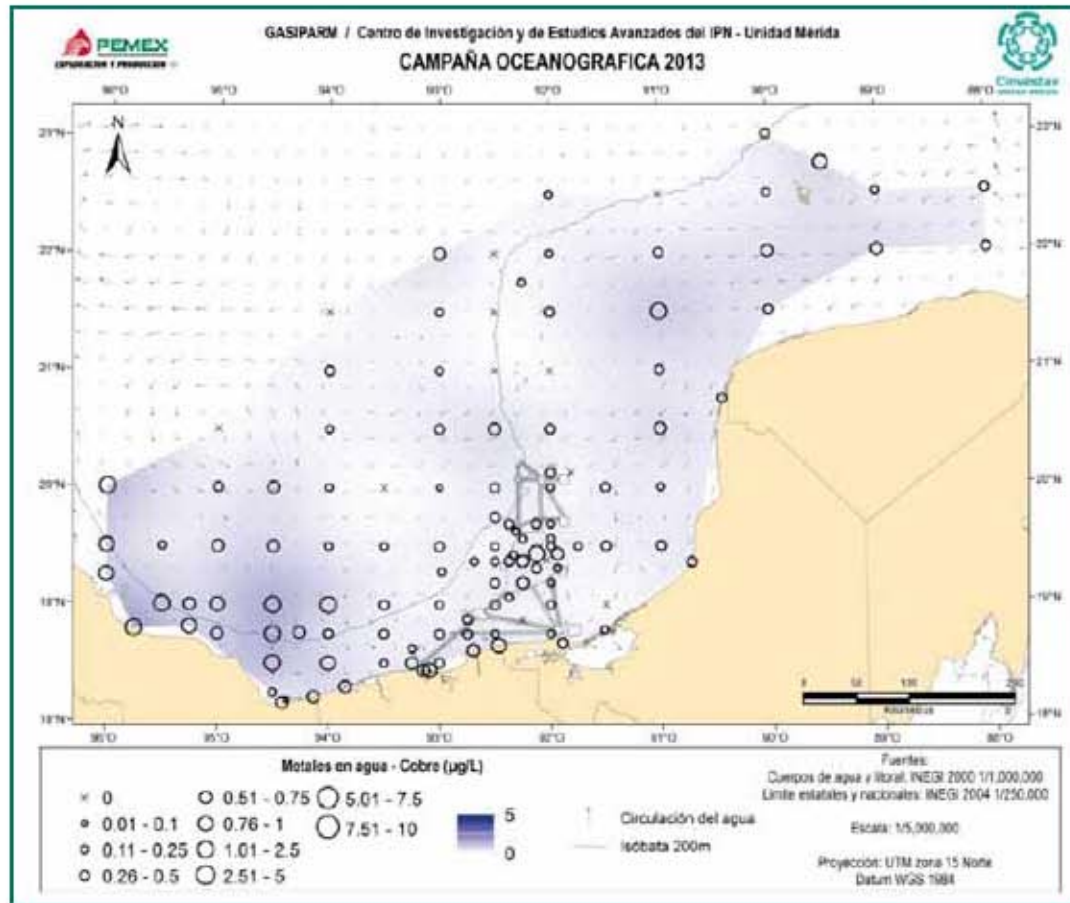
Fuente: PEMEX-CINVESTAV, 2013

Figura 6.38 Concentración de Plomo en áreas circundantes al Área Contractual 4

Cobre (Cu)

El Cobre es un oligoelemento de concentración relativamente constante en los océanos y se presenta generalmente en una concentración de 0.001 mg/L. Es parte esencial de los moluscos ya que forma parte de la hemocianina, que es su pigmento sanguíneo (Lemus).

El estudio ambiental del CINVESTAV, derivado de su campaña oceanográfica en 2013 indica que hay concentraciones de cobre en el área circundante al Área Contractual 4 con una concentración máxima de 0.0002 mg/L (ver Figura 6.39); sin embargo, en el área de estudio sólo se detectó una muestra duplicado con concentraciones de 0.00551 mg/kg.



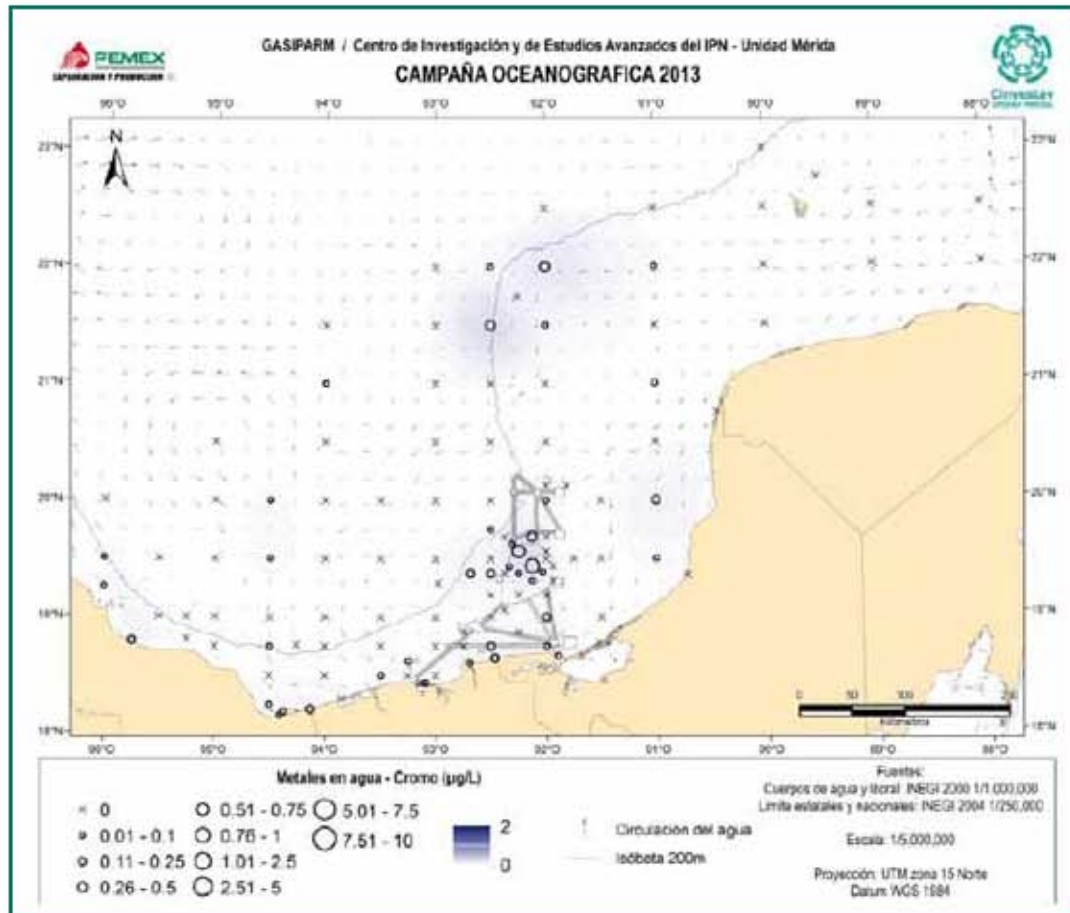
Fuente: PEMEX-CINVESTAV, 2013

Figura 6.39 *Concentración de Cobre en áreas circundantes al Área Contractual 4*

Las aportaciones Cobre ajenas a las que se encuentra de manera natural en el mar, se pueden asociar a vertidos provenientes de la costa de la industria o debido al uso de este metal en la actividad ganadera y al cambio del uso de suelo son los principales causantes.

Cromo Total (Cr)

El Cromo está relacionado con las actividades de perforación de pozos por la cromita que se usaba anteriormente para este fin. En el Área Contractual se utilizaron lodos base agua y también base aceite para la perforación de los pozos preexistentes y es posible que los lodos base aceite contuvieran trazas de cromo. Adicionalmente, el CINVESTAV (2013) reportó concentraciones máximas de 0.0005 mg/L de Cromo en el área circundante al Área Contractual 4 (ver Figura 6.40).

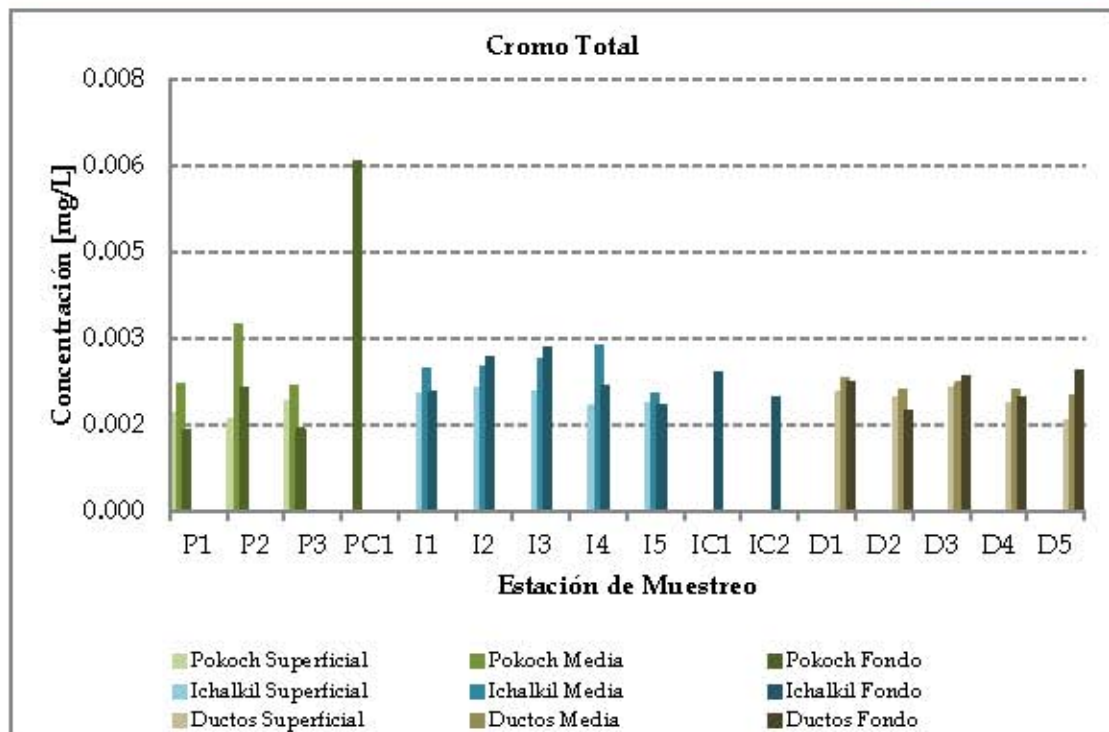


Fuente: PEMEX-CINVESTAV, 2013

Figura 6.40 Concentración de Cromo en áreas circundantes al Área Contractual 4

En el Área Contractual 4 se detectaron concentraciones de cromo total en todas las muestras analizadas, en un rango de 0.0014 a 0.0061 mg/L (ver Gráfica 6.65).

Aunque los valores detectados presentan una variación uniforme, se observa que el mayor valor detectado corresponde de nuevo con la ubicación, con base en la información disponible, de un pozo actualmente cerrado.



Gráfica 6.65 Concentración de Cromo Total en agua marina

Mercurio (Hg)

Solo una pequeña parte del mercurio en condiciones naturales se encuentra disuelto en el agua de mar (Botello, 1992), el resto del mercurio es incorporado a los océanos debido a las actividades antropogénicas. La importancia de este metal radica en que es bioacumulable a través de la cadena alimenticia.

En el Área Contractual 4 no se detectaron concentraciones de Mercurio por arriba del límite de cuantificación del laboratorio. Sin embargo, Rosas (1983) ha reportado concentraciones de 0.0075 mg/L en la Sonda de Campeche, por lo cual podrían existir concentraciones traza en el área de interés.

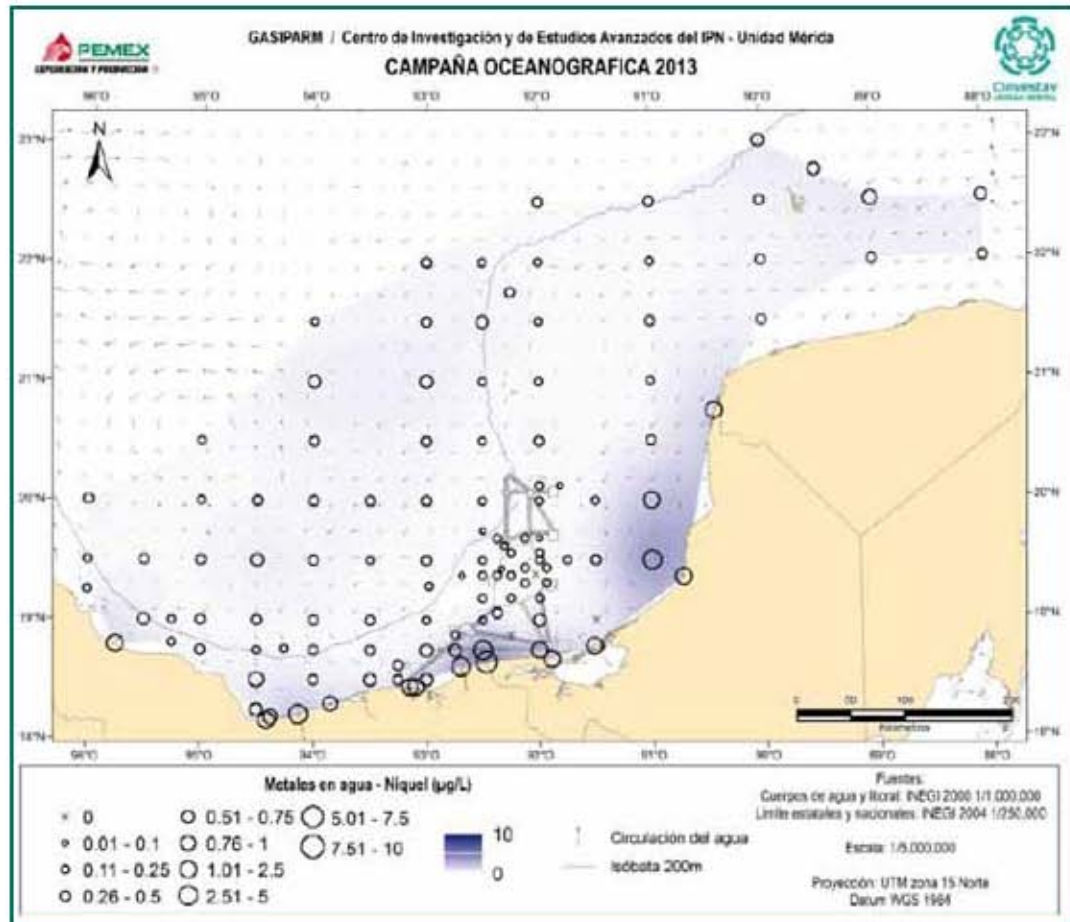
Níquel (Ni)

El Níquel es un metal esencial para los organismos vivos, sin embargo, es el metal que menos tendencia tiene a bioacumularse.

En la campaña oceanográfica del CINVESTAV en SGM-8 de la UNAM se detectó Níquel en una concentración máxima de 0.005 mg/L en áreas aledañas al Área Contractual 4, sin embargo, específicamente en el área de interés este metal no se



detectó en concentraciones por encima del límite de cuantificación del laboratorio, aun así, el agua de mar podría tener concentraciones traza de este metal.



Fuente: PEMEX-CINVESTAV, 2013

Figura 6.41 Concentración de Níquel en áreas circundantes al Área Contractual 4

Cobalto (Co)

El Cobalto es un metal de transición que necesitan los organismos marinos en bajas concentraciones para su metabolismo, sin embargo, en altas concentraciones puede ser tóxico. Generalmente se transporta a los océanos a través de una fracción disuelta en ríos. En el Área Contractual 4 no se detectaron concentraciones de Cobalto por encima del límite de detección del laboratorio en ninguna muestra analizada.

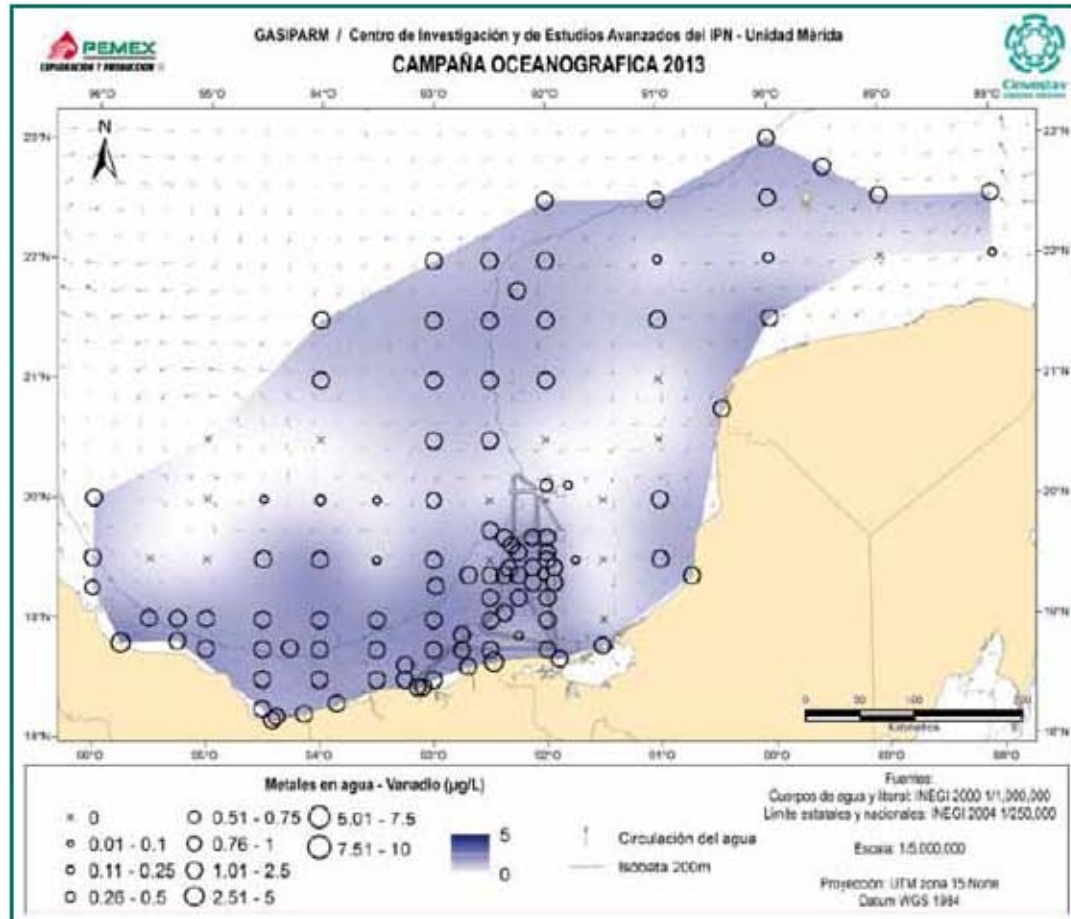
Vanadio (V)

El Vanadio se libera al medio por acción de emisores naturales como volcanes y chapopoterías, así como por acción antropogénica (Middelburg *et al.*, 1988; Emerson y Husted, 1991). El Vanadio en el agua de mar se comporta como un elemento bioactivo, mostrando una correspondencia con la distribución de fosfato y su tiempo



de residencia oceánica puede llegar a los 100,000 años (Shiller y Boyle, 1987; Breit y Wanty, 1991).

Por otro lado, el CINVESTAV ha reportado que el Vanadio está disuelto en el agua superficial en una concentración máxima de 0.005 mg/L en el área circundante al Área Contractual 4 (ver Figura 6.42).

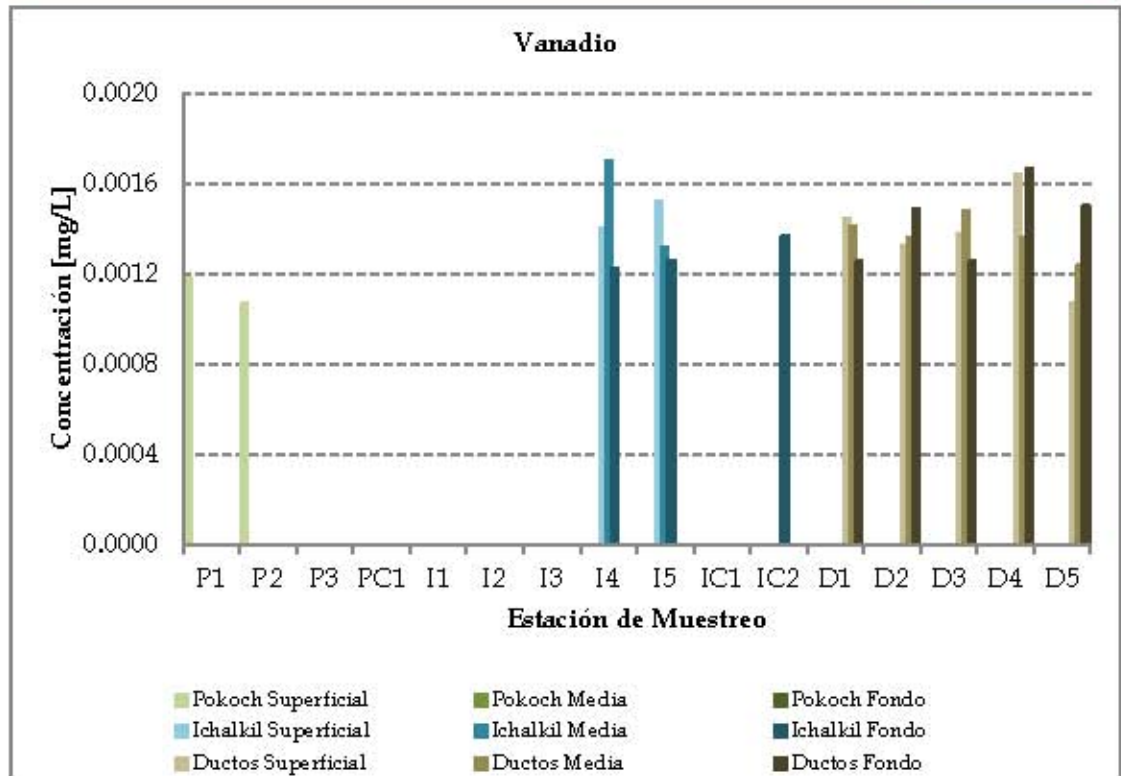


Fuente: PEMEX-CINVESTAV, 2013

Figura 6.42 Concentración de Vanadio en áreas circundantes al Área Contractual 4

Se detectó Vanadio en el Área Contractual 4 en 24 muestras, en un rango de 0.0011 a 0.0017 mg/L. Estas concentraciones están por debajo de los límites que establece la NOAA (Vanadio = 0.0500 mg/L) (ver Gráfica 6.66).

Con base en el análisis de los resultados analíticos, se observa que la mayor ocurrencia de este elemento se presenta en aquellas estaciones de muestreo fuera de los bloques de investigación.



Gráfica 6.66 Concentración de Vanadio en agua marina

Bario (Ba)

El Bario es un contaminante asociado a los fluidos de perforación ya que anteriormente se usaba en forma de barra y se denominaba barita (Gold). La barita (sulfato de bario) se adiciona específicamente en los fluidos de perforación para incrementar su densidad, con objeto de evitar que el gas, aceite o agua presentes en las formaciones permeables, invadan el barrenado; previniendo además el derrumbe de las paredes mediante el control de presión hidrostática de las columnas de fluido que depende de la densidad de la barita adicionada y de la longitud de la columna hidrostática (SE, 2013).

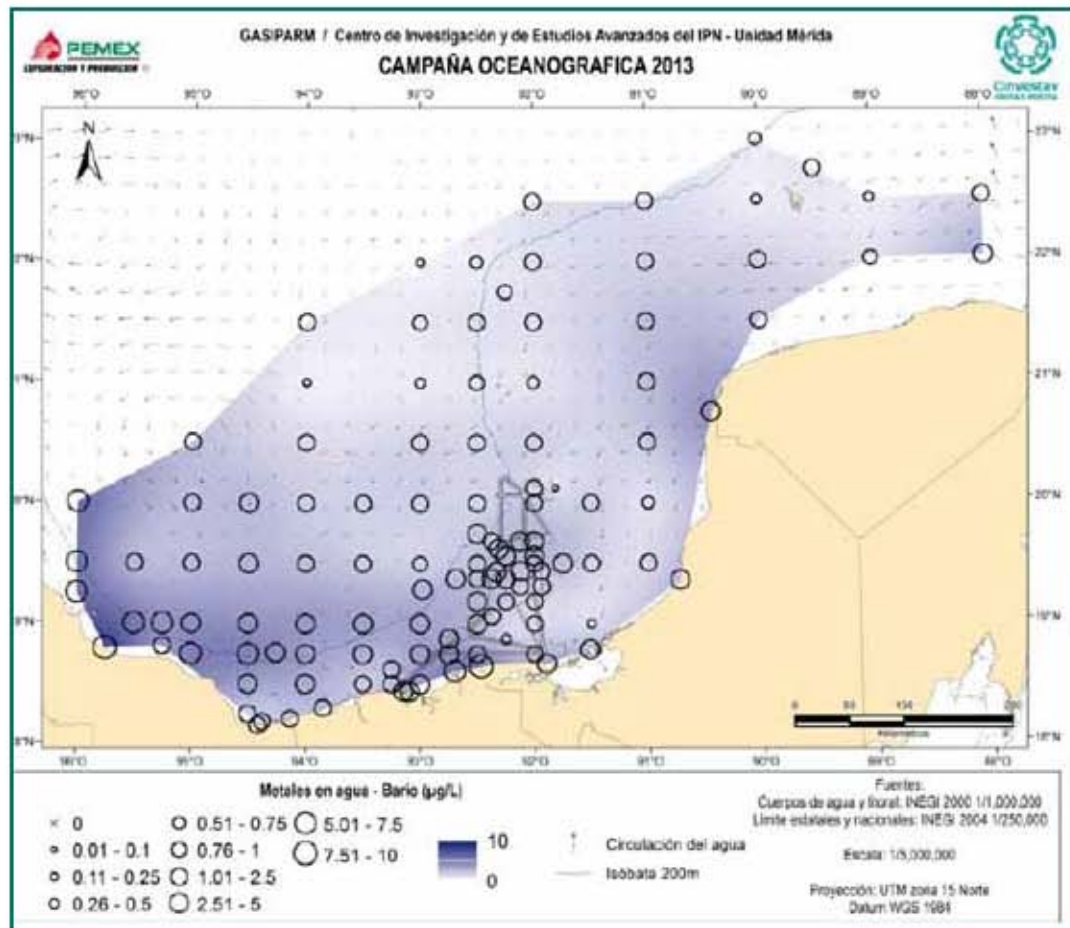
El bario se asocia también a los fluidos de perforación por el uso de barita en los mismos, por lo cual la influencia de los pozos anteriormente explotados y la zona petrolera circundante al Área Contractual 4 tiene influencia en la presencia de bario en el agua.

Asimismo, en la campaña oceanográfica de CINVESTAV en 2013 se detectaron concentraciones de Bario en concentraciones de hasta 0.0075 mg/L en áreas aledañas al Área Contractual 4.



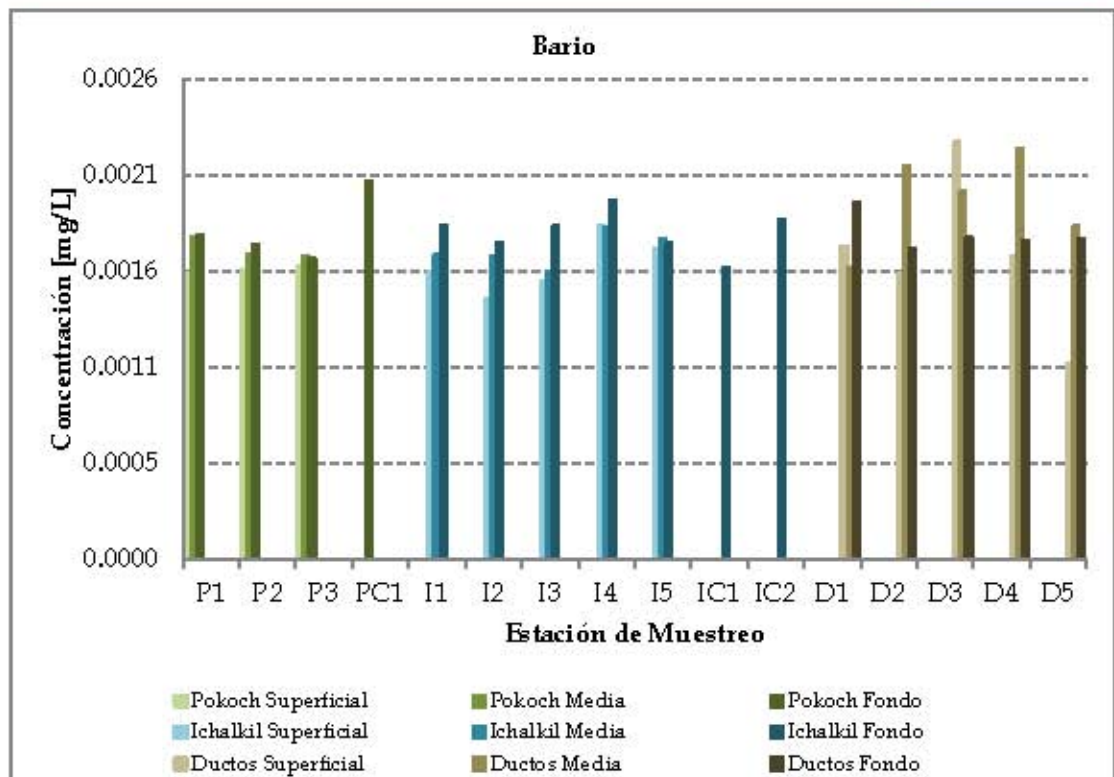
En el Área Contractual 4 se detectó Bario en todas las muestras analizadas, en un rango de 0.0011 a 0.0023 mg/L. Todas las concentraciones reportadas están por debajo del criterio de comparación de la NOAA (Bario = 0.0200 mg/L) (ver Gráfica 6.67).

Con base en la observación de los resultados analíticos reportados de las estaciones de muestreo, se observa que las concentraciones de Bario en los bloques de investigación (Pokoch e Ichalkil), así como en las áreas circundantes a estos, es bastante homogénea tanto a lo largo de la columna de agua como en la extensión de estas áreas en general.



Fuente: PEMEX-CINVESTAV, 2013

Figura 6.43 Concentración de Bario en áreas circundantes al Área Contractual 4



Gráfica 6.67 Concentración de Bario en agua marina

Estaño (Sn)

El estaño es un metal pesado que afecta diversas funciones fisiológicas a nivel respiratorio, excretor, nutricional y también el crecimiento y el comportamiento de peces, crustáceos y moluscos.

En el Área Contractual 4 no se detectaron concentraciones de Estaño por encima del límite de detección del laboratorio en ninguna muestra analizada.



6.2.7

Calidad de Sedimento Marino

En el Apéndice 6.9 se presenta un resumen del muestreo y análisis de los parámetros de calidad del sedimento marino para el Área Contractual 4 y en los Apéndices 6.10 a 6.15 se detalla la información por parámetro. En el Anexo 5.4 se presentan todos los resultados de laboratorio para muestras de sedimento y sus correspondientes cadenas de custodia, emitidos ITS.

De manera similar a la interpretación de las muestras de agua de mar, se utilizaron criterios de comparación internacionales en el caso de sedimento marino. Los resultados analíticos fueron comparados contra el criterio de HTP de la UNESCO establecido en 1976, así como los criterios de la de la Guía Interina de Calidad de Sedimento Marino (ISQG) publicada por el CCME y los límites TEL y PEL presentados en las SQUIRTs de la NOAA para metales y HAP.

Los criterios de comparación de la CCME son equivalentes en casi todos los casos al valor TEL y al PEL de la NOAA. El valor TEL es el Nivel de Efecto en el Umbral (es decir, es amenaza no potencial) y el valor PEL es el Nivel de Efecto Probable.

Cuando un elemento o compuesto excede el límite TEL, esto significa que ha pasado la concentración mínima por encima de la cual rara vez se producen efectos adversos sobre los organismos marinos. En cambio, cuando el analito excede el límite TEL pero está por debajo del PEL, los efectos adversos se verán reflejados ocasionalmente sobre los organismos. Finalmente, cuando un analito excede el valor PEL, los efectos adversos sobre la vida marina son frecuentemente observados.

Asimismo, para el análisis de metales en sedimento marino se utilizó un nebulizador ultrasónico acoplado al ICP (equipo de espectroscopia de plasma de acoplamiento inductivo) para poder cuantificar concentraciones muy bajas, siguiendo la metodología EPA 6010C-2007.

6.2.7.1

Resultados analíticos

Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP)

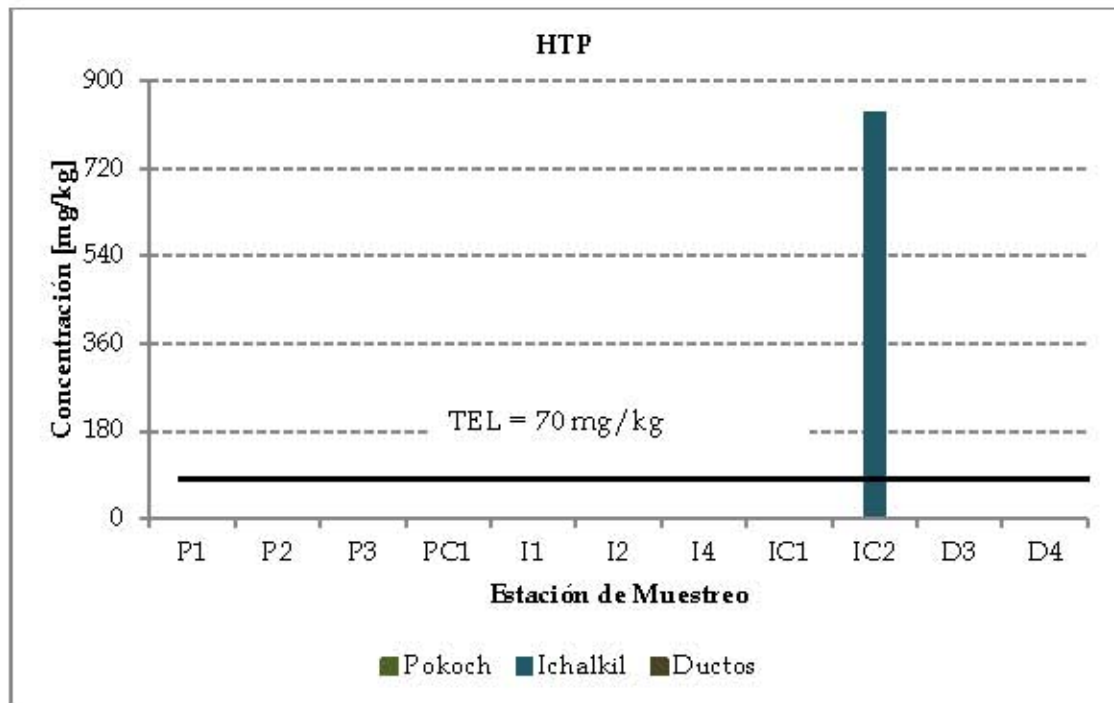
Durante el Programa de Monitoreo y Vigilancia Ambiental (PMVA) realizado en el período de 1999 a 2012 en el sureste del Golfo de México, se tomaron y analizaron muestras de sedimento marino para HTP. El PMVA presentó registros por debajo de las 50 ppm en el periodo 1999-2005 y el año 2012, mientras que en los años 2009 y 2011 se registraron valores de hasta 70 ppm, lo cual es considerado por la UNESCO (1976) como un criterio de contaminación en el sedimento marino.

En el Área Contractual 4, no se detectaron FL y FM por encima de los límites máximos de cuantificación del laboratorio en todas las muestras colectadas. Al realizarse el análisis posterior considerando la detección por debajo del límite de



cuantificación no hubo variación en los resultados. Sin embargo, se detectaron concentraciones de FP de 833.33 mg/kg mayores al criterio de comparación establecido por la UNESCO en el punto IC2, correspondiente a un pozo actualmente cerrado.

En el Apéndice 6.10 se presentan los resultados analíticos de HTP para cada muestra de sedimento marino tomada en el Área Contractual 4.



Gráfica 6.68 Concentración de HTP en sedimento marino

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)

Se ha reportado concentraciones de HAP en la Laguna Camen-Machona en Tabasco, que es el cuerpo de agua costera más cercano al Área Contractual 4. Los valores reportados de HAP en sedimento están entre 2.8 y 2.89 mg/kg, siendo los más abundantes los compuestos de 5 y 6 anillos bencénicos (Vazquez-Botello, 1993). Sin embargo, los resultados analíticos específicos para el Área Contractual 4 no indican concentraciones de HAP por encima de los límites máximos de cuantificación del laboratorio en ninguna muestra recolectada.

En el Apéndice 6.11 se presentan los resultados analíticos de HAP para cada muestra de sedimento marino tomada en el Área Contractual 4.



Metales

La presencia de metales en el sedimento marino se puede relacionar con el tipo de actividad que se realiza en el área. Se pueden ver influenciados por el dragado (Esslemont, 2000); por actividades humanas (Matthai, 2001; Lafabrie *et al.*, 2007) y las actividades industriales desarrolladas en el área de interés (Sharma *et al.*, 1999).

Es factible suponer que estos elementos son adsorbidos sobre las partículas sedimentarias, especialmente cuando el sedimento tiene alto contenido de materia orgánica, ya sea que provengan del continente a través de las descargas fluviales que son abundantes en esta región del Golfo de México, que sean acarreados por el transporte atmosférico hacia la zona costera y oceánica o generados por actividades realizadas directamente en el mar como la explotación petrolera.

La importancia de identificar concentraciones de metales pesados en el sedimento marino es que estos elementos pueden afectar a la biota marina, ya que pueden movilizarse y ser atrapados a través de las membranas biológicas de las diferentes especies marinas.

En el Apéndice 6.12 se presentan los resultados analíticos de metales para cada muestra de sedimento marino tomada en el Área Contractual 4.

En general, la ocurrencia espacial de concentraciones detectadas así como la proporción entre puntos de muestreo, es similar entre los parámetros analizados para cada bloque. Cabe destacar que con base en la información disponible, las estaciones de muestreo donde se detectaron las mayores concentraciones están generalmente ubicadas en la cercanía de un pozo actualmente activo o un pozo cerrado dentro de los bloques Pokoch e Ichalkil. Al comparar las gráficas descritas en las siguientes secciones, se observa que los puntos con mayores concentraciones corresponden a P2 y PC1 dentro del campo Pokoch; e I4, IC1 e IC2 dentro del campo Ichalkil.

Los metales evaluados en el sedimento marino para este estudio de línea base son los siguientes:

Hierro (Fe)

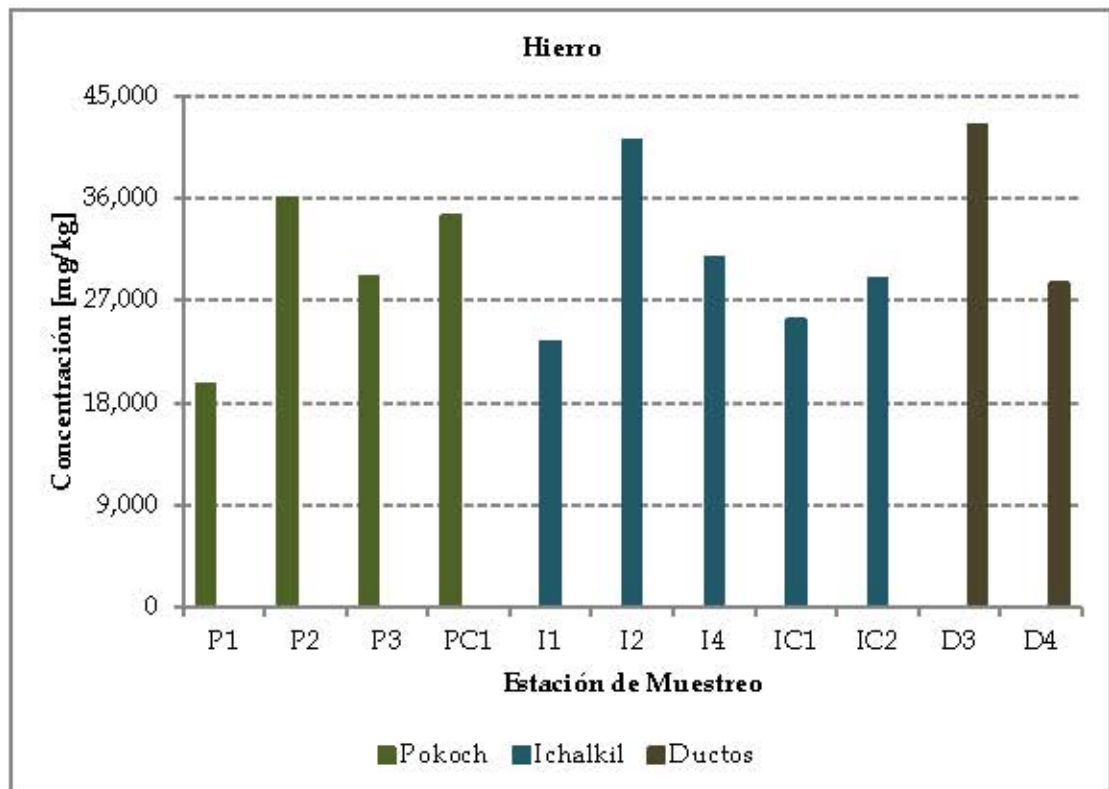
El Hierro es un micronutriente importante para los organismos, ya que interviene en la productividad del plancton en el océano y se asocia a los gases de efecto invernadero (Bowie *et al.*, 2002). Además, este metal puede provenir de residuos industriales y depósitos minerales (Acosta, 1976).

Cuando se descargan en aguas superficiales ricas en sulfato y bien oxigenados, el hierro y el manganeso disueltos pueden precipitar como óxidos, por lo tanto, el



hierro y los óxidos de manganeso podrían instalarse fuera de la columna de agua y acumularse en los sedimentos alrededor de la descarga.

En el Área Contractual 4, el Hierro fue detectado en todas las muestras de sedimento y se encuentra en un rango de 19 662.52 a 42 454.550 mg/kg (ver Gráfica 6.69). Al realizarse el análisis posterior considerando la detección por debajo del límite de cuantificación no hubo variación en los resultados.



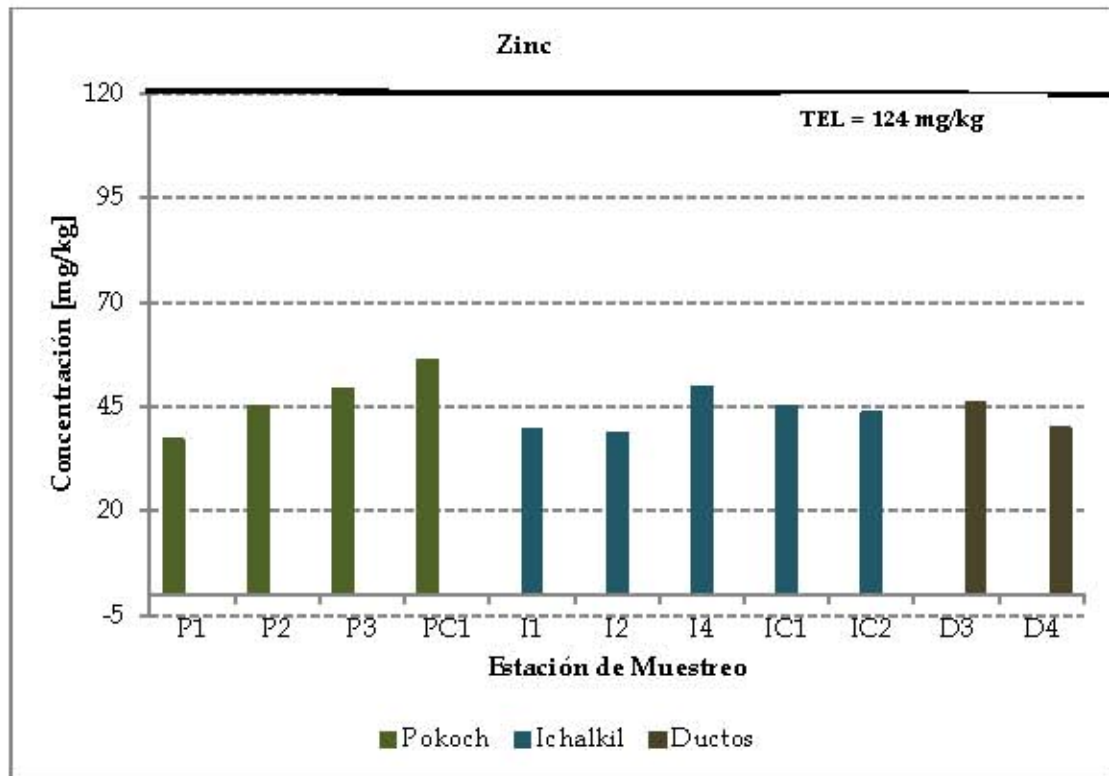
Gráfica 6.69 Concentración de Hierro en sedimento marino

Zinc (Zn)

La fracción del Zinc en combinación con óxidos de Hierro y de Manganeso es la más disponible para los organismos marinos (Kabata-Pendias y Pendias, 1992) y su solubilidad se ve afectada por las arcillas, óxidos, hidróxidos y el pH del mar.

El Zinc fue detectado en el sedimento marino del Área Contractual 4 en un rango de 37.02 a 56.27 mg/kg, pero por debajo de los límites establecidos en los SQUIRTs de la NOAA, tal como se observa en la Gráfica 6.70.

Al realizarse el análisis posterior considerando la detección por debajo del límite de cuantificación no hubo variación en los resultados.

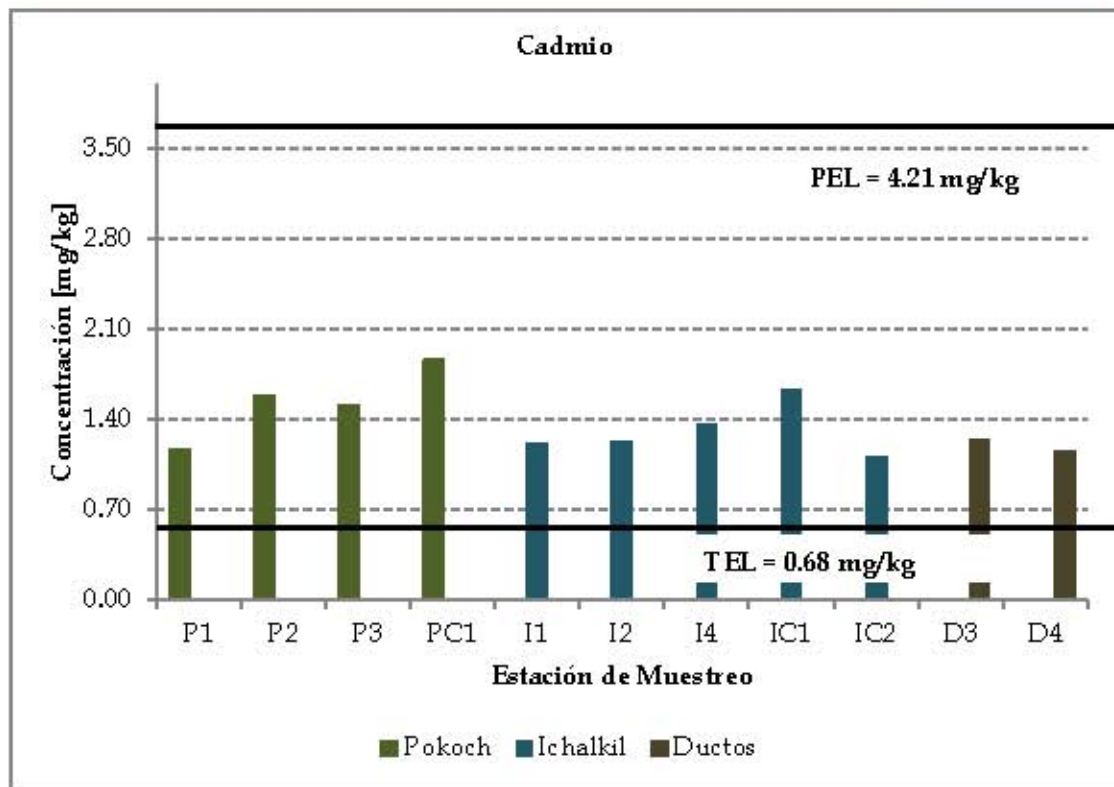


Gráfica 6.70 Concentración de Zinc en sedimento marino

Cadmio (Cd)

Las concentraciones de Cadmio en sedimento se relacionan con las descargas de los ríos y lagos cercanos, a las características sedimentológicas y al contenido de materia orgánica en el sedimento, así como el vertido de residuos industriales (Álvarez *et al.*, 1986; Botello y Páez-Osuna, 1986).

En la Sonda de Campeche se han realizado estudios continuos sobre este y otros metales pesados; los resultados obtenidos en la campaña oceanográfica (SGM-9) de la UNAM en el 2004 presentan valores entre 0.114 y 0.119 mg/kg en los primeros 10 cm de sedimento (Vazquez-Botello, 1993). En el Área Contractual 4, todas las muestras presentaron concentraciones de Cadmio en un rango de 1.11 a 1.86 mg/kg; por encima del límite TEL pero por debajo del límite PEL de la NOAA, por lo cual, los efectos adversos sobre la vida marina pueden ser ocasionalmente observables (ver Gráfica 6.71).



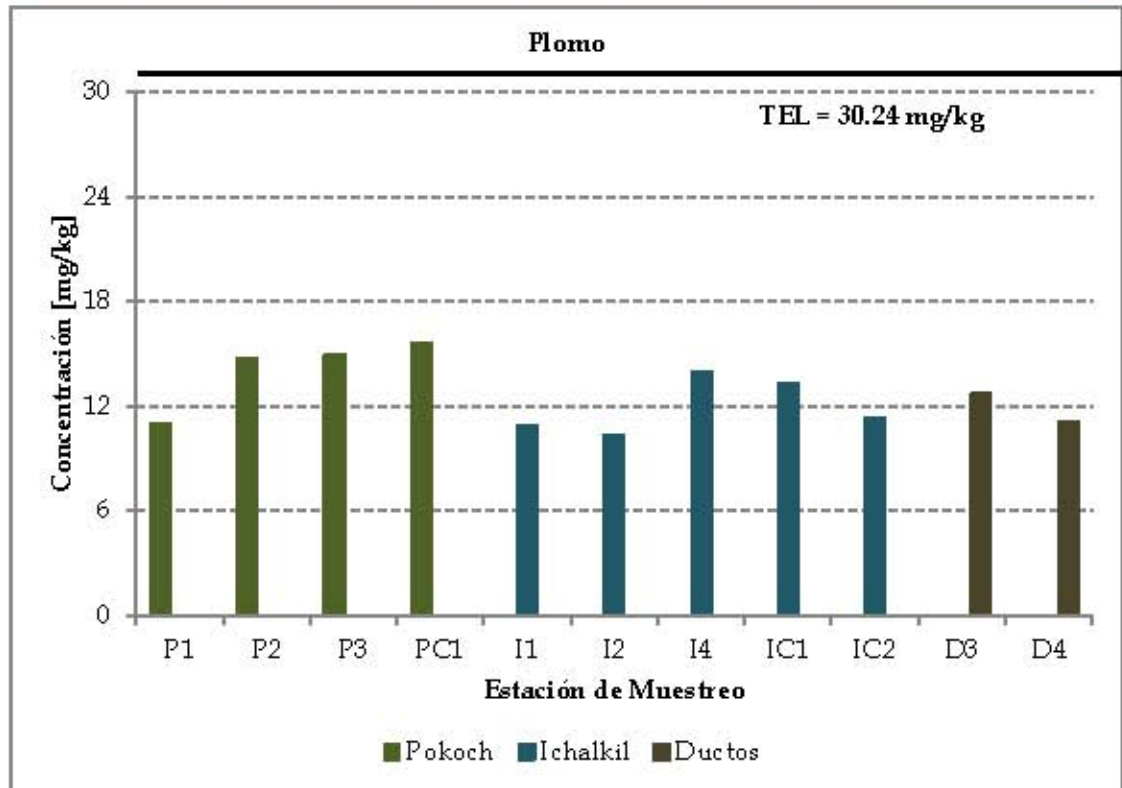
Gráfica 6.71 Concentración de Cadmio en sedimento marino

Plomo (Pb)

El contenido Plomo en sistemas acuáticos se debe principalmente al arrastre de sales de depósito mineral y a las industrias que fabrican sustancias como: el tetraetilo de plomo, ácido sulfúrico, etc. (Acosta, 1976; Prego y Cobelo-García, 2003). Generalmente el aporte de Plomo al mar se debe a las actividades antropogénicas y específicamente en las actividades petroleras este metal se asocia a los residuos de perforación.

En el Área de estudio se detectaron concentraciones en un rango de 10.32 a 15.64 mg/kg, por debajo de los criterios de comparación del CCME y los SQuiRTs de la NOAA.

En la Gráfica 6.72 se muestran los resultados obtenidos comparados con la Guía Interina de Calidad de Sedimento Marino (ISQG) de la CCME, que muestra el nivel más estricto hasta el momento.

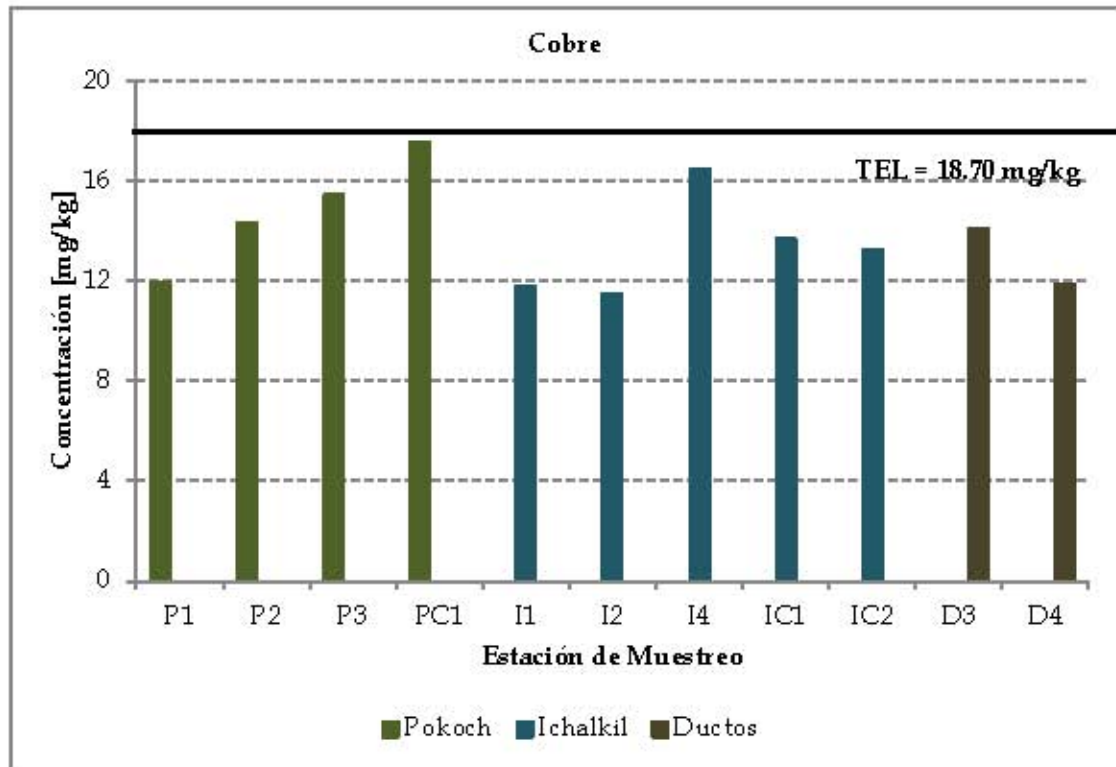


Gráfica 6.72 Concentración de Plomo en sedimento marino

Cobre (Cu)

El Cobre presente en el sedimento marino y agua de mar existe en dos estados de oxidación: Cu (I) y Cu (II), esta propiedad puede influenciar su equilibrio en el ambiente marino (Sadiq, 1992).

En el Área Contractual 4, se detectaron concentraciones de Cobre en un rango de 11.47 a 17.49 mg/kg, por debajo de los criterios de comparación del CCME y los SQiRTs de la NOAA (ver Gráfica 6.73).



Gráfica 6.73 Concentración de Cobre en sedimento marino

Cromo (Cr)

En la campaña oceanográfica (SGM-9) en el 2004, realizada por la UNAM, se detectaron concentraciones de Cromo en tres niveles del sedimento de la Sonda de Campeche y áreas colindantes en el sur del Golfo de México; a 1 cm y 5 cm se tuvo un promedio de 0.003 mg/kg y a 10 cm se tuvo 0.002 mg/kg. El principal aporte probablemente se hace a través del río Coatzacoalcos y a los ríos de Tabasco.

En el Área Contractual 4 no se detectaron concentraciones de Cromo Hexavalente, en ninguna muestra de sedimento marino por arriba del límite de detección del laboratorio.

Mercurio (Hg)

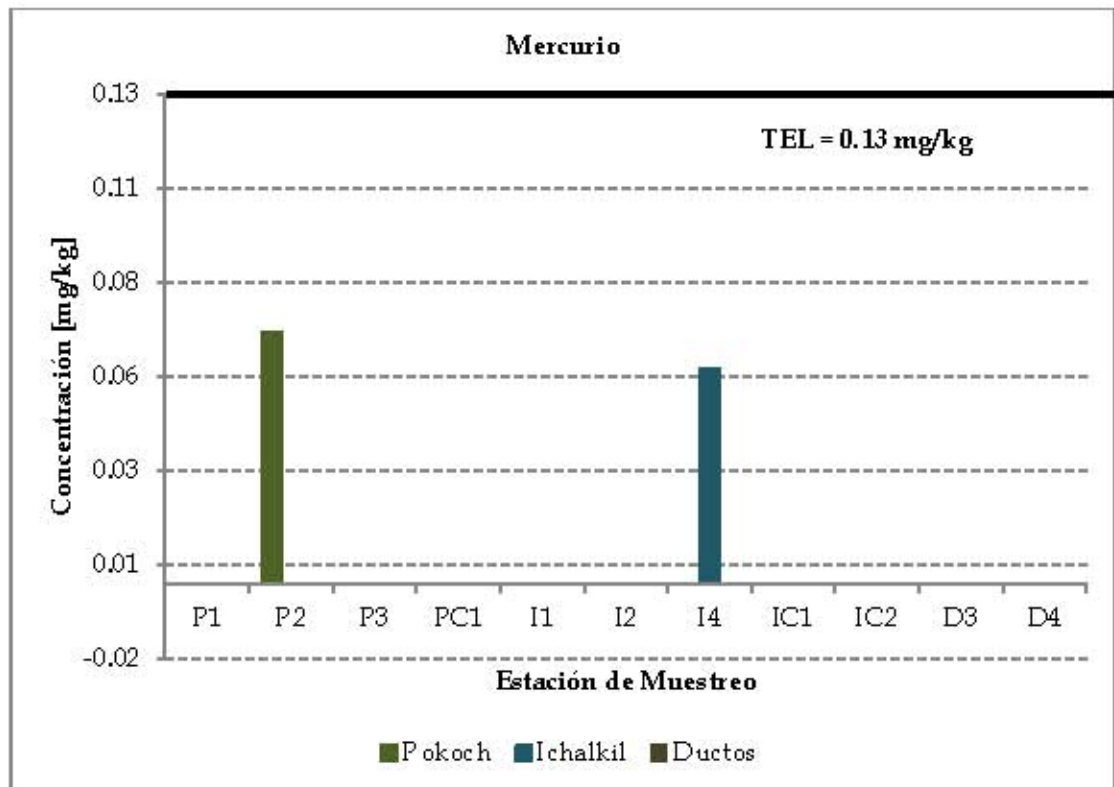
El Mercurio es un metal no esencial y tóxico para los seres vivos, aún en bajas concentraciones la forma elemental y los compuestos orgánicos e inorgánicos son altamente nocivos (Villanueva y Botello, 1991).

En el Área Contractual 4 no se detectaron concentraciones de Mercurio, en ninguna muestra de sedimento marino por arriba del límite de cuantificación del laboratorio.



Al realizarse el análisis posterior considerando la detección por debajo del límite de cuantificación se determinaron concentraciones de Mercurio en dos muestras en un rango de 0.057 a 0.067 mg/kg; por debajo de los criterios de comparación del CCME y los SQiRTs de la NOAA (ver Gráfica 6.74).

Con base en la información disponible, se observa que las muestras que presentaron detecciones de este parámetro pertenecen a las estaciones de muestreo ubicadas en la cercanía de pozos actualmente activos.



Gráfica 6.74 Concentración de Mercurio en sedimento marino

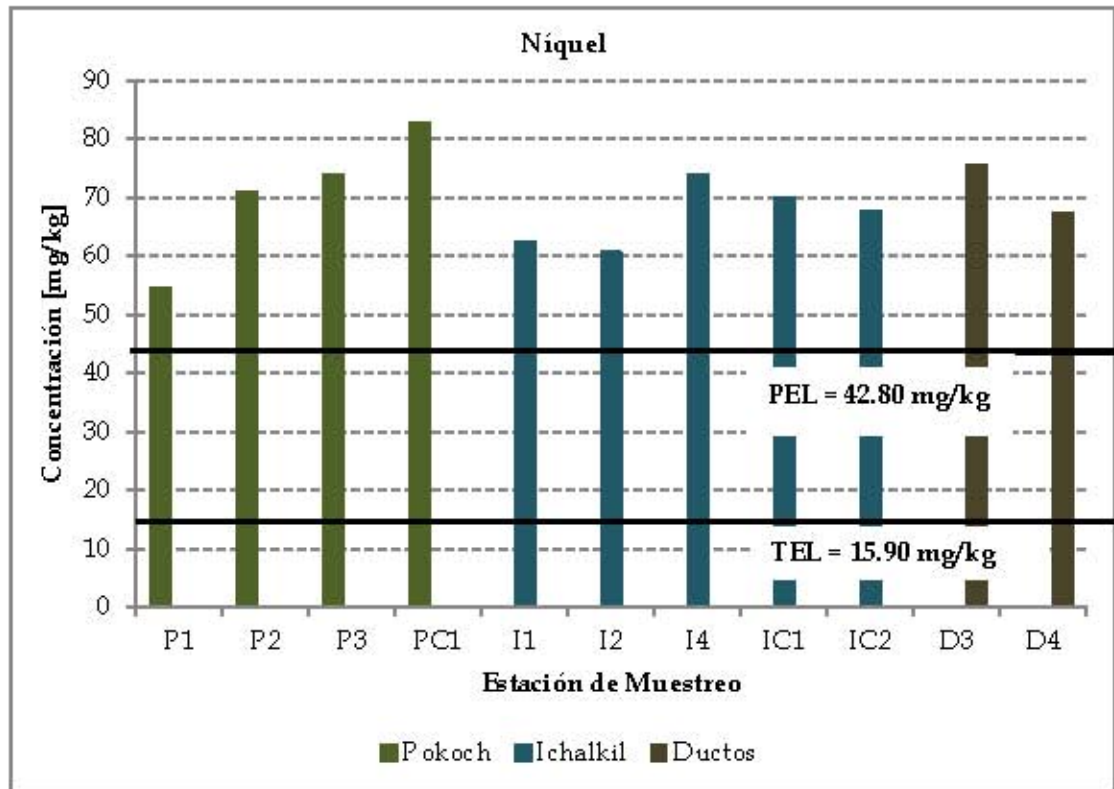
Níquel (Ni)

El Níquel se asocia con descargas de origen industrial, principalmente por actividades petroquímicas, y generalmente se encuentra relacionado con el Cianuro, Mercurio y Arsénico (Rodier, 1990). Los derrames de petróleo que se pueden producir en la zona de estudio aportarían principalmente vanadio y níquel, cuyas cantidades varían según el tipo de crudo que se derrame, siendo el Crudo Maya el que contiene mayores cantidades de ambos metales.

En el Área Contractual 4, todas las muestras presentaron concentraciones de Níquel en un rango de 54.58 a 82.81 mg/kg; por encima del límite TEL y del límite PEL de la NOAA, por lo cual, los efectos adversos sobre la vida marina pueden ser



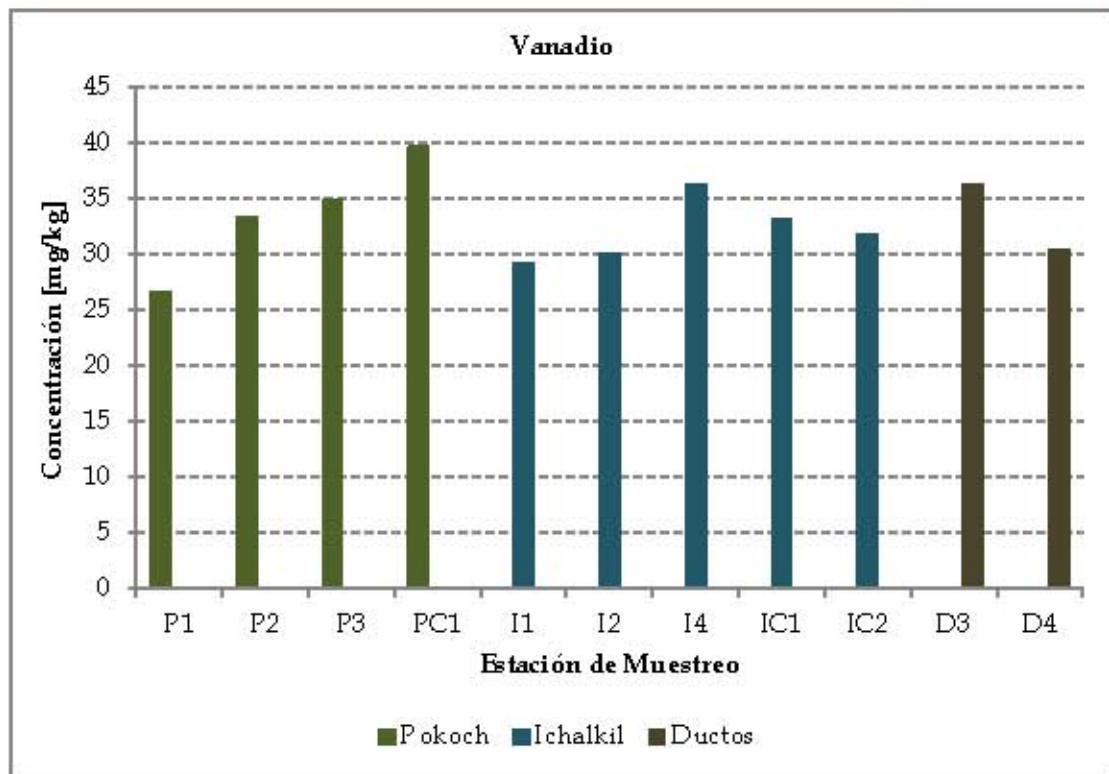
frecuentemente observables (ver Gráfica 6.75). Al realizarse el análisis posterior considerando la detección por debajo del límite de cuantificación no hubo variación en los resultados.



Gráfica 6.75 Concentración de Níquel en sedimento marino

Vanadio (V)

La presencia del Vanadio en sedimento marino se asocia a las actividades petroquímicas ya que entra la ambiente principalmente por la combustión de petróleo. En el Área Contractual 4 todas las muestras presentaron concentraciones de Vanadio en un rango de 26.66 a 39.62 mg/kg (ver Gráfica 6.76). No existe criterio de comparación para este metal. Al realizarse el análisis posterior considerando la detección por debajo del límite de cuantificación no hubo variación en los resultados.



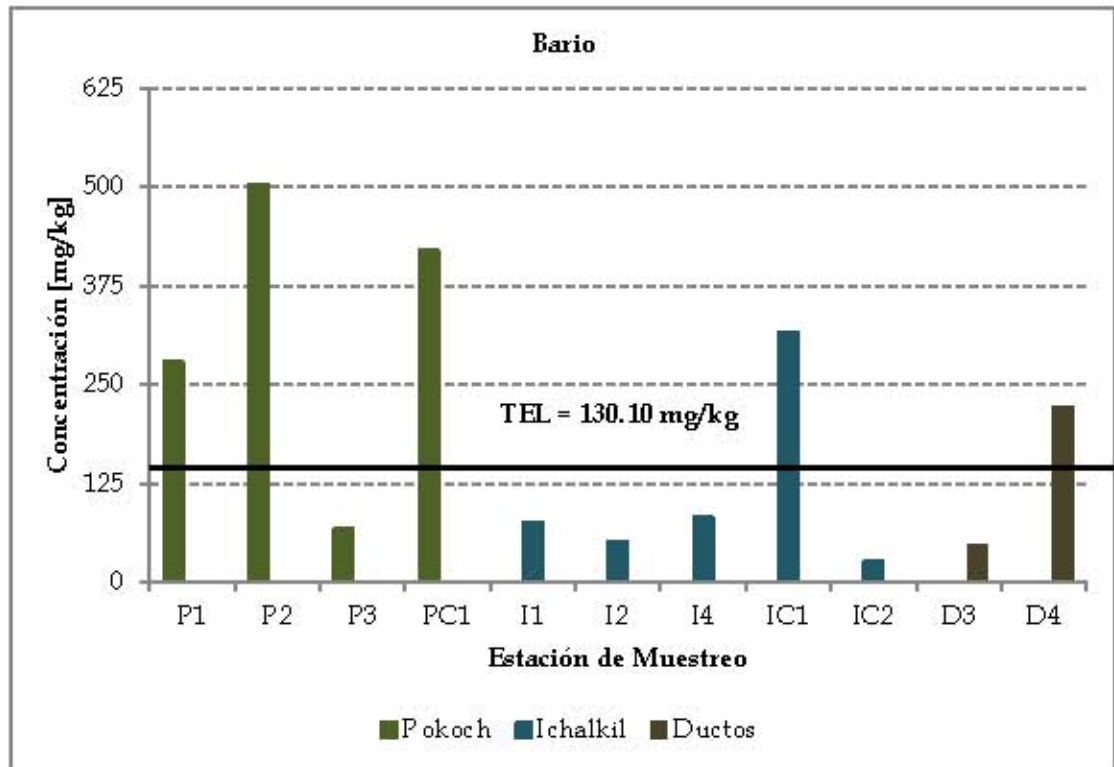
Gráfica 6.76 Concentración de Vanadio en sedimento marino

Plata (Ag)

No se detectaron concentraciones de Plata por encima del límite de cuantificación del laboratorio. Al realizarse el análisis posterior considerando la detección por debajo del límite de cuantificación no hubo variación en los resultados. No existe un criterio de comparación para este metal.

Bario (Ba)

El Bario tiene movilidad baja en los ecosistemas marinos ya que precipita en forma de sulfatos y carbonatos, y estos son atrapados por las arcillas (Garduño, 2012). En el Área Contractual 4 todas las muestras presentaron concentraciones de Bario en un rango de 26.34 a 502.76 mg/kg (ver Gráfica 6.77), y de estas, cinco muestras presentaron concentraciones que exceden el límite TEL (Ba = 130.10 mg/kg), lo cual significa que estas concentraciones superan la concentración mínima a la cual rara vez se producen efectos adversos sobre los organismos marinos.

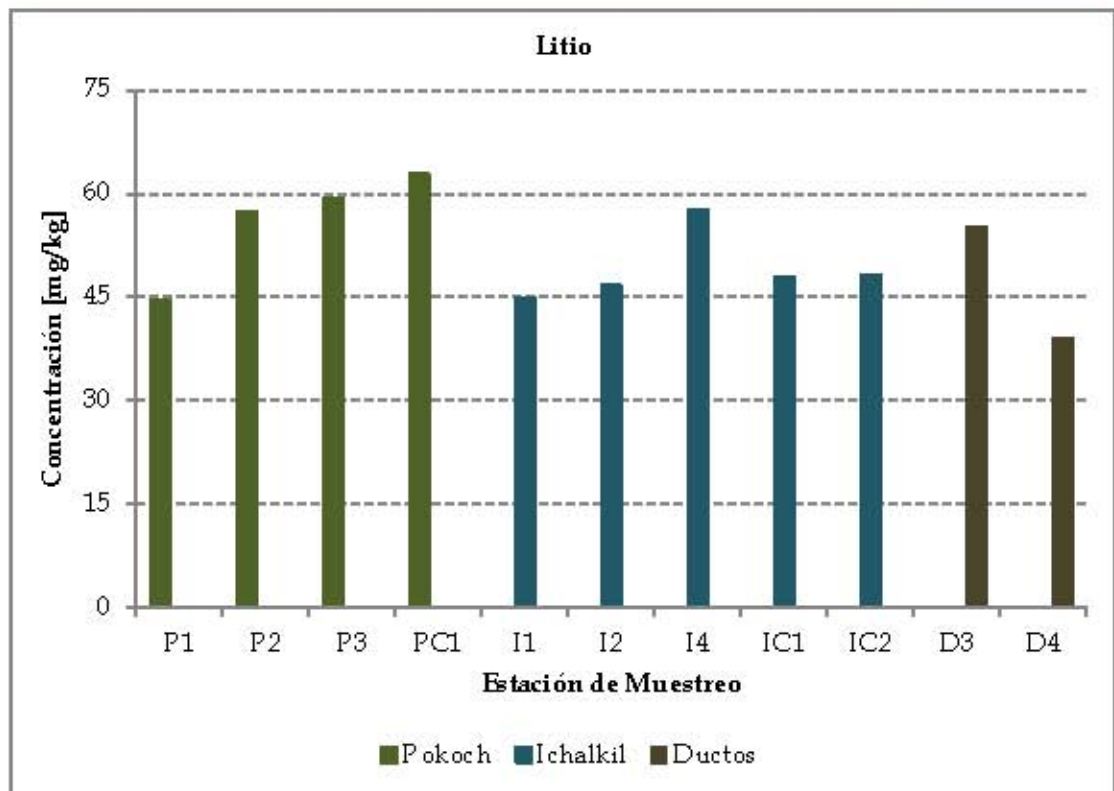


Gráfica 6.77 Concentración de Bario en sedimento marino

Litio (Li)

Actualmente no se cuenta con registros puntuales de litio de campañas oceanográficas previas realizadas en el Golfo de México, ni estándares nacionales e internacionales de comparación. Sin embargo, se conoce que este metal se encuentra presente en una amplia gama de minerales (aproximadamente 145 especies mineralógicas) en tierra y en el mar, por ejemplo en salmueras asociadas pozos petroleros, también se encuentra presente en diversas arcillas (siendo la hectorita la más importante) y en el agua de mar (SE, 2014).

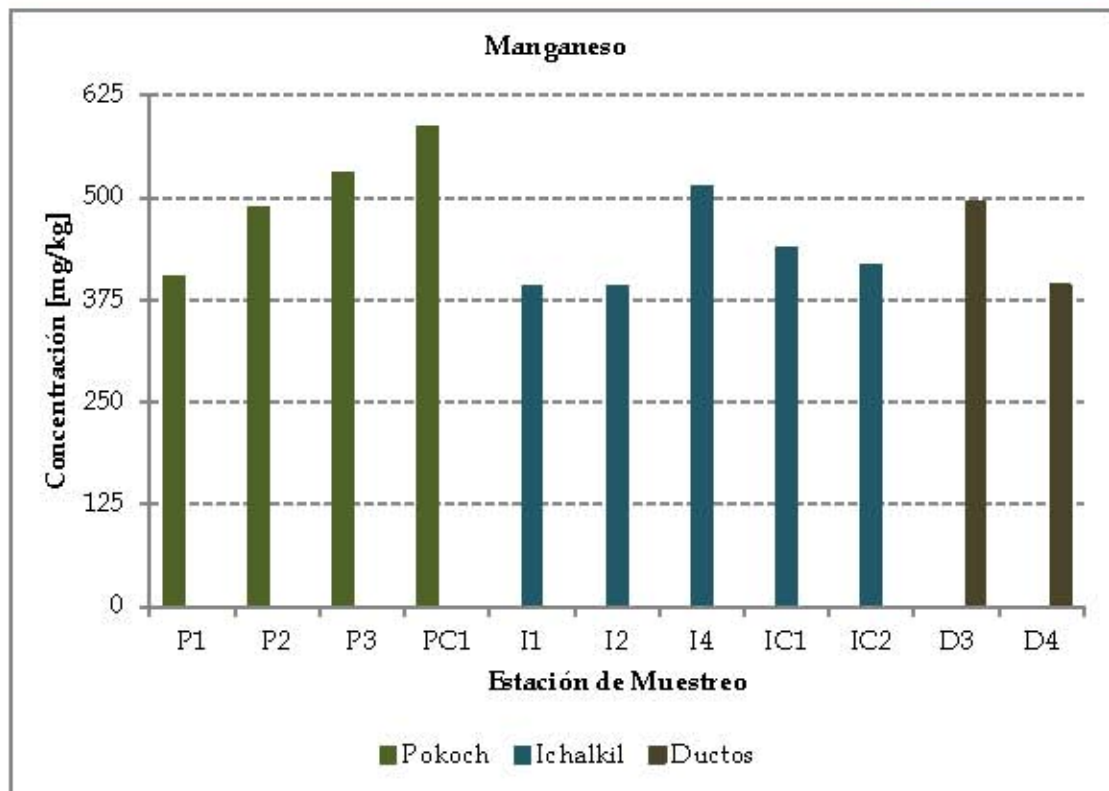
En el Área Contractual 4, todas las muestras de sedimento presentaron concentraciones de Litio en un rango de 39.02 a 62.81 mg/kg (ver Gráfica 6.78). Al realizarse el análisis posterior considerando la detección por debajo del límite de cuantificación no hubo variación en los resultados. Este metal no cuenta con criterios de comparación.



Gráfica 6.78 Concentración de Litio en sedimento marino

Manganeso (Mn)

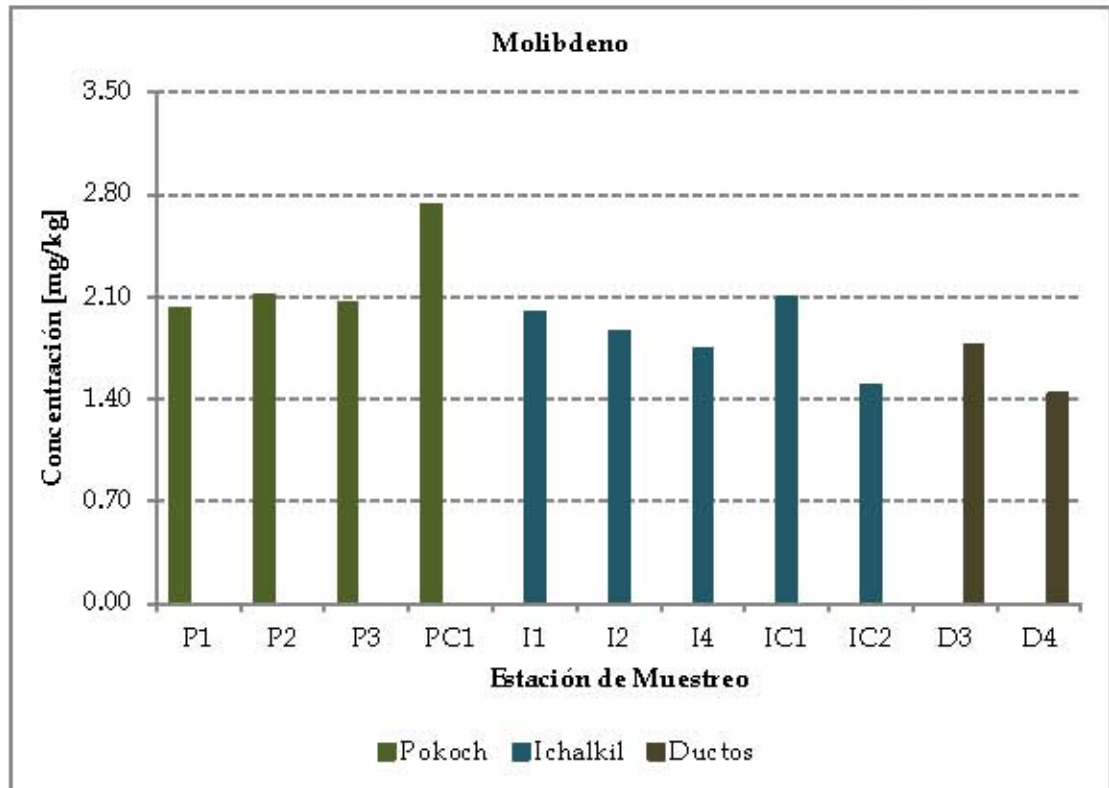
El Manganeso se encuentra de forma natural en la corteza terrestre, este metal está presente en estado soluble, en suspensión o en forma de complejo y su solubilidad depende del pH y oxígeno disuelto. En el Área Contractual 4 todas las muestras presentaron concentraciones de Manganeso en un rango de 389.95 a 586.65 mg/kg (ver Gráfica 6.79). Al realizarse el análisis posterior considerando la detección por debajo del límite de cuantificación no hubo variación en los resultados. No existe criterio de comparación para este metal.



Gráfica 6.79 Concentración de Manganeso en sedimento marino

Molibdeno (Mo)

En el Área Contractual 4 no se detectó Molibdeno en el sedimento marino por encima de los límites de cuantificación del laboratorio. Al realizarse el análisis posterior considerando la detección por debajo del límite de cuantificación todas las muestras presentaron concentraciones en un rango de 1.44 a 2.11 mg/kg (ver Gráfica 6.80). No existe criterio de comparación para este metal.



Gráfica 6.80 Concentración de Molibdeno en sedimento marino

Selenio (Se)

En el Área Contractual 4 no se detectó Selenio en el sedimento marino por encima de los límites de cuantificación del laboratorio. Al realizarse el análisis posterior considerando la detección por debajo del límite de cuantificación no hubo variación en los resultados.

Estaño (Sn)

En el Área Contractual 4 no se detectó Estaño en el sedimento marino por arriba de los límites de cuantificación del laboratorio. Al realizarse el análisis posterior considerando la detección por debajo del límite de cuantificación no hubo variación en los resultados.

6.2.7.2 *Propiedades físicas*

En los Apéndices 6.13 y 6.14 se presentan los resultados analíticos de las propiedades físicas para cada muestra de sedimento marino tomada en el Área Contractual 4.



Las propiedades físicas evaluadas en el Área Contractual 4 para este estudio fueron las siguientes:

Granulometría (partículas elementales)

Se determinaron las partículas elementales del sedimento marino en el Área Contractual 4 y, en general, los resultados analíticos muestran que el tamaño de partícula más abundante fue el limo (65.04%), en segundo lugar la arena (18.54%) y en tercer lugar partículas de tamaño dentro de la clasificación de arcillas (16.42%); por lo tanto, la clasificación general de los sedimentos del Área Contractual 4 puede establecerse como un limo arenoso. Sin embargo, al realizar el análisis por bloque, la clasificación varía en limo arcilloso para el bloque Pokoch (limo = 68.57%, arcilla = 17.80%, arena = 13.64%), mientras que para el bloque Ichalkil se mantiene la clasificación general de limo arenoso (limo = 63.43%, arena = 21.41%, arcilla = 15.16%).

Textura del sedimento

En el sedimento encontrado en el Área Contractual 4 predomina la textura franco-limosa; siendo los puntos P3, I1 y I2 los únicos con textura franco arenosa. En general, el tipo de sedimento en cada punto de muestreo coincide con las observaciones bibliográficas donde se registran facies sedimentarias típicas de la plataforma continental; es decir, las partículas de tamaño se establecen hacia el sur debido a la interacción con la costa, mientras que hacia el norte del Área Contractual el flujo de sedimentos finos aumenta.

Materia orgánica (MO)

En el Golfo de México el contenido de materia orgánica se distribuye por efecto de la dilución por el material terrígeno proveniente de las zonas cercanas a la costa (Balsam y Beeson 2003). La materia orgánica en los sedimentos tiene gran importancia ya que influye en la distribución de metales, debido a que forma complejos que permite mantener a los metales en el sedimento (Szefer *et al.*, 1995).

Se han reportados valores MO en los sedimentos marinos de la Sonda de Campeche con una variación de 1.2 a 5.4%, sin distinguir un patrón general consistente en su distribución (Vela, 2005).

En el sedimento marino del Área Contractual 4 se presentaron valores de MO mayores al límite de cuantificación del laboratorio en las muestras P3, PC1, I1 y D3 en un rango de 4.20 a 4.35%.

Al realizarse el análisis posterior considerando la detección por debajo del límite de cuantificación se determinó concentración de materia orgánica en todas las muestras analizadas en un rango de 2.52 a 4.35%. Específicamente, en el bloque Pokoch se



tiene un valor promedio de MO de 3.93%, mientras que en el bloque Ichalkil se tiene un valor de 3.96% (ver Tabla 6.17).

Tabla 6.17 Registros de materia orgánica en sedimento marino

Muestra	Prof. (m)	MO (%)
P1-sed	49.0	3.43
P2-sed	38.0	3.88
P3-sed	44.0	4.20
PC1-sed	44.0	4.21
Dupli-sed	44.0	4.00
I1-sed	29.0	4.31
I2-sed	28.0	3.95
I4-sed	35.0	3.91
IC1-sed	30.0	3.76
IC2-sed	30.0	3.88
D3-sed	30.0	4.35
D4-sed	26.0	2.52

Fuente: ERM 2016

6.2.7.3 Propiedades químicas

En el Apéndice 6.15 se presentan los resultados analíticos de las propiedades químicas para cada muestra de sedimento marino tomada en el Área Contractual 4.

Las propiedades químicas evaluadas en el Área Contractual 4 para este estudio son las siguientes:

Potencial Reducción – Oxidación (Redox)

En el Área Contractual 4 se registraron valores de potencial redox en un rango de 121.00 a 190.30 mV. Específicamente, las muestras recolectadas en el bloque Pokoch presentan un potencial redox promedio de 164.18 mV, mientras que el promedio de las muestras recolectadas en el bloque Ichalkil presentan un promedio de 149.08 mV; es decir, que el bloque Pokoch favorece ligeramente más las reacciones de oxidación y es por lo tanto un ambiente más propicio para microorganismos aerobios estrictos, los cuales son metabólicamente activos a potenciales redox positivos, y para microorganismos anaerobios facultativos.



Carbono Orgánico Total (COT)

Suess ha reportado (1980) que el flujo de carbono orgánico disminuye conforme aumenta la profundidad en la columna de agua; sin embargo, el Área Contractual 4 tiene un comportamiento generalmente inverso.

En general, en el Área Contractual 4 se registra para este parámetro un rango de valores de 1.29 a 1.94%. Para el bloque Pokoch se registra un valor promedio de 1.81%, mientras que para el bloque Ichalkil, cuya profundidad máxima es en general menor en comparación con el primer bloque, se registra un valor promedio de COT de 1.59%.

6.3. Medio Biótico

Los componentes del medio biótico caracterizados fueron plancton (fitoplancton y zooplancton), macrobentos, fauna íctica, avifauna, mamíferos y tortugas marinas.

6.3.1 Fitoplancton

De los muestreos realizados con red estándar y botella Niskin se registró un total de 273 taxa de microalgas: 139 dinoflagelados, 128 diatomeas, 3 silicoflagelados, 2 cianofíceas y 1 criptófita.

6.3.1.1 Determinación Semicuantitativa de Fitoplancton

De los muestreos efectuados con red estándar se registraron 101 taxa de microalgas: 50 dinoflagelados, 47 diatomeas, 2 silicoflagelados y 2 cianofíceas. La determinación semicuantitativa de fitoplancton en los puntos de muestreo se presenta en la Tabla 6.18 y el informe de ensayo correspondiente se adjunta en el Anexo 5.5.

Las abundancias relativas indicaron que la especie con mayor contribución fue la cianobacteria *Trichodesmium erythraeum*, pero esto se debe básicamente a que se contaron las células individuales de cada tricoma (o filamento) conformado por varias células (desde 52 hasta 112 células por tricoma). Los tricomas se encontraron escasamente y aislados, en las estaciones D3, P1, I1 e I2. Los valores de esta especie van desde 17.07 hasta 51.46% (este último en la estación P1). No se registró esta especie en las estaciones D2, D4, D5, I3, I4, P2 y P3, donde los valores más altos correspondieron a la diatomea *Coscinodiscus wailessi*.

Algunas especies no fueron abundantes relativamente, pero fueron frecuentes en las muestras, como fue el caso de los dinoflagelados *Gonyaulax polygramma*, *Ceratium fusus* y *Gonyaulax digitale*; la diatomea *Cyclotella* sp.; y ocasionalmente el silicoflagelado *Dictyocha fibula*.



Un género bien representado por su alto número de especies fue *Ceratium*, con once especies, entre ellas algunas especies de tamaño grande como *C. tripos*, *C. massiliense*, *C. vultur*, *C. longissimum* y *C. macroceros*; otras especies muy frecuentes en varias estaciones pero de escasa cantidad fueron *Ceratium furca* y *Ceratium lineatum*.

Otras especies que fueron poco frecuentes pero que son importantes debido a su potencial tóxico o nocivo fueron los dinoflagelados tecados *Alexandrium* sp. en D3; *Gonyaulax spinifera* en D2, D3, D4 e I4; *Heterocapsa pygmaea* en I3; *Prorocentrum gracile* en las estaciones D1, D4, D5, I2-I4, P1 y P2; *Prorocentrum micans* en D3-D5, I1 y P2; *Prorocentrum minimum* en D4, D5, I3, I5, P2 y P3. Los dinoflagelados desnudos *Karenia* sp. en D5, y especies del género *Gymnodinium* en D5, P1 e I5 de manera escasa. De las especies de diatomeas pennales se identificaron a *Pseudo-nitzschia* cf. *delicatissima* en D3, D4 y P2 y *Pseudo-nitzschia* cf. *pungens* en D1, D2 e I5, las cuales son potencialmente tóxicas. La cianobacteria *Trichodesmium erythraeum* en D1, D3, I1, I2 y P1; y los silicoflagelados *Dictyocha fibula* y *Dictyocha octonaria* que se encontraron de manera frecuente, a veces numerosas en casi todas las estaciones.



Tabla 6.18 Determinación semicuantitativa (%) de fitoplancton en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4

Grupo Taxonómico	Estación de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
Diatomeas													
<i>Actinocyclus curvatus</i>		0.54						0.75				0.53	2.20
<i>Actinocyclus octonarius</i>	0.47	1.63	1.94	0.88	0.50		1.23		0.57		0.69	9.09	4.40
<i>Actinocyclus campanulifer</i>	1.40	0.27		0.88								0.53	0.55
<i>Actinocyclus senarius</i>			4.85		1.23						0.69		
<i>Bacteriastrum</i> sp. (1)								0.75					
<i>Ceratulina pelagica</i>													2.75
<i>Chaetoceros coarctatus</i>					2.24								
<i>Chaetoceros decipiens</i>							1.23						
<i>Chaetoceros</i> sp. (1)									0.57				
<i>Climacodium</i> sp. (1)				1.77							2.06		
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>			0.97	0.88	9.73		3.68						0.55
<i>Coscinodiscus granii</i>		2.71	6.80										
<i>Coscinodiscus radiatus</i>					9.48								
<i>Coscinodiscus wailesii</i>	13.95	22.22	4.85	19.47	13.47		15.95	7.52	15.34	14.53	8.25	11.76	29.67
<i>Cyclotella</i> sp. (1)		0.54	6.80	3.54	0.50	1.94	2.45		0.57	1.71	2.06	11.23	9.34
<i>Cylindrotheca closterium</i>									0.57			0.53	
<i>Gomphonema</i> sp. (1)		6.50			2.00							0.53	0.55
<i>Guinardia flaccida</i>		1.90	1.94	1.77		2.91		2.26			1.03	3.21	1.10
<i>Gyrosigma</i> sp. (1)											1.03	1.07	
<i>Haslea ostrearia</i>	0.47			0.88	0.50								
<i>Haslea waworikae</i>							1.84	0.75		0.85	0.34		
<i>Hemiaulus hauckii</i>		5.96			0.75	1.94			0.57	8.55	3.78	2.67	
<i>Hemiaulus</i> sp. (1)		2.98		4.42	2.24				1.14		2.75		3.85
<i>Leptocylindrus</i> sp. (1)								1.50					
<i>Navicula directa</i>							0.61				0.34		
<i>Navicula</i> sp. (2)					0.25	1.46							



Grupo Taxonómico	Estación de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
<i>Navicula</i> sp. (4)												0.53	
<i>Navicula</i> sp. (5)		0.27											2.75
<i>Navicula</i> sp. (6)													0.55
<i>Neocalyptrella robusta</i>			0.97	2.65	0.75	0.97		4.51	1.14	0.85	0.69	1.07	1.10
<i>Odontella mobiliensis</i>							0.61						
<i>Paralia sulcata</i>	1.86	0.81				3.88					0.69	1.60	
<i>Pinnularia cruciformis</i>												1.60	
<i>Pleurosigma cuspidatum</i>			2.91						0.57			0.53	3.30
<i>Pleurosigma diversestriatum</i>													0.55
<i>Psammodictyon panduriforme</i>										0.85			
<i>Pseudo-nitzschia</i> cf. <i>delicatissima</i>							2.45				0.69	2.67	
<i>Pseudo-nitzschia</i> cf. <i>pungens</i>					1.00				3.98	3.42			
<i>Pseudosolenia calcar avis</i>		0.27		1.77			2.45	2.26	1.70	0.85	0.69	2.14	0.55
<i>Rhizosolenia hebetata</i>					0.25								
<i>Rhopalodia</i> sp. (1)													0.55
<i>Stauropsis membranacea</i>							1.23						
<i>Thalassionema nitzschioides</i>								3.01		1.71		1.60	
<i>Thalassiosira eccentrica</i>		1.90	3.88	7.08	0.25			6.02			1.03	2.14	4.40
<i>Thalassiosira oestrupii</i>				3.54			3.68				4.47		4.40
<i>Thalassiosira simonsenii</i>		5.42	4.85	3.54	1.75	3.88	5.52	6.77			0.69		
<i>Thalassiosira</i> sp. (1)											0.34		2.20
Dinoflagelados													
<i>Alexandrium</i> sp. (1)											5.15		
<i>Blepharocysta splendor-maris</i>	3.72	2.44	4.85	1.77	0.25	1.94	4.29	5.26	0.57	11.11	2.41	1.07	
<i>Ceratium euaucuatum</i>				0.88								0.53	
<i>Ceratium extensum</i>									1.14				
<i>Ceratium furca</i>	2.79	0.54		0.88	0.50		5.52		2.27	0.85		1.60	2.20
<i>Ceratium fusus</i>	4.19	7.59		0.88	4.99	1.94	11.04		3.98	3.42	0.34	5.35	0.55
<i>Ceratium kofoidii</i>								1.50	0.57	0.85		0.53	0.55



Grupo Taxonómico	Estación de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch					Ductos		
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
<i>Ceratium lineatum</i>	3.26	1.36		1.77	0.75	0.49		2.26	1.14	2.56	1.03	1.07	0.55
<i>Ceratium longissimum</i>					0.25								
<i>Ceratium macroceros</i>					0.25				0.57		0.69	1.07	
<i>Ceratium massiliense</i>			0.97										0.55
<i>Ceratium tripos</i>		0.54											
<i>Ceratium vultur var. japonicum</i>	0.47												
<i>Dinophysis acuminata</i>			0.97			1.46							0.55
<i>Dinophysis argus</i>							0.61						
<i>Dinophysis caudata</i>			0.97					0.75			0.34		0.55
<i>Dinophysis rapa</i>	0.47		0.97	1.77				2.26					0.55
<i>Dinophysis sp. (1)</i>									1.14	0.85			
<i>Gonyaulax digitalis</i>	3.26		2.91	0.88	1.25	1.46			1.14	0.85	3.44	3.21	0.55
<i>Gonyaulax fragilis</i>							0.61				0.34		
<i>Gonyaulax polygramma</i>	13.49	6.23	15.53	5.31	2.74		9.20	6.02	1.70	3.42	3.09	5.35	4.95
<i>Gonyaulax spinifera</i>				0.88						1.71	4.47	1.07	
<i>Gonyaulax sp. (1)</i>	3.26					0.97	0.61	1.50	0.57	0.85	1.03		
<i>Gymnodinium sp. (1)</i>						0.97							1.10
<i>Gymnodinium sp. (2)</i>						0.49							
<i>Gymnodinium sp. (4)</i>					0.25								
<i>Heterocapsa pygmaea</i>			0.97				1.23						
<i>Heterocapsa sp. (1)</i>								2.26	0.57				
<i>Heterocapsa sp. (2)</i>									1.14			0.53	
<i>Karenia sp. (1)</i>													0.55
<i>Podolampas palmipes</i>	1.86		0.97	0.88	0.50	1.46		2.26	1.14		0.69	1.60	
<i>Prorocentrum compressum</i>	1.86			2.65	0.25			1.50					
<i>Prorocentrum gracile</i>	1.86	0.54	2.91	3.54		1.46	3.07		0.57			4.28	2.75
<i>Prorocentrum micans</i>	1.40						1.23				0.69	3.21	0.55
<i>Prorocentrum minimum</i>			0.97		0.25		0.61	3.01				2.14	2.20
<i>Protoperidinium cf. brochii</i>												1.07	



Grupo Taxonómico	Estación de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
<i>Protoperidinium cassum</i>			0.97						0.57	0.85	0.69	1.07	
<i>Protoperidinium claudicans</i>		0.54						2.26					1.65
<i>Protoperidinium compressum</i>		0.27						1.50	0.57			0.53	
<i>Protoperidinium cf. crassipes</i>													1.10
<i>Protoperidinium divergens</i>	2.33	0.54	0.97		0.25	1.46		3.01					
<i>Protoperidinium minutum</i>	3.26	0.27	8.74	2.65		3.88		1.50					1.10
<i>Protoperidinium murrayi</i>		0.54					0.61					0.53	
<i>Protoperidinium oceanicum</i>											0.69		0.55
<i>Protoperidinium oviforme</i>	0.93	1.08	2.91	4.42			4.29						
<i>Protoperidinium cf. ovum</i>	2.33	0.27	0.97	0.88	0.25		0.61	3.01	0.57		1.03	2.67	
<i>Protoperidinium pyriforme</i>			0.97	0.88	0.25				0.57		0.69		
<i>Protoperidinium subcrassipes</i>		0.27			0.25			1.50	0.57			1.07	
<i>Pyrophacus horologium</i>												0.53	
<i>Pyrophacus steinii</i>	0.47												
Silicoflagelados													
<i>Dityocha fibula</i>	5.58	5.15	3.88	5.31	1.75	11.65	9.82	19.55	5.68	4.27	0.69	2.67	1.10
<i>Dityocha octonaria</i>	0.93	0.81	6.80	10.62	0.50	1.94	3.68	3.01		1.71	1.72	2.14	0.55
Cianofíceas													
<i>Nodularia harveyana</i>					37.66				22.16	33.33			
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	24.19	17.07				51.46			24.43		38.49		

Fuente: Informe ICMyL de la UNAM, 2016



6.3.1.2

Determinación Cuantitativa de Fitoplancton

Estrato Superficial

La determinación cuantitativa de fitoplancton en el estrato superficial se presenta en la Tabla 6.19. Se registraron 119 taxa de microalgas: 73 dinoflagelados, 41 diatomeas, 3 silicoflagelados, 1 cianofícea y 1 criptófito. La composición específica se caracterizó por la dominancia de los dinoflagelados con el 38.9% del total, seguida de las diatomeas y la cianofícea *Nodularia harveyana* con 21.8 y 19.4% respectivamente.

El número de especies de microalgas varió entre 14 (I3) y 25 (I5), mientras que los niveles más altos de abundancia fueron registrados en el punto de muestreo I1 con 61 669 cel/L y los más bajos en D3 con 22 462 cel/L, tal como se observa en la Figura 6.44.

La concentración celular de diatomeas varió entre 1 225 y 35 531 cel/L, siendo *Climacodium frauenfeldianum*, *Cylindrotheca closterium*, *Guinardia flaccida*, *Pseudonitzschia* aff. *pungens* y *Thalassionema nitzschioides* las especies más representativas. La mayor presencia de este grupo de microalgas se reportó en las estaciones D4 y D5 (ver Figura 6.45).

Por otro lado, los niveles de abundancia de los dinoflagelados fueron mayores, alcanzando un valor máximo de 21 646 cel/L en el punto de muestreo P1, siendo *Amphidinium* cf. *globosum*, *Gymnodinium* cf. *octo*, *Gymnodinium* cf. *simplex*, *Gymnodinium* spp., *Gyrodinium* cf. *fusiforme*, *Heterocapsa* aff. *horiguchii*, *Heterocapsa* cf. *psammophila*, *Karlodinium* cf. *ballantinum*, *Katodinium glaucum* y *Scrippsiella trochoidea* las microalgas más conspicuas en este grupo. A diferencia de las diatomeas, las concentraciones más altas del grupo se registraron en las estaciones del campo Pokoch (P1 y P2), tal como se observa en la Figura 6.46.

Al igual que la cianofícea *Nodularia harveyana*, la criptófito *Teleaulax* sp. presentó niveles importantes de abundancia, representando el 18.2% del fitoplancton total; mientras que el reporte de los silicoflagelados *Dictyocha fibula*, *Dictyocha octonaria* y *Ebria tripartita* fue más bien esporádico y en bajas concentraciones celulares .



Tabla 6.19 Determinación cuantitativa (N° Cel /L) del fitoplancton superficial en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4

Grupo Taxonómico	Estaciones de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
Diatomeas													
<i>Actinocyclus</i> sp. (1)	408							408					
<i>Amphora acutiuscula</i>	408												
<i>Amphora</i> cf. <i>ostraria</i>													408
<i>Asteromphalus cleveanus</i>						408							
<i>Bacteriastrum</i> cf. <i>elongatum</i>	817												
<i>Bacteriastrum</i> cf. <i>furcatum</i>	408												3676
<i>Chaetoceros decipiens</i>				1225						1225			
<i>Chaetoceros</i> aff. <i>densus</i>								1634					
<i>Chaetoceros diversus</i>		1225									1634		
<i>Chaetoceros</i> cf. <i>peruvianus</i>							408						
<i>Climacodium frauenfeldianum</i>					2450				3267				
<i>Coscinodiscus</i> aff. <i>wailesii</i>			408										
<i>Coscinodiscus</i> sp. (1)		408											408
<i>Cylindrotheca closterium</i>	2859	408		1225	817			1634	408	2042	408	2450	408
<i>Diploneis</i> cf. <i>bombus</i>											408	817	
<i>Diploneis</i> cf. <i>weissflogii</i>			408						408				
<i>Diploneis</i> sp. (1)													1225
<i>Guinardia flaccida</i>		1634						1634		817	408	817	
<i>Haslea wawriake</i>	408	408			408						408	817	408
<i>Hemiaulus hauckii</i>								408					
<i>Hemiaulus membranaceus</i>												1634	
<i>Hemiaulus sinensis</i>						408							408
<i>Leptocylindrus danicus</i>		2042											2042
<i>Minidiscus</i> sp. (1)											817	817	
<i>Navicula</i> cf. <i>pelliculosa</i>	817										408		
<i>Neocalyptrella robusta</i>	408		408		408			408		408	408	408	



Grupo Taxonómico	Estaciones de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
<i>Odontella mobiliensis</i>												408	
<i>Oestrupia</i> aff. <i>musca</i>													408
<i>Paralia sulcata</i>													408
<i>Placoneis gastrum</i>											408		
<i>Plagiotropis lepidoptera</i>													817
<i>Pleurosigma acutum</i>		408											
<i>Psammodyctyon</i> cf. <i>panduriforme</i>				408		408	408	408					
<i>Pseudo-nitzschia</i> aff. <i>delicatissima</i>													4084
<i>Pseudo-nitzschia</i> aff. <i>multistriata</i>				817									
<i>Pseudo-nitzschia</i> aff. <i>pseudodelicatissima</i>												2042	
<i>Pseudo-nitzschia</i> aff. <i>pungens</i>							1634			1634			4901
<i>Thalassionema nitzchioides</i>													12661
<i>Thalassiosira</i> sp. (2)											1225		
<i>Thalassiosira</i> sp. (3)											408		
<i>Trachyneis</i> cf. <i>aspera</i>											408	408	3267
Total Diatomeas	6535	6535	1225	3676	4084	1225	2450	6535	4084	6126	7351	10619	35531
Dinoflagelados													
<i>Amphidinium</i> cf. <i>flagellans</i>	408				408	817							
<i>Amphidinium</i> cf. <i>globosum</i>			3676		817		1225					817	
<i>Amphidinium herdmanii</i>												408	
<i>Amphidinium</i> aff. <i>steinii</i>						408							
<i>Amphidinium</i> sp. (1)							408						
<i>Blepharocystis splendor-maris</i>										817			
<i>Ceratium furca</i>								408		408		408	
<i>Ceratium fusus</i>				408		408					408		
<i>Ceratium lineatum</i>		408		408	408						408		
<i>Ceratium macroceros</i>									408				
<i>Ceratoperidinium falcatum</i>					408								
<i>Gonyaulax digitale</i>											817		



Grupo Taxonómico	Estaciones de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
<i>Gonyaulax cf. spinifera</i>		408											
<i>Gymnodinium cf. areuginosum</i>					1225								
<i>Gymnodinium aff. aureolum</i>							1225						
<i>Gymnodinium aff. cinctum</i>		817				1634							
<i>Gymnodinium aff. coeruleum</i>			817									408	
<i>Gymnodinium aff. dentatum</i>					408					408			
<i>Gymnodinium aff. helveticum</i>									408				
<i>Gymnodinium aff. latum</i>							408		817				
<i>Gymnodinium aff. microreticulatum</i>							408						
<i>Gymnodinium aff. minutulum</i>				408		408	817						
<i>Gymnodinium cf. octo</i>		408	1225	817				408				2859	
<i>Gymnodinium cf. parvum</i>											408		
<i>Gymnodinium cf. simplex</i>		1225	3676									817	
<i>Gymnodinium sp. (1)</i>									3267				
<i>Gymnodinium sp. (2)</i>		1225			408								
<i>Gymnodinium sp. (3)</i>											3267		
<i>Gymnodinium sp. (5)</i>												817	
<i>Gymnodinium sp. (6)</i>												2042	
<i>Gymnodinium sp. (9)</i>													817
<i>Gymnodinium sp. (10)</i>										817			
<i>Gymnodinium sp. (11)</i>										817			
<i>Gymnodinium sp. (12)</i>	2450	3267		5718	3267	2450	1225	2042					
<i>Gymnodinium sp. (13)</i>	408												
<i>Gymnodinium sp. (14)</i>		408											
<i>Gymnodinium sp. (17)</i>			6535										
<i>Gymnodinium sp. (18)</i>				1225									
<i>Gymnodinium sp. (19)</i>				1634	817	817	3676	3676					
<i>Gymnodinium sp. (20)</i>						4492							
<i>Gymnodinium sp. (22)</i>							2859	4901					



Grupo Taxonómico	Estaciones de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
<i>Gymnodinium</i> sp. (24)								408					
<i>Gyrodinium</i> cf. <i>citrinum</i>									408				
<i>Gyrodinium</i> cf. <i>fusiforme</i>			408	408	2859		408	817			408		
<i>Gyrodinium</i> cf. <i>leptogrammum</i>						408			408				
<i>Gyrodinium</i> sp. (1)												408	
<i>Heterocapsa</i> aff. <i>horiguchii</i>								1225	3267				
<i>Heterocapsa</i> cf. <i>psammophila</i>	408	817	817		817	2450	1225	1225		3267			
<i>Heterocapsa</i> cf. <i>rotundata</i>							408						
<i>Karenia</i> <i>brevis</i>					408								
<i>Karenia</i> cf. <i>digitata</i>		408				1225							
<i>Karenia</i> cf. <i>mikimotoi</i>				817	408	408	408					817	
<i>Karenia</i> cf. <i>papilionacea</i>						817							
<i>Karenia</i> cf. <i>selliformis</i>						408	817		408				
<i>Karenia</i> sp. (1)					408			408					
<i>Karlodinium</i> cf. <i>ballantinum</i>			2450	3676		817	408	1225	1634				408
<i>Karlodinium</i> aff. <i>decepiens</i>							1225						
<i>Karlodinium</i> cf. <i>micrum</i>				408									
<i>Karlodinium</i> sp. (1)													1225
<i>Katodinium</i> <i>glaucum</i>		1225		817		1634	817			408			
<i>Mesoporos</i> cf. <i>perforatus</i>													408
<i>Podolampas</i> <i>palmipes</i>					408		408		408				
<i>Prorocentrum</i> cf. <i>dentatum</i>					408								
<i>Prorocentrum</i> cf. <i>micans</i>			408					408	408		408		
<i>Prorocentrum</i> <i>triestinum</i>					408								
<i>Protoberidinium</i> <i>bipes</i>		408											
<i>Protoberidinium</i> cf. <i>pellucidum</i>													408
<i>Protoberidinium</i> aff. <i>pentagonum</i>													408
<i>Protoberidinium</i> cf. <i>subsphaericum</i>						408							
<i>Protoberidinium</i> cf. <i>venustum</i>											408		

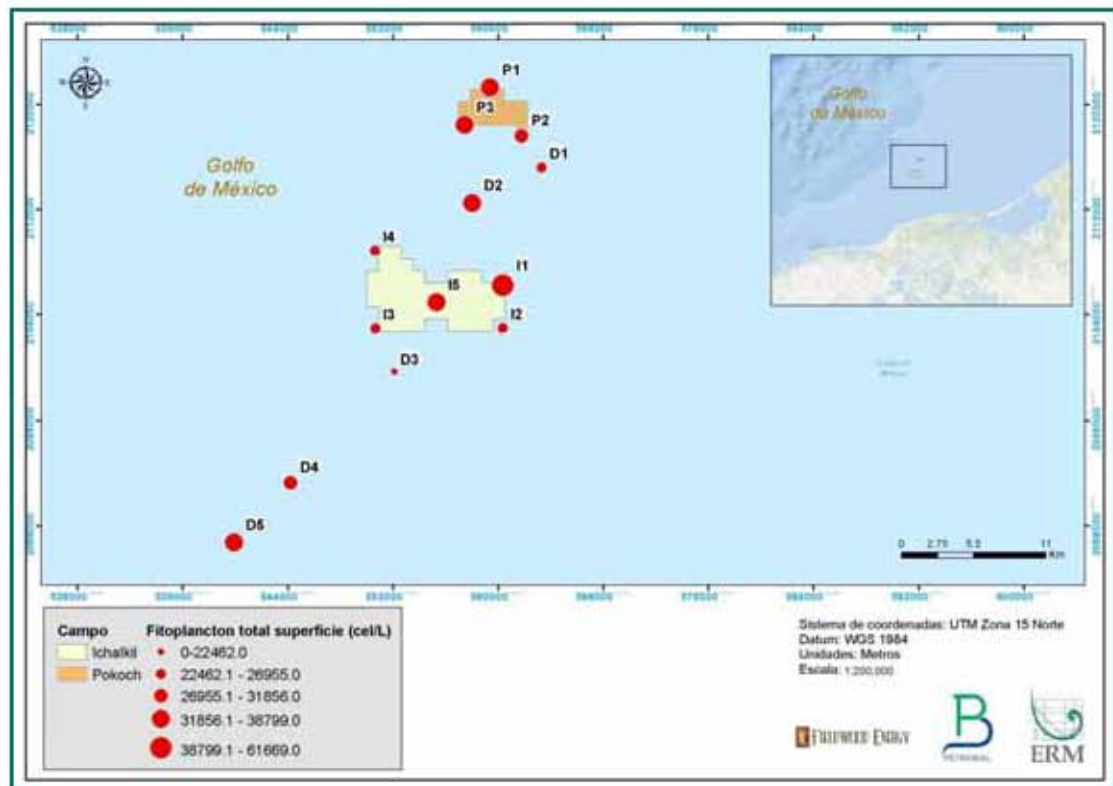


Grupo Taxonómico	Estaciones de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
<i>Pyrophacus horologium</i>							408						
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	408			408	408	1634	2859	1634	1225	2042			
<i>Torodinium robustum</i>	408												
Total Dinoflagelados	4492	11027	20012	17153	14703	21646	21646	18787	13069	8985	6535	11027	2450
Silicoflagelados													
<i>Dityocha fibula</i>		408	408	408	1634			2042	817	1225			
<i>Dityocha octonaria</i>											408		
<i>Ebria tripartita</i>													408
Total Silicoflagelados		408	408	408	1634			2042	817	1225	408		408
Criptófitas													
<i>Teauxulax sp. (1)</i>	3267	8985	5309	5309	6126	4492	5718	7760	8168	6126	8168	10210	408
Total Criptófitas	3267	8985	5309	5309	6126	4492	5718	7760	8168	6126	8168	10210	408
Cianofíceas													
<i>Nodularia harveyana</i>	47375				11844	11435				14703			
Total Cianofíceas	47375				11844	11435				14703			
Otros													
Células esféricas pequeñas < 5 µm	225849	90258	62486	235651	164996	92708	45742	145393	193177	290377	173573	46150	
Total Fitoplancton	61669	26955	26955	26546	38390	38799	29814	35123	26138	37165	22462	31856	38799

Fuente: Informe ICMYL de la UNAM, 2016

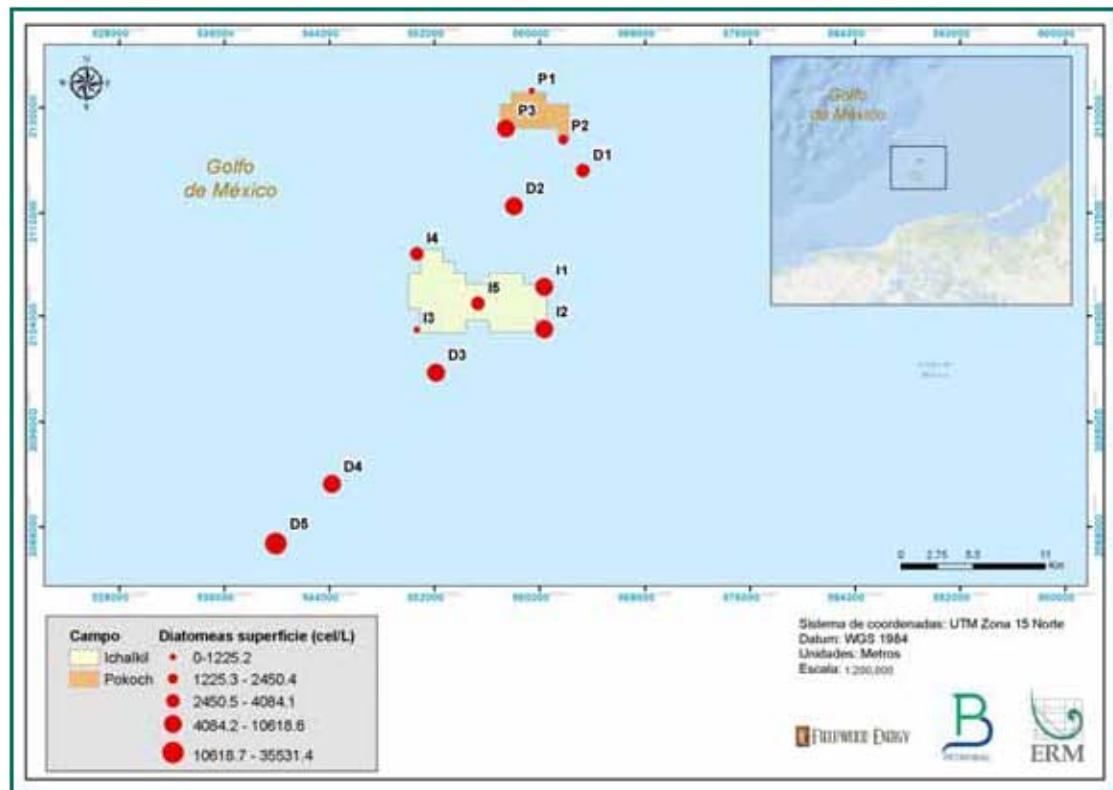


Por otra parte, los valores de diversidad según el índice de Shannon (H') oscilaron entre 2.628 bit/cel en I3 y 3.209 bit/cel en I5. Los niveles más bajos de diversidad tuvieron relación con la dominancia absoluta de la cianofíceea *Nodularia harveyana*; mientras que los valores más elevados estuvieron asociados con una distribución más equitativa entre las abundancias de la criptófita *Teleaulax* sp., la diatomea *Pseudo-nitzschia* aff. *pungens*, y los dinoflagelados *Amphidinium* cf. *globosum*, *Gymnodinium* aff. *aureolum*, *Gymnodinium* spp., *Heterocapsa* cf. *psammophila*, *Karlodinium* aff. *decipiens* y *Scrippsiella trochoidea*. Los índices de estructura comunitaria del fitoplancton superficial se presentan en la Tabla 6.21.



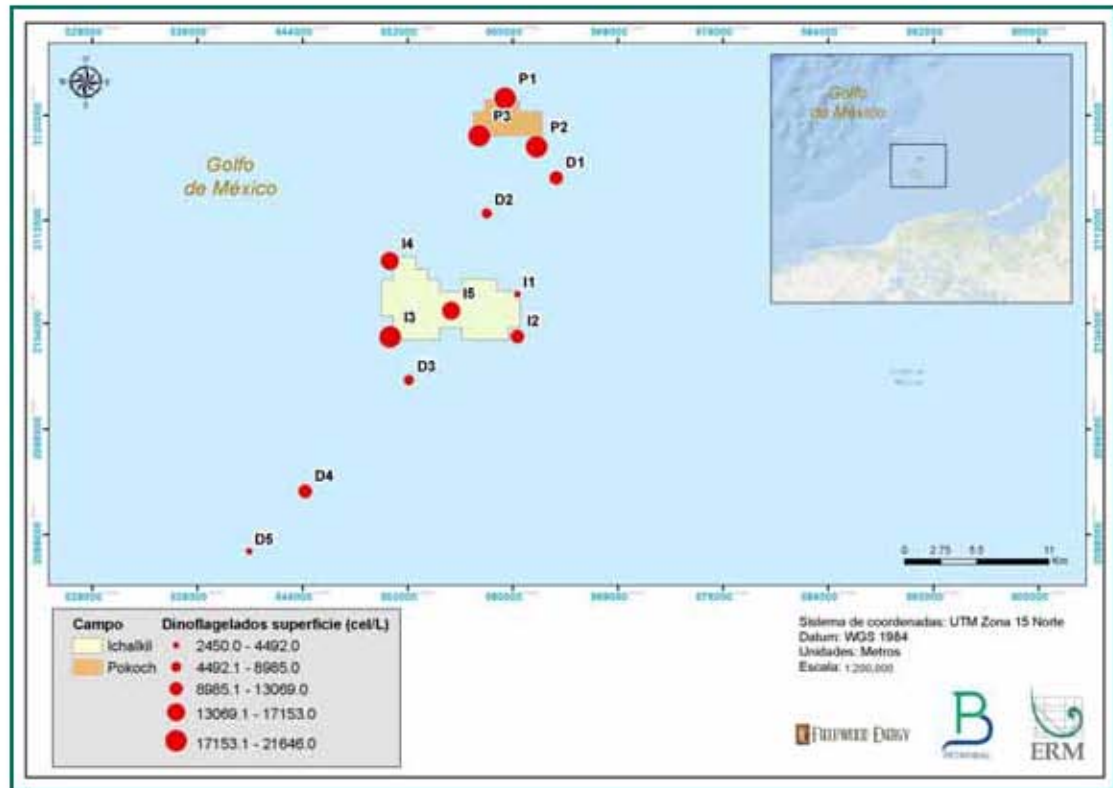
Fuente: ERM, 2016

Figura 6.44 Variación espacial de la abundancia del fitoplancton superficial entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4



Fuente: ERM, 2016

Figura 6.45 Variación espacial de la abundancia de diatomeas – estrato superficial entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4



Fuente: ERM, 2016

Figura 6.46 Variación espacial de la abundancia de dinoflagelados – estrato superficial entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4

Estrato de Fondo

La determinación cuantitativa de fitoplancton en el estrato de fondo se presenta en la Tabla 6.20. En comparación al fitoplancton superficial se reportaron mayor riqueza de especies y niveles de abundancia más altos, registrándose 151 taxa de microalgas: 83 diatomeas, 63 dinoflagelados, 2 sílicoflagelados, 2 cianofíceas y 1 criptófita.

El número de especies de microalgas varió entre 22 y 37, siendo evidente una mayor presencia de diatomeas en detrimento de los dinoflagelados. Las concentraciones celulares del fitoplancton de fondo variaron entre 34 306 cel/L en I4 y 98 835 cel/L en P3, tal como se observa en la Figura 6.47.

En el grupo de diatomeas las especies de mayor abundancia fueron *Coscinodiscus* aff. *walesii*, *Cylindrotheca closterium*, *Diploneis* cf. *bombus*, *Diploneis* cf. *incurvata*, *Navicula* cf. *platyventris*, *Navicula* cf. *pelliculosa*, *Pleurosigma* cf. *naviculaceum*, *Psammodictyon* cf. *panduriforme*, *Pseudo-nitzschia* aff. *delicatissima*, *Pseudo-nitzschia* aff. *pseudodelicatissima* y *Pseudo-nitzschia* aff. *pungens*; mientras que entre los dinoflagelados se consideraron como taxa más representativas a *Amphidinium* cf. *globosum*, *Gonyaulax digitale*,



Gyrodinium cf. atractos, *Gyrodinium cf. fusiforme*, *Heterocapsa cf. psammophila*, *Karenia sp.*, *Karlodinium cf. ballantinum*, *Mesoporos cf. perforatus* y *Scrippsiella trochoidea*.

Los niveles de abundancia más altos de diatomeas correspondieron a las estaciones I1 e I2 en el campo Ichalkil, mientras que los dinoflagelados registraron mayores concentraciones en P3 y D4 (ver Figura 6.48 y Figura 6.49).

A diferencia del fitoplancton superficial, la cianoficea *Nodularia harveyana* tuvo una mayor presencia en el estrato de fondo, representando junto con *Trichodesmium aff. erythraeum* el 32.8% del fitoplancton total registrado; mientras que la criptófita *Teleaulax sp.* alcanzó el 5.7%.



Tabla 6.20 Determinación cuantitativa (N° Cel /L) del fitoplancton de fondo en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4

Grupo Taxonómico	Estaciones de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
Diatomeas													
<i>Achnanthes cf. brevipes</i>					408								
<i>Actinocyclus curvatulus</i>							408						
<i>Actinocyclus sp. (1)</i>						408		1225		817			
<i>Actinopterychus cf. senarius</i>						408							
<i>Amphora acutiuscula</i>						408						408	
<i>Amphora cf. decussata</i>							408						
<i>Amphora sp. (1)</i>	408								817				
<i>Bacillaria paxillifera</i>		5718											
<i>Chaetoceros cf. aequatorialis</i>		408											
<i>Chaetoceros aff. lorenzianus</i>											2450		
<i>Chaetoceros cf. peruvianus</i>								817					
<i>Coscinodiscus aff. concinnus</i>	408		408				408						817
<i>Coscinodiscus grantii</i>		408					408				408		
<i>Coscinodiscus aff. wailesii</i>	3676	1225	408	408	408	408	408	408	817	817	817	817	408
<i>Coscinodiscus sp. (1)</i>					817						817		
<i>Coscinodiscus sp. (2)</i>												408	
<i>Cyclotella sp. (1)</i>				408			408						
<i>Cylindrotheca closterium</i>	4901	1634	3676	5309	1634	5718	4084	3267	4492	3267	2042	2450	1634
<i>Diploneis cf. bombus</i>	3267	1225		1225		817		1225		817	1225	1225	
<i>Diploneis cf. crabro</i>			408				408						408
<i>Diploneis cf. incurvata</i>		4492	2859		408		817		1225				
<i>Diploneis sp. (1)</i>													2450
<i>Guinardia flaccida</i>	2042	408	408		408	1634	408		408	408	1225		
<i>Gyrosigma attenuatum</i>												408	
<i>Gyrosigma cf. balticum</i>								408					
<i>Haslea gigantea</i>	408	408		408	408				408				



Grupo Taxonómico	Estaciones de Muestreo													
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos					
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5	
<i>Haslea wawríkæ</i>						408					408		408	
<i>Haslea</i> sp. (1)											408			
<i>Hemiaulus hauckii</i>							817							
<i>Hemiaulus membranaceus</i>										1225				
<i>Hemiaulus sinensis</i>												2042		
<i>Navicula</i> cf. <i>abunda</i>				1225										
<i>Navicula</i> cf. <i>arenaria</i>	408									817				
<i>Navicula</i> cf. <i>cryptocephala</i>						2042	408							
<i>Navicula</i> cf. <i>directa</i>						408					408			
<i>Navicula</i> aff. <i>pavillardii</i>		817												
<i>Navicula</i> cf. <i>platyventris</i>	7760	4492								3267				
<i>Navicula</i> cf. <i>pelliculosa</i>	4901	2859	408	2859		1225	2859	1634	3676	817	4901			
<i>Navicula</i> sp. (1)									817	408				
<i>Navicula</i> sp. (2)	1225								817	817				
<i>Navicula</i> sp. (3)	408	2042												
<i>Navicula</i> sp. (4)				408										
<i>Neoahtyrella robusta</i>	408				408	408			408		408	408		
<i>Nitzschia</i> cf. <i>longissima</i>		817	408	408		408			1225	4084		817		
<i>Nitzschia</i> cf. <i>sigma</i>									408					
<i>Nitzschia</i> sp. (1)	408				817		817							
<i>Odontella mobiliensis</i>							408							
<i>Oestrupia</i> aff. <i>musca</i>													1225	
<i>Pinnularia</i> cf. <i>trevelyana</i>												817		
<i>Pinnularia</i> sp. (1)	408	817		408										
<i>Placoneis gastrum</i>											408	3676		
<i>Plagiotropis lepidoptera</i>													817	
<i>Pleurosigma</i> cf. <i>angulatum</i>			817										817	
<i>Pleurosigma</i> cf. <i>cuspidatum</i>												1225		
<i>Pleurosigma</i> cf. <i>diversestriatum</i>	1225	1634		408		408	408	408		1225	408			



Grupo Taxonómico	Estaciones de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
<i>Pleurosigma</i> cf. <i>naviculaceum</i>	408	2042	408	817		817	1634	2450	408	3267	408		
<i>Pleurosigma</i> aff. <i>normanii</i>	408	408	408						408		408		
<i>Pleurosigma</i> aff. <i>marinum</i>										408			
<i>Proboscia</i> <i>alata</i>						408							
<i>Psammodictyon</i> cf. <i>panduriforme</i>	1225	3267	1225	4084		408	2042	1225	3267	817			
<i>Pseudoguinardia</i> <i>recta</i>										1225			
<i>Pseudo-nitzschia</i> aff. <i>delicatissima</i>					817	1634	2859		4084				
<i>Pseudo-nitzschia</i> aff. <i>multistriata</i>							817	817					
<i>Pseudo-nitzschia</i> aff. <i>pseudodelicatissima</i>		2042	4492	4084		9802	6535	13069	2859				1225
<i>Pseudo-nitzschia</i> aff. <i>pungens</i>	2450	5718		1634	3676	3267	2042		1634	3267	5309	2042	
<i>Pseudosolenia</i> <i>calcar avis</i>													408
<i>Rhizosolenia</i> <i>formosa</i>							408						
<i>Rhizosolenia</i> cf. <i>setigera</i>						1634							
<i>Skeletonema</i> <i>costatum</i>			6126										
<i>Surirella</i> cf. <i>fastuosa</i>	408	1225											
<i>Synedra</i> cf. <i>ulna</i>	408												
<i>Thalassionema</i> <i>bacillare</i>				408									
<i>Thalassionema</i> <i>nitzchioides</i>												817	
<i>Thalassiosira</i> cf. <i>eccentrica</i>		817		1225									
<i>Thalassiosira</i> cf. <i>minima</i>	817												
<i>Thalassiosira</i> sp. (1)									408			3267	
<i>Thalassiosira</i> sp. (4)											817		
<i>Thalassiosira</i> sp. (5)											408		
<i>Thalassiosira</i> sp. (6)		408											4901
<i>Thalassiosira</i> sp. (7)							817						
<i>Thalassiosira</i> sp. (8)								408					
<i>Trachyneis</i> cf. <i>aspera</i>									2042		817	1225	
<i>Tropidoneis</i> cf. <i>antarctica</i>		1634								1225			
Total Diatomeas	38390	46967	22462	25730	10210	33898	30222	27363	30631	28997	24504	22054	15519



Grupo Taxonómico	Estaciones de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
Dinoflagelados													
<i>Alexandrium</i> sp. (1)										408			
<i>Amphidinium</i> cf. <i>crassum</i>													817
<i>Amphidinium</i> cf. <i>flagellans</i>		817			408							1225	
<i>Amphidinium</i> cf. <i>globosum</i>			408	2042	408		817						
<i>Ceratium</i> <i>fuscus</i>	408									408			
<i>Ceratium</i> <i>lineatum</i>	408				817								
<i>Gonyaulax</i> <i>digitale</i>											2042	1225	
<i>Gonyaulax</i> <i>jolliffei</i>												408	
<i>Gonyaulax</i> cf. <i>spinifera</i>											817	817	408
<i>Gonyaulax</i> sp. (1)							408						
<i>Gymnodinium</i> aff. <i>agaricoides</i>													408
<i>Gymnodinium</i> cf. <i>areuginosum</i>				817	408								
<i>Gymnodinium</i> aff. <i>aureolum</i>						408	817						
<i>Gymnodinium</i> aff. <i>flavum</i>						408							
<i>Gymnodinium</i> aff. <i>helveticum</i>							408						
<i>Gymnodinium</i> aff. <i>minutulium</i>									408				
<i>Gymnodinium</i> cf. <i>octo</i>		817			408			1634					
<i>Gymnodinium</i> cf. <i>prolatum</i>											408		
<i>Gymnodinium</i> aff. <i>pumilum</i>					1225								
<i>Gymnodinium</i> cf. <i>trapeziforme</i>			817										
<i>Gymnodinium</i> sp. (2)		408							408				
<i>Gymnodinium</i> sp. (4)											408		
<i>Gymnodinium</i> sp. (7)												2042	
<i>Gymnodinium</i> sp. (8)												817	
<i>Gymnodinium</i> sp. (13)	408												
<i>Gymnodinium</i> sp. (15)		1634											
<i>Gymnodinium</i> sp. (16)		817	408										
<i>Gymnodinium</i> sp. (19)				1225	1225								

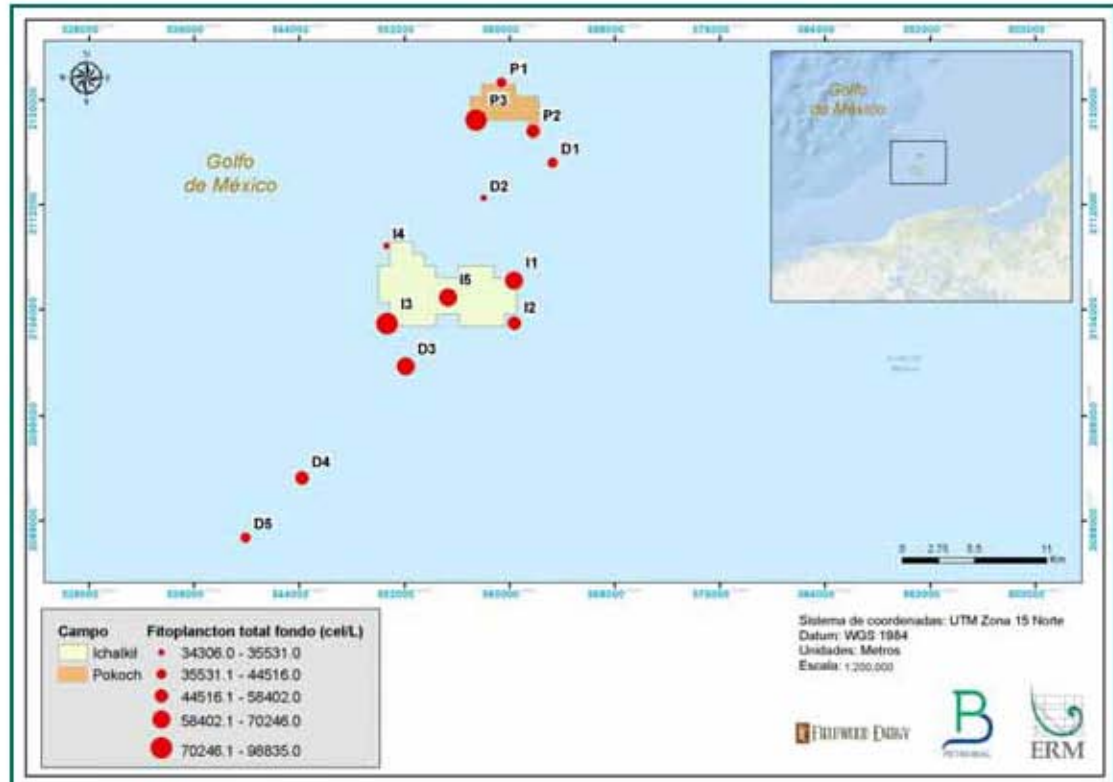


Grupo Taxonómico	Estaciones de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
<i>Gymnodinium</i> sp. (21)						1225		1634					
<i>Gymnodinium</i> sp. (22)						408							
<i>Gymnodinium</i> sp. (23)							408						
<i>Gymnodinium</i> sp. (25)								2042					
<i>Gyrodinium</i> cf. <i>atractos</i>									3676				
<i>Gyrodinium</i> cf. <i>citrinum</i>						817							
<i>Gyrodinium</i> cf. <i>flavum</i>		408											
<i>Gyrodinium</i> cf. <i>fusiforme</i>	408					408	817	1225		408		408	
<i>Gyrodinium</i> cf. <i>spirale</i>		408		817						408			
<i>Gyrodinium</i> cf. <i>zeta</i>										408			
<i>Heterocapsa</i> cf. <i>circularisquama</i>									408		408		
<i>Heterocapsa</i> aff. <i>horiguchii</i>									1225				
<i>Heterocapsa</i> cf. <i>minima</i>													2042
<i>Heterocapsa</i> cf. <i>psammophila</i>			817			817	2042	817	2450	817	408	2859	
<i>Karenia</i> <i>brevis</i>					408								
<i>Karenia</i> aff. <i>brevisulcata</i>					408								
<i>Karenia</i> cf. <i>digitata</i>											408		
<i>Karenia</i> cf. <i>mkimotoi</i>						408							
<i>Karenia</i> cf. <i>selliiformis</i>			408					408					
<i>Karenia</i> sp. (1)		1225							408	408	1225	1225	
<i>Karlodinium</i> cf. <i>ballantinum</i>				408	1634		408	817	408		817		
<i>Katodinium</i> <i>glaucum</i>		408		408			408						
<i>Mesoporos</i> cf. <i>perforatus</i>		408									408	2042	2042
<i>Podolampas</i> <i>palmipes</i>						408							
<i>Prorocentrum</i> cf. <i>gracile</i>					408								408
<i>Prorocentrum</i> cf. <i>lima</i>					408								
<i>Prorocentrum</i> cf. <i>micans</i>							408	408	408			408	
<i>Prorocentrum</i> <i>triestinum</i>	408												
<i>Protooperidinium</i> cf. <i>hirobis</i>												408	



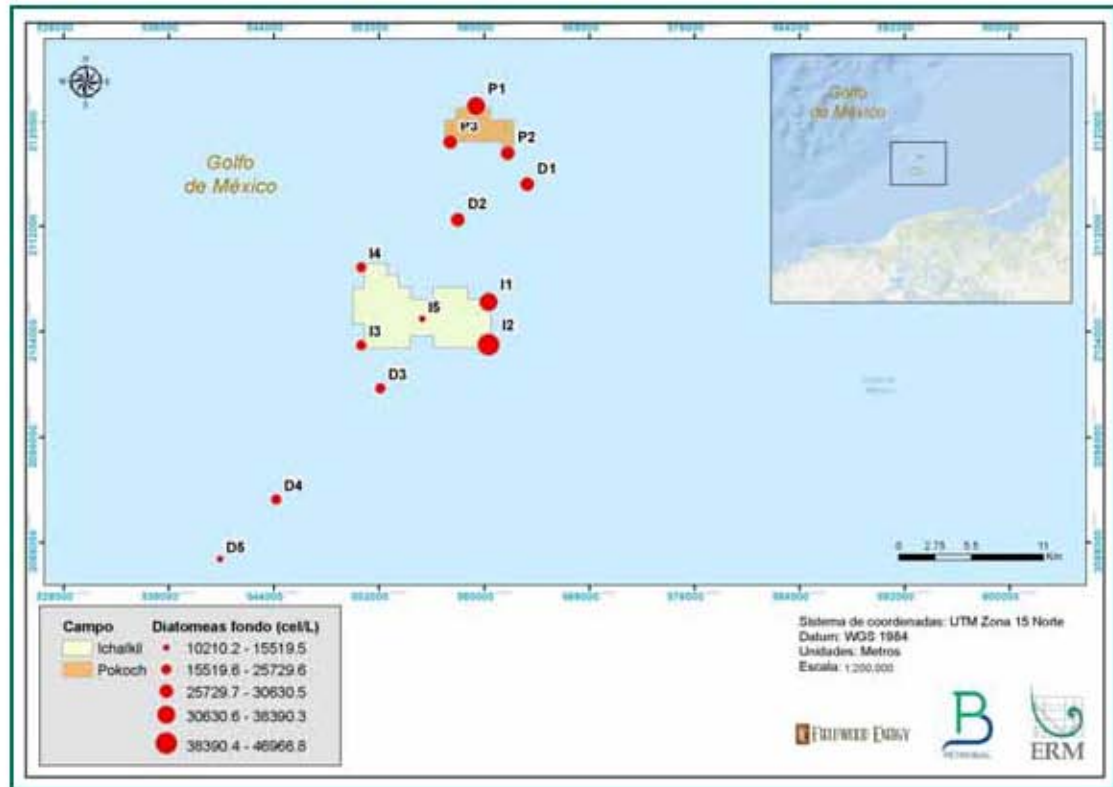
Grupo Taxonómico	Estaciones de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
<i>Protoberidinium cf. pyriforme</i>				408									
<i>Protoberidinium steinii</i>											1225		
<i>Protoberidinium cf. subsphaericum</i>												408	
<i>Scrippsiella trochoidea</i>				817	408	408		817		408		1225	408
<i>Torodinium robustum</i>								817					
<i>Torodinium cf. teredo</i>											408		
Total Dinoflagelados	2042	7351	2859	6943	8577	5718	6943	10619	9802	3676	8985	15519	6535
Silicoflagelados													
<i>Dityocha fibula</i>	408	408	817		408	817	408	817				1225	1634
<i>Dityocha octonaria</i>									408				
Total Silicoflagelados	408	408	817		408	817	408	817	408			1225	1634
Criptófitas													
<i>Tepezulax sp. (1)</i>	1634	3676	2450	1634	6535	817	3267	1225	3676	2859	5718	4901	4492
Total Criptófitas	1634	3676	2450	1634	6535	817	3267	1225	3676	2859	5718	4901	4492
Cianofíceas													
<i>Nodularia harveyana</i>	27772		62895		38390		12252	23279			23279	8168	14294
<i>Trichodesmium aff. erythraeum</i>								35531					
Total Cianofíceas	27772		62895		38390		12252	58811			23279	8168	14294
Otros													
Células esféricas pequeñas <5 µm	40841	54727	111904	300588	154786	111904	112720	82498	191134	151927	107411	41249	66979
Total Fitoplancton	70246	58402	91483	34306	64120	41249	53093	98835	44516	35531	62486	51868	42474

Fuente: Informe ICMYL de la UNAM, 2016



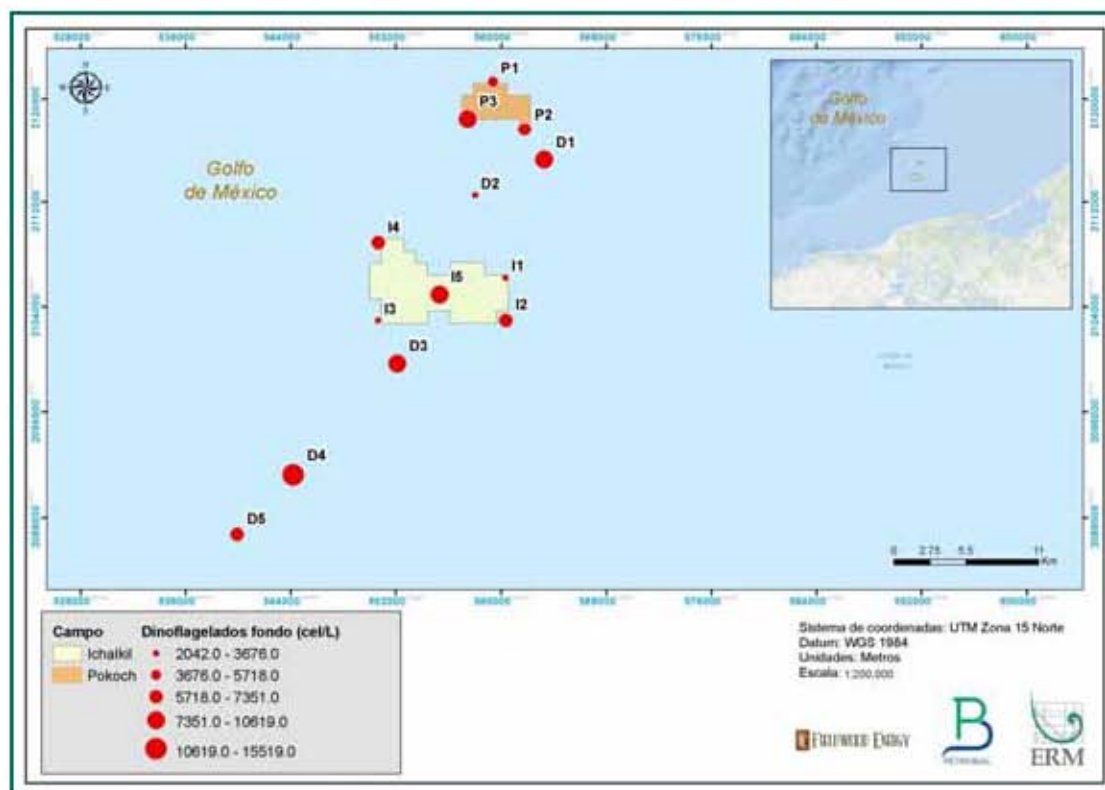
Fuente: ERM, 2016

Figura 6.47 Variación espacial de la abundancia del fitoplancton de fondo entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4



Fuente: ERM, 2016

Figura 6.48 Variación espacial de la abundancia de diatomeas – estrato de fondo entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4



Fuente: ERM, 2016

Figura 6.49 Variación espacial de la abundancia de dinoflagelados – estrato de fondo entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4

Asimismo, los valores de diversidad según el índice de Shannon-Wiener (H') fueron mayores respecto a los del fitoplancton superficial, fluctuando entre 3.076 bit/cel en I3 y 3.603 bit/cel en I2. Del mismo modo, los niveles más bajos de diversidad correspondieron a los puntos donde hubo dominancia de la cianoficea *Nodularia harveyana*; mientras que los valores más altos obedecieron a una distribución más equitativa de las abundancias de las diatomeas *Bacillaria paxillifera*, *Diploneis* cf. *incurvata*, *Navicula* cf. *platyventris*, *Navicula* cf. *pelliculosa*, *Pleurosigma* cf. *naviculaceum*, *Psammodictyon* cf. *panduriforme*, *Pseudo-nitzschia* aff. *pseudodelicatissima* y *Pseudo-nitzschia* aff. *pungens*; y la criptófita *Teleaulax* sp.

Los índices de estructura comunitaria del fitoplancton de profundidad se presentan en la Tabla 6.21.

En el Apéndice 6.16 se adjunta un listado de organismos del fitoplancton con presencia potencial en el Área Contractual 4 y sus inmediaciones.



Tabla 6.21 *Índices de estructura comunitaria del fitoplancton en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4*

Estrato	Estación de Muestreo	Descriptores de Estructura Comunitaria			
		Riqueza de Taxa (S)	Abundancia (N)	Índice de Shannon (H')	Índice de Simpson (1-D)
Superficie	I1	16	61665	2.757	0.65
	I2	21	26950	3.037	0.48
	I3	14	26953	2.628	0.73
	I4	19	26544	2.937	0.53
	I5	25	38385	3.209	0.41
	P1	23	38794	3.126	0.44
	P2	24	29810	3.171	0.42
	P3	22	35121	3.083	0.46
	D1	17	26134	2.823	0.60
	D2	16	37164	2.763	0.64
	D3	22	22456	3.084	0.46
	D4	24	31853	3.171	0.42
	D5	20	38795	2.984	0.051
Fondo	I1	31	70239	3.421	0.33
	I2	37	58399	3.603	0.27
	I3	22	91479	3.076	0.47
	I4	26	34302	3.251	0.39
	I5	27	64115	3.284	0.38
	P1	35	41243	3.548	0.29
	P2	35	53088	3.546	0.29
	P3	27	98832	3.284	0.38
	D1	31	44511	3.426	0.33
	D2	28	35527	3.326	0.36
	D3	34	62479	3.516	0.30
	D4	33	51863	3.490	0.31
	D5	22	42471	3.082	0.46

Fuente: ERM, 2016

6.3.1.3 Registro de Microalgas Consideradas Potencialmente Tóxicas por la COI

Se registraron 19 taxa de microalgas (4 diatomeas y 15 dinoflagelados) consideradas potencialmente tóxicas por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO, las cuales se listan en la Tabla 6.22.

Las diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* (*Pseudo-nitzschia* cf. *delicatissima*, *Pseudo-nitzschia* aff. *multistriata*, *Pseudo-nitzschia* aff. *pseudodelicatissima* y *Pseudo-nitzschia* cf. *pungens*) fueron reportadas frecuentemente con niveles moderados de abundancia tanto en las muestras de fitoplancton de red como de botella, mientras que el



hallazgo de dinoflagelados del género *Dinophysis* (*Dinophysis acuminata* y *Dinophysis caudata*) se limitó a las muestras colectadas con red en las estaciones D5 e I3.

Del mismo modo, la especie *Prorocentrum minimum* fue registrada únicamente en las muestras colectadas con red en las estaciones P2, P3, D4 y D5.

Adicionalmente, también se listan en la Tabla 6.22 aquellas especies de dinoflagelados que, no siendo necesariamente potencialmente tóxicas, son muy conocidas en el Golfo de México y otras latitudes por generar eventos de “marea roja” o floraciones algales nocivas, inclusive con cuadros de mortalidad masiva de peces e invertebrados marinos. Estas microalgas serían *Alexandrium* sp., *Gymnodinium* spp., *Prorocentrum gracile*, *Prorocentrum micans* y *Prorocentrum minimum*, las cuales han sido reportadas con niveles muy bajos de abundancia.

Cabe señalar que dentro del grupo de organismos causantes de eventos de “marea roja” se considera también a la cianoficea *Trichodesmium erythraeum*.

Tabla 6.22 Registro de especies de microalgas potencialmente tóxicas y asociadas a eventos de “marea roja”

Microalga			
Grupo	Taxa	Potencialmente Tóxica	Asociada a Eventos de "Marea Roja"
Diatomeas	<i>Pseudo-nitzschia</i> cf. <i>delicatissima</i>	X	
	<i>Pseudo-nitzschia</i> aff. <i>multistriata</i>	X	
	<i>Pseudo-nitzschia</i> aff. <i>pseudodelicatissima</i>	X	
	<i>Pseudo-nitzschia</i> cf. <i>pungens</i>	X	
Dinoflagelados	<i>Alexandrium</i> sp.	X	X
	<i>Dinophysis acuminata</i>	X	
	<i>Dinophysis caudata</i>	X	
	<i>Gonyaulax spinifera</i>	X	
	<i>Gymnodinium</i> spp.	X	X
	<i>Heterocapsa</i> cf. <i>circularisquama</i>	X	
	<i>Karenia brevis</i>	X	
	<i>Karenia</i> aff. <i>brevisulcata</i>	X	
	<i>Karenia</i> cf. <i>digitata</i>	X	
	<i>Karenia</i> cf. <i>mikimotoi</i>	X	
	<i>Karenia</i> cf. <i>papilionacea</i>	X	
	<i>Karenia</i> cf. <i>selliformis</i>	X	
	<i>Karlodinium</i> cf. <i>micrum</i>	X	
	<i>Prorocentrum</i> cf. <i>lima</i>	X	



Microalga			
Grupo	Taxa	Potencialmente Tóxica	Asociada a Eventos de "Marea Roja"
	<i>Prorocentrum gracile</i>		X
	<i>Prorocentrum micans</i>		X
	<i>Prorocentrum minimum</i>	X	X
Cianofíceas	<i>Trichodesmium erythraeum</i>		X

Fuente: Informe ICMYL de la UNAM, 2016

6.3.2 Zooplancton

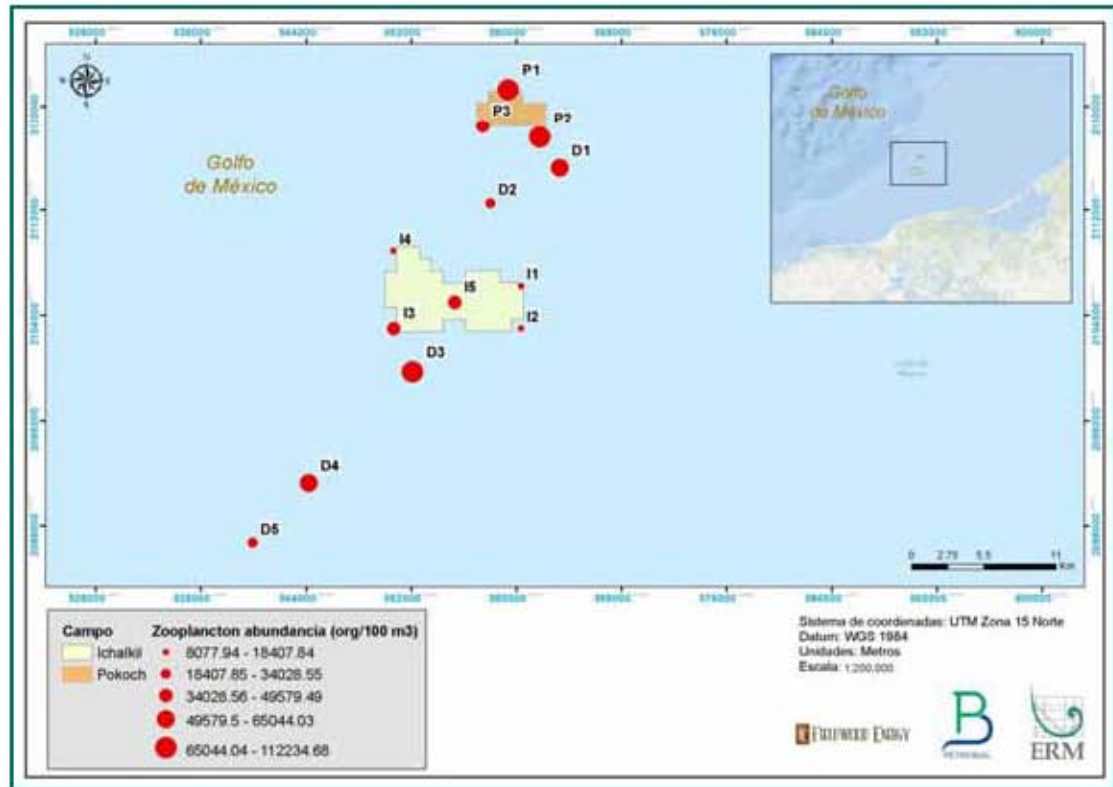
Se registró un total de 33 taxa de organismos del zooplancton, siendo los grupos Cladocera y Copepoda los de mayor abundancia.

La composición y abundancia de zooplancton determinadas en los puntos de muestreo se presenta en la Tabla 6.23 y los informes de ensayo correspondientes en el Anexo 5.6.

Los niveles de abundancia de zooplancton variaron entre 8 078 y 112 235 org/100m³, reportándose los valores más altos en las estaciones D3, P1 y P2, tal como se observa en la Figura 6.50. Asimismo, los registros de biomasa tuvieron un comportamiento similar, variando entre 6.96 y 50.88 g/100m³ (ver Figura 6.51).

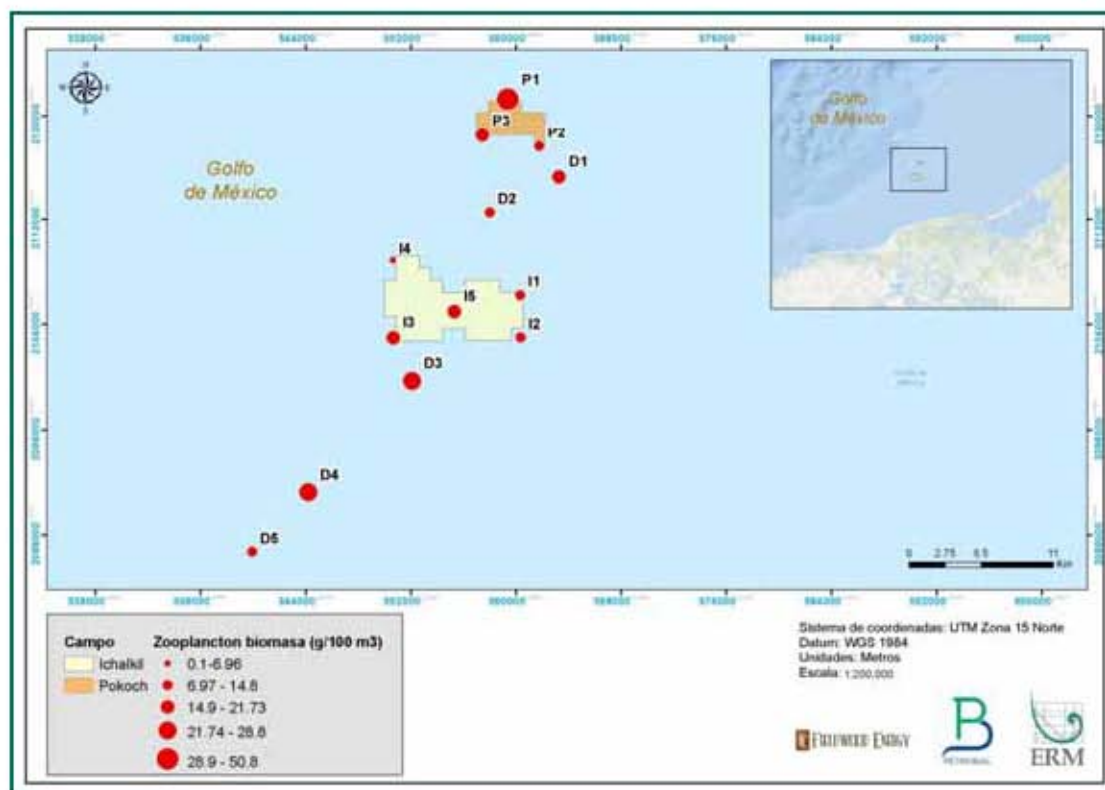
Los organismos registrados con un 100% de frecuencia relativa, o presentes en todos los puntos de muestreo, fueron los taxa Chaetognatha, Copepoda, Decapoda, Gastropoda, Sergestidae, Siphonophora, y los huevos y larvas de peces.

Otros organismos reportados en más del 60% de de los puntos fueron las taxa Amphipoda, Brachiopoda, Cladocera, Hydrozoa, Ostracoda, Polychaeta, Pteropoda y Stomatopoda.



Fuente: ERM, 2016

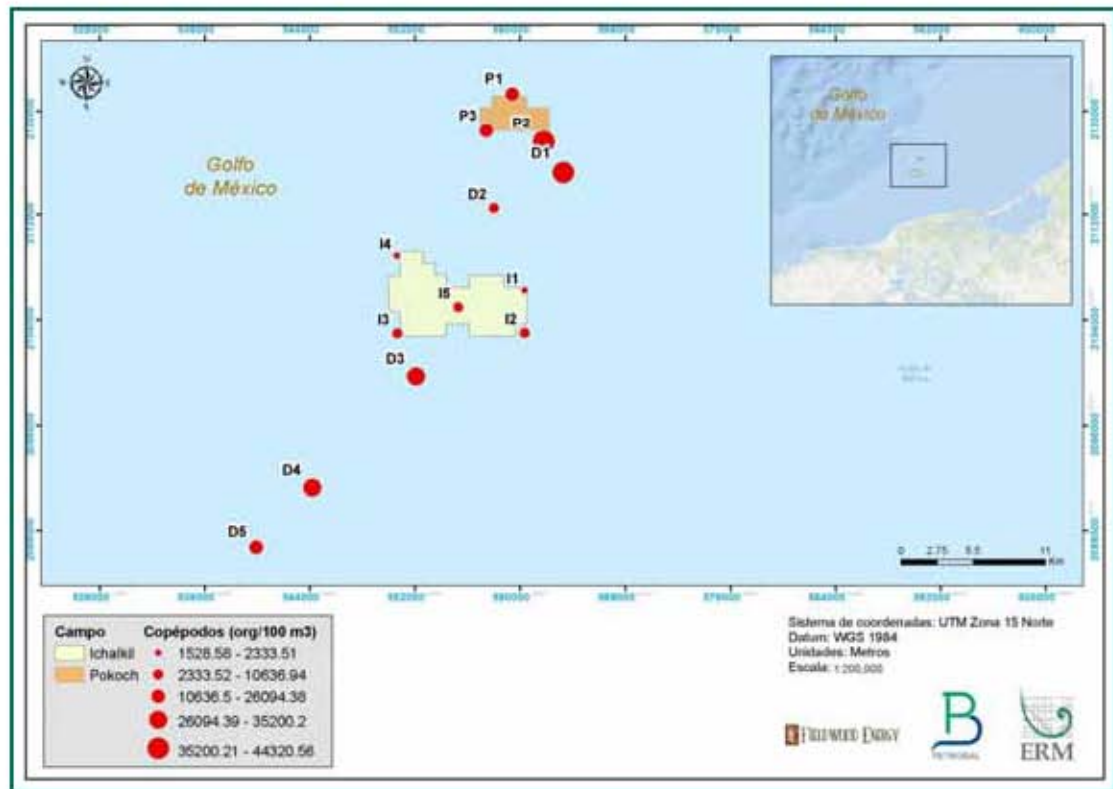
Figura 6.50 Variación espacial de la abundancia de zooplancton entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4



Fuente: ERM, 2016

Figura 6.51 Variación espacial de la biomasa de zooplancton entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4

El grupo Copepoda fue la taxa más abundante, representando el 40.6% del zooplancton registrado y con una mayor presencia en las estaciones D1, D3, D4 y P2 (ver Figura 6.52). Asimismo, los grupos Amphipoda, Chaetognatha, Decapoda (mysis y zoea), Ostracoda, Segestidae, Siphonophora y huevos de peces, sumaron en conjunto el 33.6% del total.



Fuente: ERM, 2016

Figura 6.52 Variación espacial de la abundancia de copépodos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4



Tabla 6.23 Composición y abundancia (organismos / 100 m³) del zooplancton en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4

Grupo Taxonómico	Estación de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
Actinida		5.4			9.9	21.4	43.5	15.0		14.2			
Amphipoda	12.6	43.3	481.2	73.4		2882.8	261.0	977.9	38.0	99.4	596.6	1192.4	258.6
Appendicularia						341.7	29.0				50.4		20.7
Asciacea		10.8		10.5	9.9					28.4			
Brachiopoda (Lingula)	75.5	248.9	245.7	21.0	444.2					14.2	798.3	181.5	186.2
Bryozoa (Cyphonautes)									38.0				
Chaetognatha	1164.7	1114.8	1689.4	162.6	829.2	4633.8	5567.6	2677.9	1685.1	1562.2	2957.9	3802.0	1168.7
Cephalopoda			10.2			21.4	29.0						
Cladocera	1725.0	6737.7	522.2		38438.4	22720.5	16775.4	8334.6	9236.6	8705.5	20293.3	4536.4	517.1
Copepoda	1528.6	6959.6	6777.9	2333.5	7087.5	26094.4	38843.0	22611.7	44320.6	10636.9	35200.2	30234.2	22609.5
Decapoda (Nauplio)			10.2	21.0									
Decapoda (Zoea)	1089.1	1017.4	2928.2	1463.0	612.0	4527.0	11077.3	3685.9	5182.1	2655.7	4714.1	5400.5	3123.5
Decapoda (Mysis)	938.1	687.3	348.1	73.4	315.9	1281.2	1783.4	346.0	848.9	766.9	277.3	328.4	579.2
Decapoda (Megalopa)			81.9				58.0		25.3	14.2	33.6	77.8	31.0
Decapoda	69.3	75.8	71.7	136.3	128.3	299.0	87.0	45.1	12.7	71.0	176.5	181.5	113.8
Echinodermata	18.9	16.2							12.7		16.8	17.3	41.4
Euphausiacea											8.4		
Foraminifera		5.4		5.2									
Gastropoda (Veliger)	37.8	86.6	1146.7	31.5	197.4	704.7	638.0	120.4	329.4	170.4	310.9	250.6	51.7
Hydrozoa (Micromedusas)	81.8	54.1	10.2		29.6	106.8	159.5	105.3	177.4	142.0	16.8	95.0	51.7
Isopoda					39.5							8.6	
Lamellibranchia	6.3	16.2	102.4			149.5			12.7		268.9	518.4	217.2
Mysidacea			225.2			2092.7					126.0	69.1	41.4
Ostracoda	6.3		23047.0	15.7	49.4	37347.9	14.5	270.8			12075.1	10014.7	1551.4
Polychaeta (Trochophora)		21.6	30.7		19.7	85.4	43.5	30.1			25.2	60.5	31.0
Pteropoda			276.4	5.2		747.4	478.5	90.3	126.7	28.4	33.6	17.3	
Sergestidae (Lucifer)	138.5	86.6	604.1	2564.2	59.2	5039.5	1580.4	3460.2	1355.7	426.0	126.0	388.8	1520.4



Grupo Taxonómico	Estación de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
Siphonophora	554.0	719.8	552.9	83.9	819.3	1668.8	1464.4	662.0	608.2	823.7	168.1	241.9	72.4
Sinpunculida										14.2			



Grupo Taxonómico	Estación de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
Siphonophora	554.0	719.8	552.9	83.9	819.3	1668.8	1464.4	662.0	608.2	823.7	168.1	241.9	72.4
Sinpunculida										14.2			



Grupo Taxonómico	Estación de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
Siphonophora	554.0	719.8	552.9	83.9	819.3	1668.8	1464.4	662.0	608.2	823.7	168.1	241.9	72.4
Sinpunculida										14.2			



Los valores de diversidad según el índice de Shannon (H') variaron entre 1.249 y 3.101 bit/org. El menor nivel de H' fue registrado en la estación de muestreo I5 y tuvo relación con la dominancia absoluta del taxa Cladocera, grupo que representó el 77.5% de la composición zooplanctónica en dicha locación, la cual presentó además los valores más bajos de diversidad según el índice de Simpson ($1-D=0.378$) y de equidad según el índice de Pielou ($J'=0.289$).

Del mismo modo, los mayores valores de H' correspondieron a las estaciones P1 (2.749 bit/org) e I1 (3.101 bit/org), las cuales se caracterizaron por la distribución más equitativa entre los niveles de abundancia de los grupos Cladocera y Copepoda con otros organismos productores secundarios pertenecientes a las taxa Amphipoda, Chaetognatha, Decapoda (estadios mysis y zoea), Ostracoda y Segestidae. Los índices de estructura comunitaria del zooplancton se presentan en la Tabla 6.24.

En el Apéndice 6.17 se adjunta un listado de organismos del zooplancton con presencia potencial en el Área Contractual 4 y sus inmediaciones

Tabla 6.24 *Índices de estructura comunitaria del zooplancton en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4*

Estación de Muestreo	Descriptores de Estructura Comunitaria					
	Riqueza de Taxa (S)	Abundancia (N)	Índice de Shannon (H')	Índice de Simpson (1-D)	Índice de Pielou (J')	
Campo Ichalkil	I1	18	8078	3.101	0.857	0.744
	I2	22	18408	2.340	0.713	0.525
	I3	24	40112	2.276	0.632	0.496
	I4	19	8861	2.659	0.794	0.626
	I5	20	49579	1.249	0.378	0.289
Campo Pokoch	P1	23	112235	2.749	0.787	0.608
	P2	22	80582	2.310	0.699	0.518
	P3	18	44564	2.334	0.690	0.560
Ductos	D1	19	65044	1.686	0.508	0.397
	D2	21	27192	2.427	0.729	0.552
	D3	24	80957	2.335	0.720	0.509
	D4	23	59856	2.424	0.697	0.536
	D5	22	34029	2.003	0.542	0.449

Fuente: ERM, 2016



6.3.2.1 *Ictioplancton*

Se registró presencia de huevos y larvas de peces en todas las estaciones de muestreo. Las mayores concentraciones de ictioplancton fueron reportadas en P2 y D1. Se determinaron 50 taxa de larvas de peces, siendo los grupos taxonómicos Anchoa y Leiostomus los organismos con los mayores niveles de abundancia, tal como se observa en la Tabla 6.25.



Tabla 6.25 Composición y abundancia (organismos / 100 m³) del ictioplancton en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4

Grupo Taxonómico	Estación de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
Ophichthus								0.75					
Anchoa	8.18	4.33	295.89	11.01	5.92	206.06	33.35	139.91	43.71	185.33	60.50	66.97	27.93
Synodus						11.74					0.42		
Bregmaceros			5.12			3.20					9.66	7.78	
Lepophidium	0.63		0.51					2.26					
Ophidion											2.52	0.43	
Mugil		0.54	1.02	1.05	2.47		0.72		0.63	2.84	1.26		
Scorpaena			1.02	0.52									
Prionotus		0.54											
Centropomus				12.06		5.34							
Centropristis			12.29								1.68		
Diplectrum										0.71			
Liopropoma					0.99								
Serranus										1.42			
Priacanthus							0.72						
Caranx			4.10	4.20	5.92		1.45						2.07
Chloroscombrus	37.77	15.69	67.57	12.06	28.13	1.07	14.50	3.76	18.37	39.76	144.95	60.92	7.76
Decapterus			1.02				0.72			0.71		2.59	
Selar			4.10	1.05		1.07				3.55		3.89	
Selene			0.51	2.62	0.49		0.72						
Seriola										0.71			
Trachurus			7.17	9.44	7.90	1.07	2.17		11.40	9.94	0.84	1.73	1.55
Sparidae									2.53				
Archosargus	1.26												
Calamus		0.54		0.52	0.49	1.07	0.72	2.26					
Pristiopomoides							1.45						
Lutjanus	0.63		1.54	1.05					1.27	5.68			



Grupo Taxonómico	Estación de Muestreo												
	Campo Ichalkil					Campo Pokoch			Ductos				
	I1	I2	I3	I4	I5	P1	P2	P3	D1	D2	D3	D4	D5
Eucinostomus	0.63	1.62	0.51	8.91	4.44		5.80	1.50		0.71			
Haemulon	5.04			1.57	1.48		2.90	0.75		3.55		0.43	
Cynoscion								1.50			6.72	15.12	2.59
Leiostomus	61.07	27.06	9.21	137.91	31.09	4.27	436.42	14.29	376.31	110.06	0.42	17.28	1.03
Menticirrhus												0.43	
Stellifer										1.42			
Sparisoma						1.07							
Hypsoblennius		0.54						0.75	1.27				
Paradiplogrammus												0.43	
Gobiosoma	13.22	23.27	84.98	33.04	21.22	169.76	70.32	66.20	108.33	169.71	41.59	1.30	
Microdesmus				1.57						0.71			
Sphyraena	1.26	1.62			0.99	3.20	2.90	3.76		0.71			0.52
Auxis						1.07							
Euthynnus									0.63				
Thunnus			0.51										
Istiophorus			1.54										
Tetragonurus	0.63		0.51		0.99	3.20							0.52
Bothus			0.51						0.63				
Citharichthys			1.02							1.42			
Syacium	1.26	3.25	47.61	38.28	1.97	13.88	15.95	7.52	8.87	17.04	7.98	4.32	
Symphurus		0.54	3.58	16.78	0.49			0.75		0.71			
Sphoeroides											0.42		
Indeterminados	4.41	9.20	8.19	11.01	15.30	5.34	24.65	3.01	15.20	21.30	97.47	119.68	3.10
Total Ictioplancton	135.99	88.75	560.05	304.67	130.30	432.42	615.48	248.98	589.17	578.00	376.45	303.29	47.06

Fuente: Informe C INVESTAV, 2016



Las larvas de *Chloroscombrus* y *Gobiosoma* fueron registradas frecuentemente aunque en menores concentraciones. Asimismo, las larvas de *Syacium* e Indeterminado se consideraron como los principales grupos acompañantes. Los organismos del ictioplancton reportados esporádicamente fueron las taxa *Archosargus*, *Auxis*, *Diplectrum*, *Euthynnus*, *Istiophorus*, *Liopropoma*, *Menticirrhus*, *Ophichthus*, *Paradiplogrammus*, *Priacanthus*, *Prionotus*, *Pristiopomoides*, *Seriola*, *Serranus*, *Sparidae*, *Sparisoma*, *Sphoeroides*, *Stellifer* y *Thunnus*. Los índices de estructura comunitaria del ictioplancton se presentan en la Tabla 6.26.

Tabla 6.26 *Índices de estructura comunitaria del ictioplancton en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4*

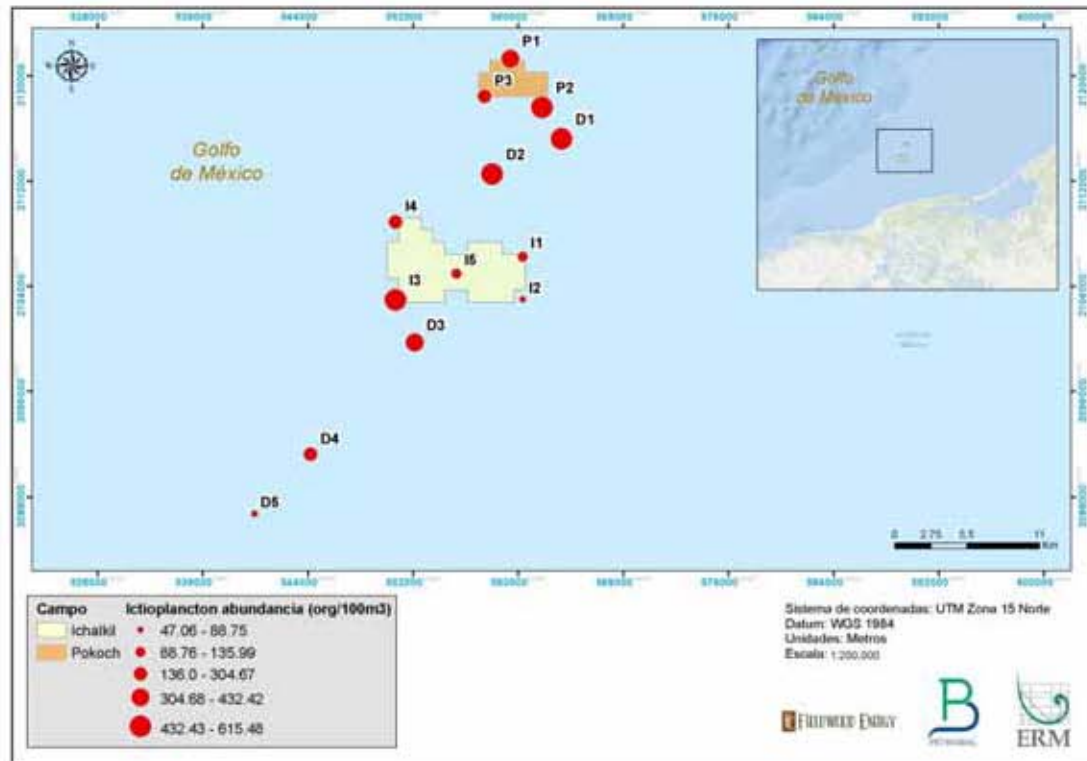
Estación de Muestreo	Descriptores de Estructura Comunitaria					
	Riqueza de Taxa (S)	Abundancia (N)	Índice de Shannon (H')	Índice de Simpson (1-D)	Índice de Pielou (J')	
Campo Ichalkil	I1	13	136	2.271	0.705	0.614
	I2	13	89	2.632	0.792	0.711
	I3	24	560	2.338	0.675	0.510
	I4	19	305	2.830	0.757	0.666
	I5	17	130	3.102	0.846	0.759
Campo Pokoch	P1	16	432	1.848	0.616	0.462
	P2	17	615	1.650	0.478	0.404
	P3	15	249	1.938	0.608	0.496
Ductos	D1	13	589	1.738	0.550	0.470
	D2	21	578	2.533	0.767	0.577
	D3	14	376	2.330	0.745	0.612
	D4	15	303	2.419	0.748	0.619
	D5	9	47	1.989	0.610	0.627

Fuente: ERM, 2016

Los valores de diversidad según el índice de Shannon (H') variaron entre 1.650 y 3.102 bit/org. El nivel más bajo de H' fue determinado en la estación de muestreo P2 y tuvo relación con la dominancia absoluta de larvas de *Leiostomus*, grupo que representó el 70.9% del ictioplancton en dicha locación.

Asimismo, los valores más altos de H' correspondieron a las estaciones I4 (2.830 bit/org) e I5 (3.102 bit/org), las cuales se caracterizaron por la distribución más equitativa entre los niveles de abundancia de la taxa *Leiostomus* con las larvas de *Chloroscombrus*, *Gobiosoma* y *Syacium*.

Los niveles de abundancia más altos de ictioplancton correspondieron a la estación a la estación P2, en el campo Pokoch, tal como se observa en la Figura 6.53.



Fuente: ERM, 2016

Figura 6.53 Variación espacial de la abundancia de ictioplancton entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4



6.3.3

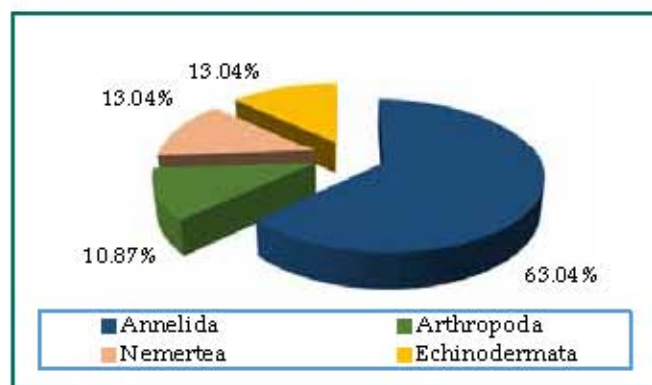
Macrobentos

La composición taxonómica del macrobentos determinada en el Área Contractual 4, se adjunta en el Apéndice 6.18. Se registraron 16 taxa de organismos con una abundancia y biomasa acumulada de 1 840 individuos y 61.52 g respectivamente. En la Tabla 6.27 se muestran los parámetros biológicos de los grupos taxonómicos y su composición porcentual en términos de abundancia (ver Gráfica 6.81) y biomasa (ver Gráfica 6.82), reportándose a los phyla Annelida y Arthropoda con los mayores valores de riqueza de especies, número de individuos y biomasa. Por el contrario, los phyla Nemertea y Echinodermata contribuyeron con un menor número de especies, a excepción de la biomasa.

Tabla 6.27 *Parámetros biológicos estimados de los grupos taxonómicos de macrobentos registrados en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4*

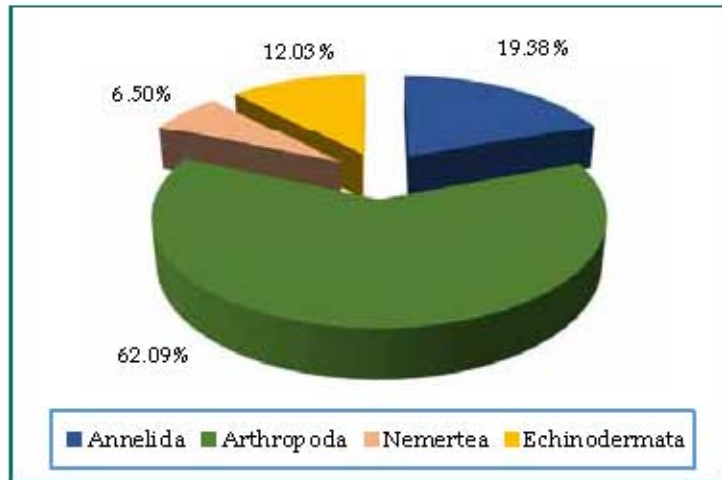
Grupo taxonómico	N° de Especies	Abundancia	Biomasa (g)
Annelida	8	1160	11.92
Arthropoda	5	200	38.2
Nemertea	2	240	4
Echinodermata	1	240	7.4

Fuente: ERM, 2016



Fuente: ERM, 2016

Gráfica 6.81 *Composición porcentual por niveles de abundancia de los grupos taxonómicos del macrobentos*



Fuente: ERM, 2016

Gráfica 6.82 *Composición porcentual por niveles de biomasa de los grupos taxonómicos del macrobentos*

La mayor riqueza de especies, concentración de individuos y biomasa correspondió a los anélidos (poliquetos) y artrópodos (crustáceos), al ser los organismos que presentan una amplia distribución batimétrica y adaptabilidad a condiciones adversas del medio (por ejemplo, la baja concentración de oxígeno), a diferencia de los nemertinos y equinodermos. La mayor colecta de individuos juveniles de los diferentes grupos taxonómicos se estaría produciendo probablemente por encontrarse en fase de reclutamiento.



En la Tabla 6.28 se presentan los parámetros biológicos para cada estación de muestreo, observándose que la densidad de organismos varió entre 80 y 480 ind/m² y la biomasa entre 0.6 y 33.52 g/m², mientras que la riqueza de especies entre 2 y 9. En cuanto a la variación de la densidad y la biomasa de los organismos benthicos con respecto al gradiente de profundidad (entre 21.5 y 44.6 m), no se evidencia una tendencia decreciente conforme se incrementa la profundidad de la locación de muestreo.

Tabla 6.28 *Parámetros biológicos del macrobentos en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4*

Estaciones de muestreo	N° de Especies	N° de individuos	Biomasa (g)
D4 (26.2 m)	4	280	6.56
D3 (28.8 m)	2	80	0.6
I4 (40.6 m)	4	160	1.84
IC2 (29.6 m)	4	160	1.12
I2 (28.8 m)	3	120	33.52
I1 (29.4 m)	6	280	5.04
P2 (38 m)	9	480	8.88
P3 (44.6 m)	3	200	2.48
P1 (21.5 m)	2	80	1.48

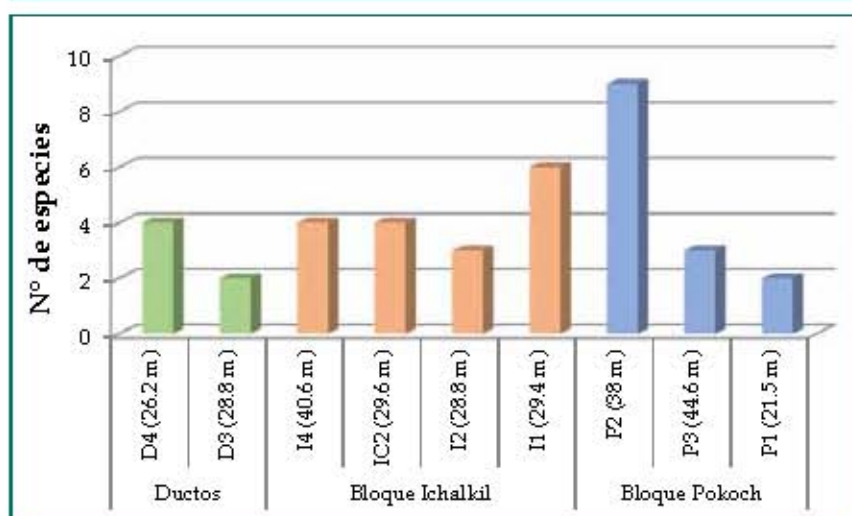
Fuente: ERM, 2016

Los valores de densidad de individuos, biomasa y riqueza de especies del área de estudio, estaría relacionado con el tipo de hábitat, la textura del sedimento, la ausencia de macroalgas, la adaptabilidad a la fuente de recursos (disponibilidad de alimento), así como también con los parámetros fisicoquímicos del medio marino (temperatura, concentración de oxígeno disuelto y turbidez).

Riqueza de especies e Índices de diversidad

En la Gráfica 6.83 se observa la variación de la riqueza de especies entre las estaciones de muestreo, siendo P2 en el campo Pokoch la de mayor registro de especies, seguida de I1 en el campo Ichalkil; en tanto que las locaciones de menor registro fueron D3 y P1.

El phylum Annelida constituyó la taxa con el mayor aporte de organismos, caracterizándose estos por presentar una amplia distribución batimétrica adaptable a diferentes tipos de condiciones.



Fuente: ERM, 2016

Gráfica 6.83 Variación espacial de la riqueza de especies de macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4

En la Tabla 6.29 se presentan las estimaciones de los índices de diversidad para cada estación de muestreo. Los índices de Shannon (H'), Margalef (d) y Pielou (J') evidencian que la comunidad macrobéntica del Área Contractual 4 presenta una baja diversidad (valores de Shannon ≤ 3), asociada a una baja abundancia de las especies (valores de Margalef ≤ 3), las cuales están distribuidas heterogéneamente (valores de Pielou ≥ 0.5), destacando la dominancia de una especie en particular en términos de abundancia.

Tabla 6.29 Índices de diversidad de las estaciones de muestreo de macrobentos del Área Contractual 4

Estaciones de muestreo	Índice de Shannon (H')	Índice de Margalef (d)	Índice de Pielou (J')
D4 (26.2 m)	1.842	0.5324	0.9212
D3 (28.8 m)	1	0.2282	1
I4 (40.6 m)	2	0.5911	1
IC2 (29.6 m)	2	0.5911	1
I2 (28.8 m)	1.585	0.4178	1
I1 (29.4 m)	2.522	0.8873	0.9755
P2 (38 m)	3.085	1.296	0.9732
P3 (44.6 m)	1.371	0.3775	0.865
P1 (21.5 m)	1	0.2282	1

Fuente: ERM, 2016



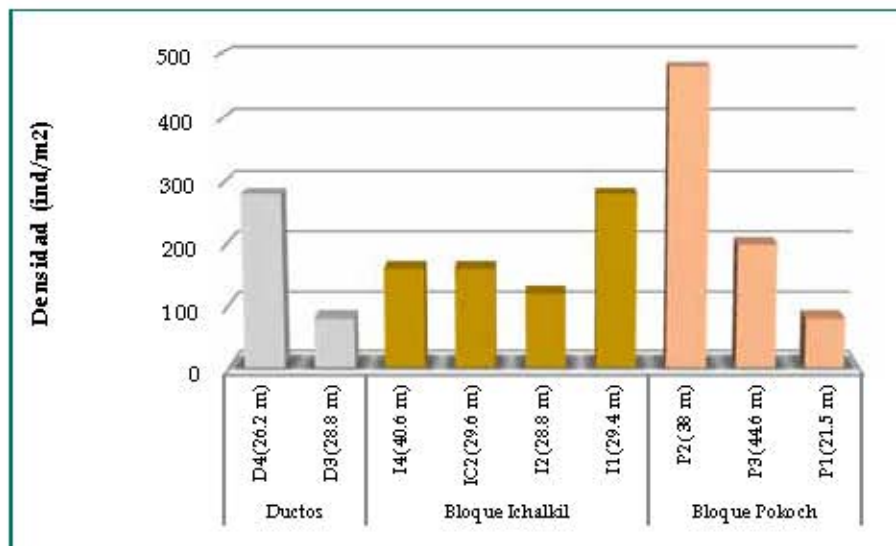
Densidad y biomasa

En la Gráfica 6.84 y Gráfica 6.85 se observa que las estaciones P2 (38 m), I1 (29.4 m) y D4 (26.2 m) fueron las de mayor abundancia y biomasa. Asimismo, la estación I2 (28.8 m) fue la de mayor aporte de biomasa debido a la colecta de individuos juveniles del “camarón” *Penaeus* sp. (2). Las referidas estaciones se ubicaron indistintamente en los campos Pokoch, Ichalkil y el sector de ductos.

Los organismos más abundantes en la estación P2 fueron básicamente los poliquetos *Aphelochaeta* sp., *Neptlys incisa* y *Notomastus hemipodus*. En el caso de I1 y D4 predominó el ofiuroido *Amphioplus sepultus*. La presencia de estos organismos está relacionada con la disponibilidad de alimento, detritus, materia orgánica y otros depósitos asentados sobre el sustrato.

En el caso del camarón *Penaeus* sp. (2) perteneciente a la familia taxonómica Penaeidae, la colecta de individuos juveniles en la estación I2 podría tener relación con el ingreso de aguas estuarinas, siendo característico de este género el habitar aguas marinas o de estuarios, mientras que los adultos habitan mayormente en ambientes marinos.

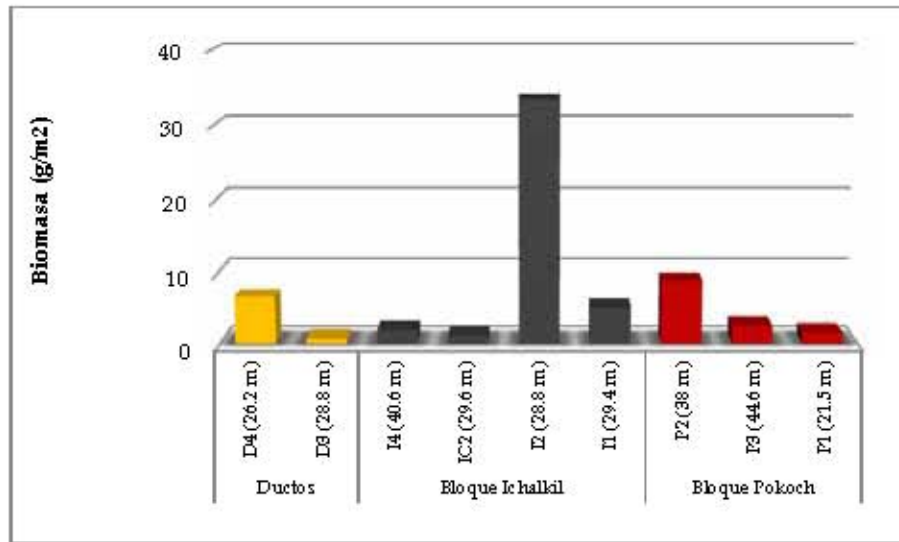
Las estaciones con menor densidad de organismos y biomasa fueron D3 (28.8 m) e IC2 (40.6 m) considerando únicamente los valores de biomasa. Las referidas locaciones pertenecen tanto a los campos Ichalkil y Pokoch como al sector de ductos (ver Figura 6.54 y Figura 6.55).



Fuente: ERM, 2016

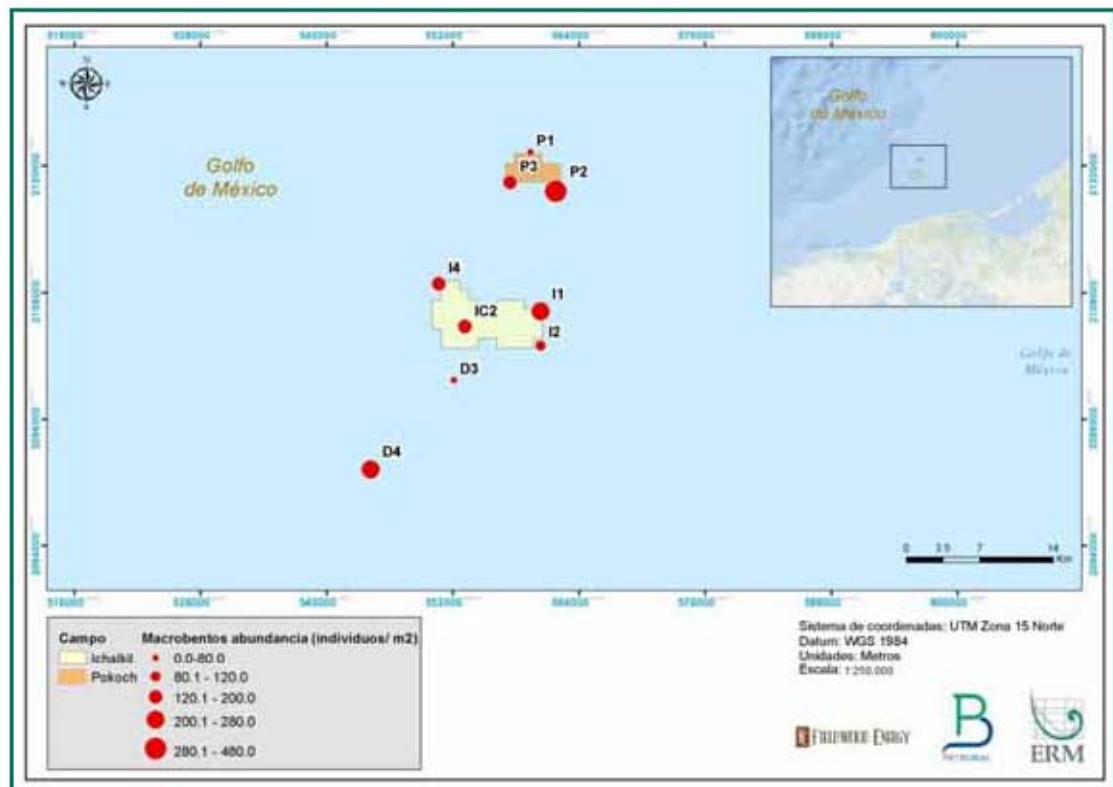


Gráfica 6.84 Variación espacial de la densidad de macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4



Fuente: ERM, 2016

Gráfica 6.85 Variación espacial de la biomasa de macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4



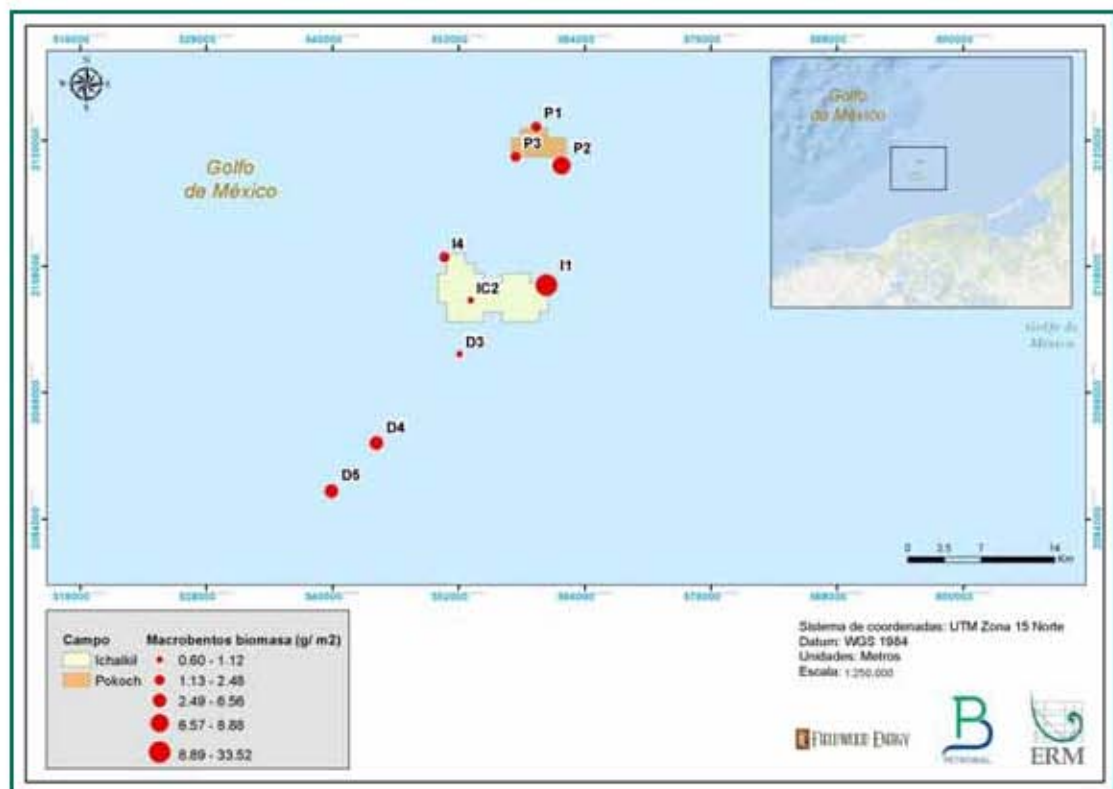
Fuente: ERM, 2016



Figura 6.54 Variación espacial de la abundancia de macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4

Las diferencias y similitudes entre especies y densidades de las estaciones ubicadas a profundidades medias (21.5 - 29.6 m) y altas (38 - 44.6 m), muestran una comunidad heterogénea influenciada posiblemente por el factor estacional o tipo de hábitat (turbiedad, cambios en la composición granulométrica del fondo marino, resuspensión y patrones de sedimentos e ingresos de agua continental), que a su vez generan cambios en la columna del agua.

La variabilidad de la biomasa entre estaciones de muestreo a profundidades relacionadas entre sí (medias de 21.5 a 29.6 m y altas de 38 a 44.6 m), podría ser atribuible a la concentración de oxígeno disuelto, a los niveles de materia orgánica en los sedimentos y a la oferta de alimento, factores que influyen en el crecimiento de las especies. Tal es el caso del ofiuroido *Amphioplus sepultus* “estrellita de mar”, especie muy representativa a nivel de biomasa en las estaciones I1 (29.4 m) y D4 (26.2 m), caracterizándose por habitar sustratos blandos y alimentarse mediante una red de mucus creada entre los brazos; sus largas espinas ayudan a mantener esta red y el bolo alimenticio que se forma circula por la cara aboral del brazo hasta la boca.



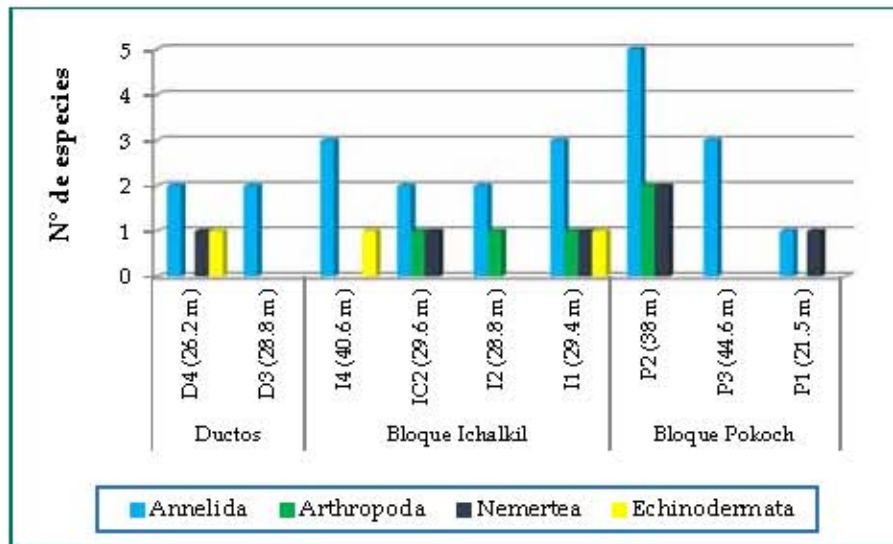
Fuente: ERM, 2016



Figura 6.55 *Variación espacial de la biomasa de macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4*

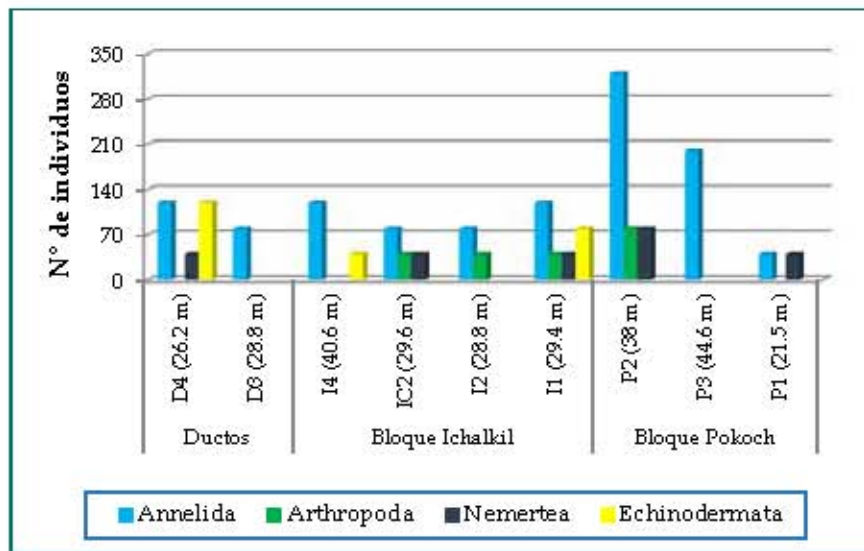
Composición de las estaciones por profundidad de muestreo

La composición específica por estación de muestreo según grupos taxonómicos se muestra en la Gráfica 6.86, observándose un máximo de 5 especies del phylum Annelida en P2 (38 m), mientras que en otros phyla se registraron entre 1 y 2 especies.

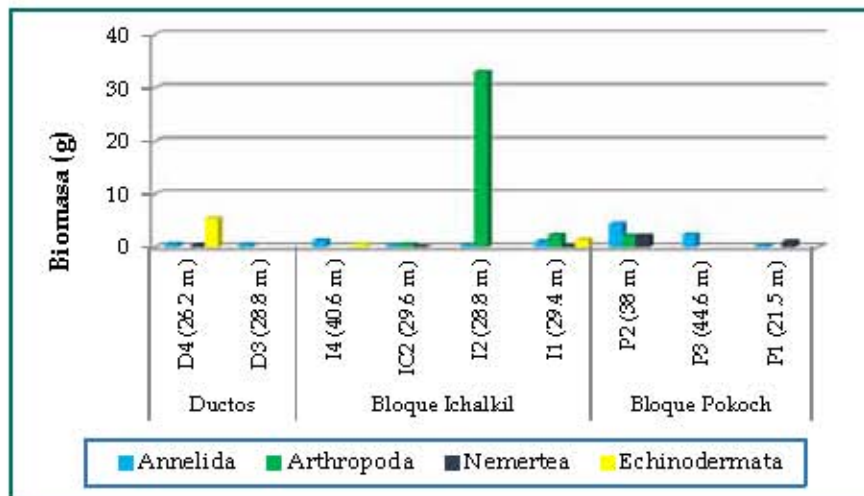


Gráfica 6.86 *Variación espacial de la riqueza de especies por grupo taxonómico del macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4*

En la Gráfica 6.87 y Gráfica 6.88 se muestran las abundancias y biomasa por estación según grupo taxonómico, observándose que la taxa Annelida contribuyó con las especies más colectadas en todas las estaciones de muestreo. Con respecto a la biomasa, se tiene que Arthropoda y Echinodermata fueron los taxas más representativas en algunas locaciones de muestreo.



Gráfica 6.87 Variación espacial de la riqueza de la abundancia por grupo taxonómico del macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4



Gráfica 6.88 Variación espacial de la biomasa por grupo taxonómico del macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4

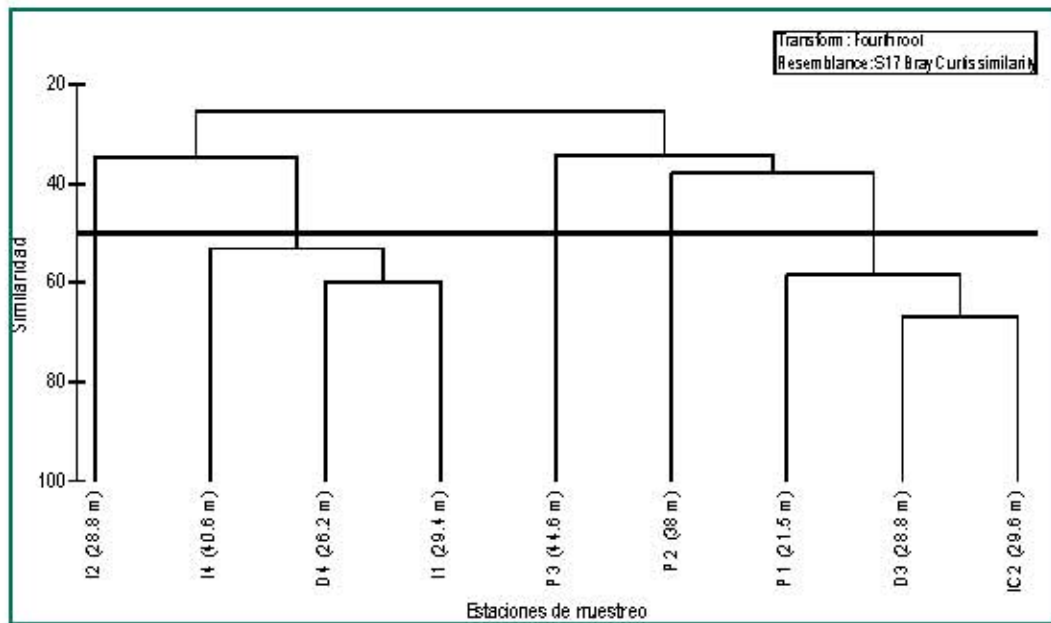
Para determinar la dominancia (mayor número de individuos y mayor frecuencia) de las especies en el área de muestreo, se obtuvo el acumulado (total de individuos) de las estaciones por especies, determinándose 6 especies dominantes (con abundancias mayores a 160 individuos):



Los poliquetos *Aricidea gracilis*, *Nephtys incisa*, *Notomastus hemipodus* y *Ninoe leptognatha*; el nemertino *Nemertea I*; y el ofiuroido *Amphipolus sepultus*.

Similitud entre muestras

Para establecer la disimilitud (diferencias) o similitudes entre estaciones de muestreo en función a la composición del macrobentos se realizó el dendrograma de Bray-Curtis, en el cual se observa la formación de 2 grupos, relacionándose entre estaciones cada grupo corresponde a un determinado porcentaje de similitud (especies comunes y como están compuestas sus abundancias), tal como se observa en la Gráfica 6.89.



Fuente: ERM, 2016

Gráfica 6.89 Dendrograma del Índice de Similitud de Bray – Curtis del Área Contractual 4

En el dendrograma se observa que el primer grupo con un porcentaje de similitud de 60% relaciona las estaciones D4 (26.2 m) con I1 (29.4 m) y con 52% ambas en conjunto con respecto a I4 (40.6 m). El segundo grupo a una similitud del 65% relaciona las estaciones D3 (28.8 m) con IC2 (30 m) y en un 60% en conjunto a estas con P1 (21.5 m). Otras estaciones mostraron relación en cada grupo a un menor porcentaje de similitud debido a la cantidad de especies reportadas en una unidad de muestreo.

Entre las especies comunes con similares abundancias del primer grupo se encuentran el poliqueto *Ninoe leptognatha*, el Nemertea I y el ofiuroido *Amphipolus sepultus*, en tanto que los poliquetos *Nephtys incisa* y *Notomastus hemipodus* lo fueron para el segundo grupo.



Este dendrograma muestra una comunidad heterogénea, conformada por “parches” poblacionales con dominancia o no de alguna especie en particular, relacionados a la distribución de los sedimentos y a la influencia de los parámetros fisicoquímicos del medio.

En el Apéndice 6.18 se adjunta un listado de organismos del macrobentos con presencia potencial en el Área Contractual 4 y sus inmediaciones.

6.3.4

Fauna íctica

Los peces, por su valor ecológico y económico, constituyen un elemento importante dentro de las investigaciones. Dentro de los ecosistemas marinos son transformadores de energía, incluso desde fuentes primarias (porque se alimentan de materia orgánica, vegetales, zooplankton, invertebrados y otros peces) (Torruco *et al.*, 1994) y son reguladores energéticos por la habilidad de desplazarse entre los ecosistemas (Yañez *et al.*, 1988). Para el ser humano proveen los siguientes beneficios: fuente de proteína, actividad deportiva y apoyo al turismo. Su estudio ofrece novedosas perspectivas de manipulación tecnológica para la acuicultura. En las aguas de México se han registrado alrededor de 2 692 especies de peces, entre dulceacuícolas, estuarinas y marinas (Lara *et al.*, 1993), y en la región del Golfo 1 057 especies (Espinosa *et al.*, 1999).

Durante la evaluación de pesca exploratoria en el Área Contractual 4 se registraron 10 especies de peces: “pargo huachinango” (*Lutjanus campechanus*), “pega pega” (*Remora remora*), “morena de margen negro” (*Gymnothorax nigromarginatus*), “anguila” (*Ophichthus gomesi*), “conejo” (*Lagocephalus laevigatus*), “raya diablito” (*Raja texana*), “cojinuda” (*Caranx crysos*), “bandera” (*Bagre marinus*), “bota” (*Balistes capricus*), “bacalao” (*Rachycentron canadum*) y “barracuda” (*Sphyraena barracuda*).

Pesca Exploratoria en la Estación PC-1

La primera locación caracterizada fue PC-1, la cual registró una profundidad de 47.4 m. Según el “Boletín Meteorológico” del jueves 14 de abril, las condiciones del Golfo de México para el puerto de Frontera fueron de cielo medio nublado a nublado y ráfagas de vientos del sureste (entre 15 a 30 kph).

Durante la faena de pesca se registraron condiciones ambientales adecuadas para la navegación, con presencia de mar rizado, vientos de ligera intensidad (Escala Beaufort: 1) y cielo nublado (8/8 octas).



Se arribó a la locación PC-1 a las 9:20 horas, y se calaron las redes agalleras a las 9:30 horas. El tiempo de esfuerzo efetivo se totalizó en 1 hora, al término del cual se recogieron las redes, finalizando la maniobra a la 11:05 horas, tal como se registra en la Tabla 6.30. Se estimó una deriva de los aparejos de aproximadamente 210 m con dirección noroeste.

En paralelo, se maniobraron aparejos pasivos de línea, lo cual incluyó el uso de un espinel de profundidad (nylon nº 40) y anzuelo nº 5, calas que se realizaron en dirección noroeste de las redes agalleras.

Tabla 6.30 Datos generales de la pesca exploratoria en la estación PC-1 del Área Contractual 4

Cala	Este	Norte	Hora
Inicio cala	559240	2119988	09:30 a.m.
Fin cala	559379	2119689	11:05 a.m.
Espinel inicial	559046	2119809	09:50 a.m.
Espinel final	559046	2119809	10:50 a.m.

Fuente: ERM, 2016

Para esta pesca exploratoria se utilizaron redes agalleras (o de enmalle), las cuales enmallan o atrapan los peces en las mallas de los paños de red. Las redes se tendieron más o menos verticalmente en la columna de agua mediante un cabo flotante o relinga superior en la parte más alta de la red, y una relinga de plomos en su parte inferior. Los pescadores de la zona utilizan estas redes uniendo varias de ellas en forma serial. Normalmente, la relinga superior queda flotando en la superficie del agua, y la red cuelga por debajo. Otras veces, el cabo flotante puede estar armado de tal manera que se mantenga a cierta distancia por debajo de la superficie, por lo que la red actuaría en una parte más baja de la columna de agua.

Estas redes se dejaron a la deriva para que actúen pasivamente, de manera que los peces, a la hora de atravesar la red, queden atrapados detrás de las agallas.

El “tren” de redes agalleras registró una especie al término del período de cala. Es importante mencionar que estos aparejos presentan un grado de selectividad muy bajo, y, aparentemente, los recursos existentes en la zona presentarían características más demersales, y justamente debido a ello se capturaron ejemplares de tamaño grande con los aparejos de línea (espinel de fondo).

Los registros obtenidos con el espinel de profundidad fueron 7 especies: “pega pega” (*Remora remora*), “cojinuda” (*Caranx crysos*), “anguila” (*Ophichthys gomesi*), “conejo” (*Lagocephalus laevigatus*), “raya diablo” (*Raja texana*), “morena de margen negro” (*Gymnothorax nigromarginatus*) y “pargo huachinango” (*Lutjanus campechanus*).



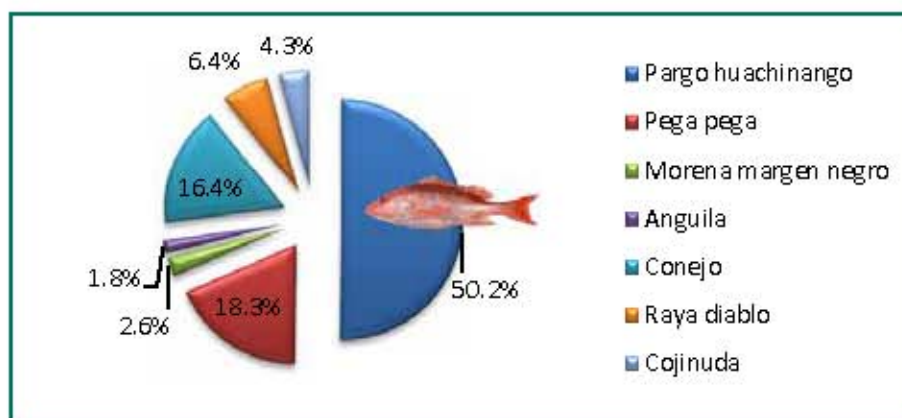
Cabe resaltar que la especie con mayor registro cuantitativo fue el “pargo huachinango”, representando el 50.2% del peso total de la captura para la estación PC-1 (ver Tabla 6.31 y Gráfica 6.90).

Tabla 6.31 *Especies de ictiofauna registradas en la estación PC-1 del Área Contractual 4*

Nombre Común	Nombre Científico
Pega pega	<i>Remora remora</i>
Pargo rojo	<i>Lutjanus campechanus</i>
Morena de margen Negro	<i>Gymnothorax nigromarginatus</i>
Anguila	<i>Ophichthus gomesi</i>
Conejo	<i>Lagocephalus laevigatus</i>
Cojinuda	<i>Caranx crysos</i>
Raya diablo	<i>Raja texana</i>

Fuente: ERM, 2016

Se totalizaron 10.9 kg de capturas en la estación PC-1, cuya distribución porcentual fue la siguiente: 50.2% para el “pargo huachinango”, 18.3% para el “pega pega”, 16.4% para el “conejo”, 6.4% para la “raya diablo”, 4.3% para la “cojinuda”, 2.6% para la “morena de margen negro” y 1.8% para la “anguila”.



Gráfica 6.90 *Composición porcentual por especie de las capturas en la estación PC-1*

La composición por familias también indica una importante variedad de especies. Se identificó una especie representante de las siguientes familias: Echeneidae, Lutjanidae, Muraenidae, Ophichthidae, Tetraodontidae, Rajidae y Carangidae. Esta diversidad indicaría la dominancia de estas especies en las pesquerías locales de Tabasco y Campeche. Es preciso indicar que la pesca de “pargo” y “cojinuda” se desarrolla durante todo el año.



La especie más representativa de esta locación fue el “pargo huachinango” de la familia Lutjanidae. Dicha familia (pargos) constituye uno de los principales recursos pesqueros en las plataformas de la zona tropical y subtropical, gracias a su excelente calidad y alto valor de mercado. De acuerdo con datos de FAO (FAO, 2000), las capturas mundiales de pargos alcanzan las 90 000 toneladas métricas (TM) anuales, solo por la pesca comercial.

Los estado de Tabasco y Campeche aportan el 13.83% de la captura nacional de esta familia (Base de Datos CONAPESCA, Captura Nacional 2015).

En general, las mediciones biométricas de las especies capturadas pueden ser de utilidad para la determinación a futuro de las épocas de reclutamiento, las condiciones de nutrición de las poblaciones de peces objeto de la actividad pesquera, así como el establecimiento de patrones estacionales del tamaño, composición y estado reproductivo de estas poblaciones, entre otros aspectos.

Se estimaron longitudes totales de 79 cm para el “pargo huachinango”, 65 cm para el “pega pega”, 55 cm para la “anguila”, 49 cm para la “morena de margen negro”, 52 cm para el “conejo” y 36 cm para la “cojinuda”, y en el caso de la “raya diablo” se obtuvo una longitud total de 62 cm. Para todos los ejemplares se advierten tallas comerciales de captura, el “pargo huachinango” es una especie que registra capturas en el Golfo de México entre 25 a 100 cm. En el caso del “conejo” se reportan capturas en el Golfo entre 60 a 100 cm. La “raya diablo” es una especie que tiene una talla de captura entre 40 y 53 cm, y cuyo periodo de veda en el Golfo se produce entre el 15 de mayo y el 15 de agosto (Biodiversidad, 2016).

La madurez sexual en los pargos ocurre generalmente cuando alcanzan tallas equivalentes al 35-50% del largo máximo en la población. Sin embargo, tales cifras están sesgadas por el método de análisis. Muchos autores emplean la talla mínima encontrada, la cual es muy variable en cada especie y puede ser excepcional, no representativa de lo que ocurre en la población. Si se utiliza como criterio la talla media de maduración, se observa que en la mayoría de las especies esta es más de 50% de la talla máxima. Solo el *Lutjanus campechanus* madura más tempranamente (33-40%) (Grimes, 1987).

Según la escala de madurez gonadal de ambos géneros (Holden y Raitt, 1975), para el “pargo huachinango” y el “pega pega” se estimó una Fase II, con las características del estado inicio de maduración testicular, observando a nivel macroscópico testículos de tamaño mediano con algunas zonas de color blanquecino a blanco lechoso para el macho (“pargo”). Y para la hembra (“pega pega”) con zonas rosadas y ovarios poco densos al tacto, se observa con claridad el vaso sanguíneo ventral. Para el resto de las especies (“morena de margen negro”, “anguila”, “conejo” y “raya diablo”) se identificaron estadios III, V, IV y I, respectivamente.



Estos resultados determinarían que la mayor parte de la captura obtenida perteneció a una cohorte adulta.

Pesca Exploratoria en la Estación IC- 1

La segunda locación que se caracterizó fue la estación IC-1, la cual registró una profundidad de 31.9 m. Se arribó a la locación IC-1 a las 13:15 horas, y se calaron las redes agalleras a las 13:30 horas. El tiempo de esfuerzo se totalizó en 1 hora, al término del cual se recogieron las redes, finalizando la maniobra a la 14:50 horas (ver Tabla 6.32). Se estimó una deriva de los aparejos de aproximadamente 630 m con dirección este.

En paralelo se maniobraron aparejos pasivos de línea, lo cual incluyó el uso del espinel de profundidad (nylon nº 40) y anzuelo nº 4, calas que se realizaron al noroeste de las redes agalleras.

Tabla 6.32 Datos generales de la pesca exploratoria en la estación IC – 1 del Área Contractual 4

Cala	Este	Norte	Hora
Inicio cala	558372	2104746	13:30 p.m
Fin cala	558998	2104670	14:50 p.m
Espinel inicial	558073	2104979	13:45 p.m
Espinel final	558073	2104979	14:55 p.m

Fuente: ERM, 2016

En esta estación se registraron 6 especies: “barracuda” (*Sphyraena barracuda*), “cojinuda” (*Caranx crysos*), “bandera” (*Bagre marinus*), “pega pega” (*Remora remora*), “bota” (*Balistes capriscus*) y “bacalao” (*Rachycentron canadum*). Las familias representativas fueron Sphyraenidae (“barracuda”), Carangidae (“cojinuda”), Ariidae (“bandera”), Echeineidae (“pega pega”), Balistidae (“bota”) y Rachycentridae (“bacalao”).

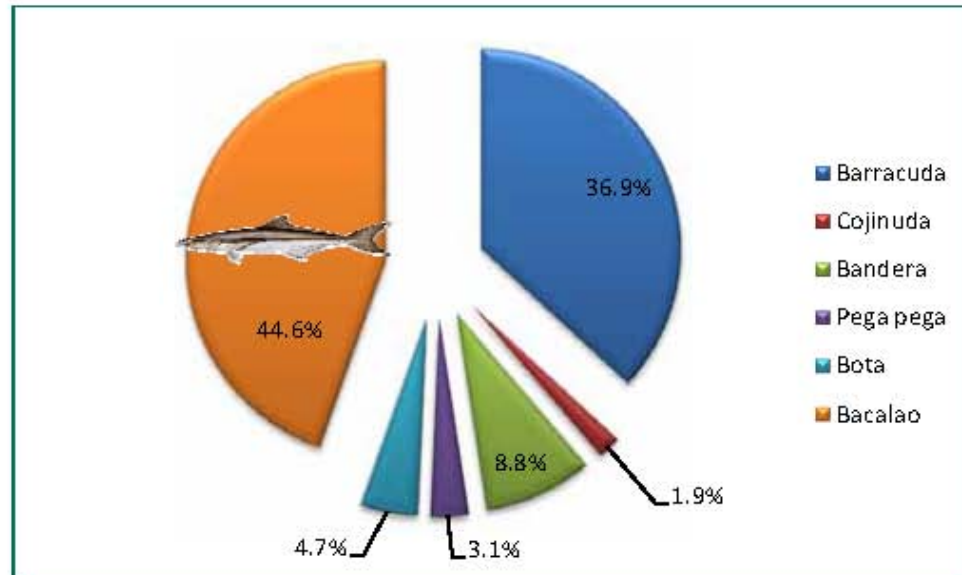
Tabla 6.33 Especies de ictiofauna registradas en la estación IC – 1 del Área Contractual 4

Nombre Común	Nombre Científico
Barracuda	<i>Sphyraena barracuda</i>
Cojinuda	<i>Caranx crysos</i>
Bandera	<i>Bagre marinus</i>
Pega pega	<i>Remora remora</i>
Bota, Ballesta	<i>Balistes capriscus</i>
Bacalao	<i>Rachycentron canadum</i>



Fuente ERM, 2016

Se totalizaron 25.8 kg de capturas en la estación IC-1, cuya distribución porcentual fue la siguiente: 44.6% para el “bacalao”, 36.9% para la “barracuda”, 8.8% para la “bandera”, 4.7% para la “bota”, 3.1% para el “pega pega” y 1.9% para la “cojinuda”, tal como se observa en la Gráfica 6.91.



Fuente ERM, 2016

Gráfica 6.91 Composición porcentual por especie de las capturas en la estación IC-1

El “bacalao” se capturó con la red agallera tipo C, la cual tiene un diámetro de malla de 3 pulgadas. La distribución geográfica de esta especie en el Golfo de México abarca las Zonas I y II. Debido a la característica de su morfología externa frontal, habría sido posible su enmalle en la red C. Se determinó una longitud total de 107 cm y un peso de 11.5 kg. Esta especie también es conocida como “cobia”, y se han registrado capturas entre 110 a 200 cm de longitud total para el Golfo. Habita en fondos de lodo, arena y grava. El ejemplar capturado evidencia la presencia de especies de talla comercial en las cercanías del campo Ichalkil, aún considerando una cercanía relativa para la flota artesanal de Campeche, que se supondría habría sobreexplotado el recurso.

Por otro lado, la pesca pasiva con el espinel de profundidad también obtuvo un resultado positivo, registrándose un ejemplar de “barracuda” (*Sphyraena barracuda*) con 120 cm de longitud total y un peso de 9.5 kg. Esta especie tiende a seguir a los peces más grandes (tiburones) para alimentarse de los restos que dejan conforme van consumiendo sus presas. La distribución geográfica de esta especie también cubre las Zonas I y II del Golfo. También es conocida como “picuda” en el Golfo de México, reportándose capturas de 140 a 200 cm, y siendo una especie que tiene hábitos costeros.



Las demás especies fueron capturadas con la red agallera de 3", con longitudes totales representativas para el comercio local ("cojinuda": 37 cm, "bandera": 48 cm, "pega pega": 62 cm y "bota": 47 cm).

El estado sexual y reproductivo del "bacalao" evidenció un ejemplar hembra con las gónadas hidratadas (E.G.: 5). Los ovarios se presentaron flácidos, a manera de grumos de color amarillento con partes rojas. Para el caso de la "barracuda" se determinó un individuo macho, en estado gonádico I, con los testículos de tamaño mediano, poco denso al tacto, de tonalidad anaranjada rojiza con algunas zonas claras y se observó un desarrollo vascular moderado. Para la "bota" se identificó el género hembra, en estado gonádico V, con presencia de ovarios flácidos y distendidos, observándose algunos ovocitos opácos y maduros.

Las características de la fauna íctica reportada en ambas estaciones de pesca exploratoria del Área Contractual 4 se presenta en el Apéndice 6.19, y los parámetros de caracterización estimados se muestran en la Tabla 6.34.

Tabla 6.34 *Parámetros de caracterización de fauna íctica reportados en el Área Contractual 4*

Parámetro	Unidad	Pega pega	Cojinuda	Bandera	Morena	Anguila	Pargo huachinango
Abundancia Relativa	Nº individuos/hora	3	2	2	2	1	1
Biomasa de Capturas (CPUE)	g/hora	1400.0	476.0	2276.0	288.0	198.0	5500.0
Talla de Capturas	Longitud prom/individuo	64.0	36.5	48.0	48.5	41.0	79.0
Peso de Capturas	Peso promedio/individuo	933.0	476.0	1138.0	150.0	186.0	5500.0
Parámetro	unidad	Conejo	Raya diablo	Bota	Bacalao	Barracuda	
Abundancia Relativa	Nº individuos/hora	1	1	1	1	1	



Parámetro	Unidad	Pega pega	Cojinuda	Bandera	Morena	Anguila	Pargo huachinango
Biomasa de Capturas (CPUE)	g/hora	1800.0	700.0	1200.0	11500.0	9500.0	
Talla de Capturas	Longitud prom/individuo	52.0	62.0	47.0	107.0	129.0	
Peso de Capturas	Peso promedio/individuo	1800.0	700.0	1200.0	11500.0	9500.0	

Fuente: ERM, 2016

En la Tabla 6.34 se muestran las 11 especies capturadas en ambas estaciones y sus respectivos valores de captura y esfuerzo.

Los valores de diversidad relativa fueron de 7 especies/hora para la estación PC-1 y de 6 especies/hora para IC-1, indicando una influencia del tipo de sustrato y la proximidad de la costa con un nivel batimétrico inferior en el caso de la estación IC-1. La locación PC-1 dista unos 56 km de la costa más cercana, mientras que IC-1 se encuentra aproximadamente a 42 km. Además, es preciso indicar que el aparejo de pesca más efectivo para IC-1 fue la red de enmalle (3" de malla), la cual tiene menos selectividad, evidenciando la presencia de una mayor diversidad de especies comerciales; en tanto que en la estación PC-1 se reportaron capturas con el espinel de profundidad, también es un arte de pesca pasivo pero más selectivo en comparación con las redes de enmalle.

Con respecto a la abundancia relativa, se estimó el máximo registro para el "pega pega", calculándose 3 individuos/hora, seguido de la "cojinuda", la "bandera" y la "morena" con 2 individuos/hora cada especie.

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) se consideró representativa para el "bacalao" y el "pargo", estimándose 11 500 y 5 500 g/h respectivamente. Las demás especies obtuvieron valores inferiores a los 1 800 g/h. Este índice se encontraría determinado por el tamaño de los ejemplares capturados dado que el esfuerzo de pesca se estandarizó en una hora.

El "bacalao" registró una longitud promedio de 107 cm, el "pargo" reportó 74 cm, para el "pega pega" se estimó 64 cm, la "morena de margen negro" promedió 49 cm, para la "anguila" se estimó 55 cm, el "conejo" obtuvo 52 cm, la "raya diablo" promedió 62 cm, la "cojinuda" midió 37 cm, la "bandera" obtuvo 48 cm, la "bota" midió 47 cm, y la "barracuda" obtuvo una longitud promedio de 120 cm.



El “bacalao” registró un peso promedio de 11 500 g, el “pargo” reportó 5 500 g, para el “pega pega” se estimó 933 g, la “morena de margen negro” promedió 150 g, para la “anguila” se estimó 186 g, el “conejo” obtuvo 1 800 g, la “raya diablo” promedió 700 g, la “cojinuda” pesó 476 g, la “bandera” obtuvo 1 138 g, la “bota” pesó 1 200 g, y la “barracuda” obtuvo un peso promedio de 9500 g.

Las 11 especies reportadas no presentan tallas mínimas de captura vigente, sugiriéndose estudios de esfuerzo pesquero y artes de pesca selectivos para determinar las mejores estrategias de manejo de estos recursos. La “raya diablo” mantiene un periodo de veda temporal fija en el Golfo de México entre el 15 de mayo y el 15 de agosto.

Los resultados obtenidos para el Área Contractual 4 evidencian zonas de alta diversidad de especies de escama artesanal. Cabe señalar que también se obtuvieron registros de los elasmobranquios (raya diablo). No se avistaron embarcaciones artesanales en los alrededores de las estaciones PC-1 e IC - 1.

Todas las especies capturadas se encuentran incluidas en la última Carta Nacional Pesquera de México; asimismo, se reportan en las Zonas I, II y III del Golfo de México.

No se obtuvo capturas de especies acuáticas amenazadas, en peligro de extinción o con algún nivel de protección ambiental (NOM-059-SEMARNAT-2010).

Laguna de Términos

La importancia de Laguna de Términos radica en que este cuerpo de agua está considerado como uno de los ecosistemas lagunares estuarinos más extensos e importantes de México, tiene 2 007 km² de superficie lagunar incluyendo sus sistemas fluvio-lagunares asociados (SEMARNATCAM).

En cuanto a la comunidad de peces, un primer elemento de comparación lo presenta Lara-Domínguez *et al.* (1993) quienes informan 586 especies de peces para el sur del Golfo de México lo que comparado con los resultados de Ayala-Pérez *et al.* (2002) (La comunidad de peces de la Laguna de Términos) quiere decir que en la Laguna de Términos al menos se encuentra el 18.3% de las especies, lo que puede interpretarse como muy alto comparando magnitudes de extensión. Cabe destacar que la única especie que no se encuentra en este listado es *Gimnotorax saxicola*.

Esta laguna funciona como hábitat de una diversa comunidad bentónica donde la macrofauna acuática más importante la constituyen los peces, dado sus características de abundancia, diversidad y distribución en espacio y tiempo.



Estos organismos utilizan de manera programada los distintos hábitats, para desarrollar parte de sus ciclos de vida, unos se consideran recursos pesqueros actuales o potenciales y otros son el vehículo de grandes cantidades de energía, lo cual se traduce en un gran valor ecológico (Soberón-Chávez 1984).

La Laguna de Términos tiene incidencia directa en la productividad pesquera de la Sonda de Campeche ya que se ha comprobado que gran cantidad de especies de peces comerciales utilizan esta área en algún momento de su ciclo de vida (Yañez-Arancibia y Lara-Domínguez, 1983).

Sonda de Campeche

La Sonda de Campeche forma parte de la plataforma continental al noroeste de la Península de Yucatán, al sur del Golfo de México. Se extiende en un área de aproximadamente 90 000 km², desde los 200 m de profundidad hasta la línea de playa (Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, 1985).

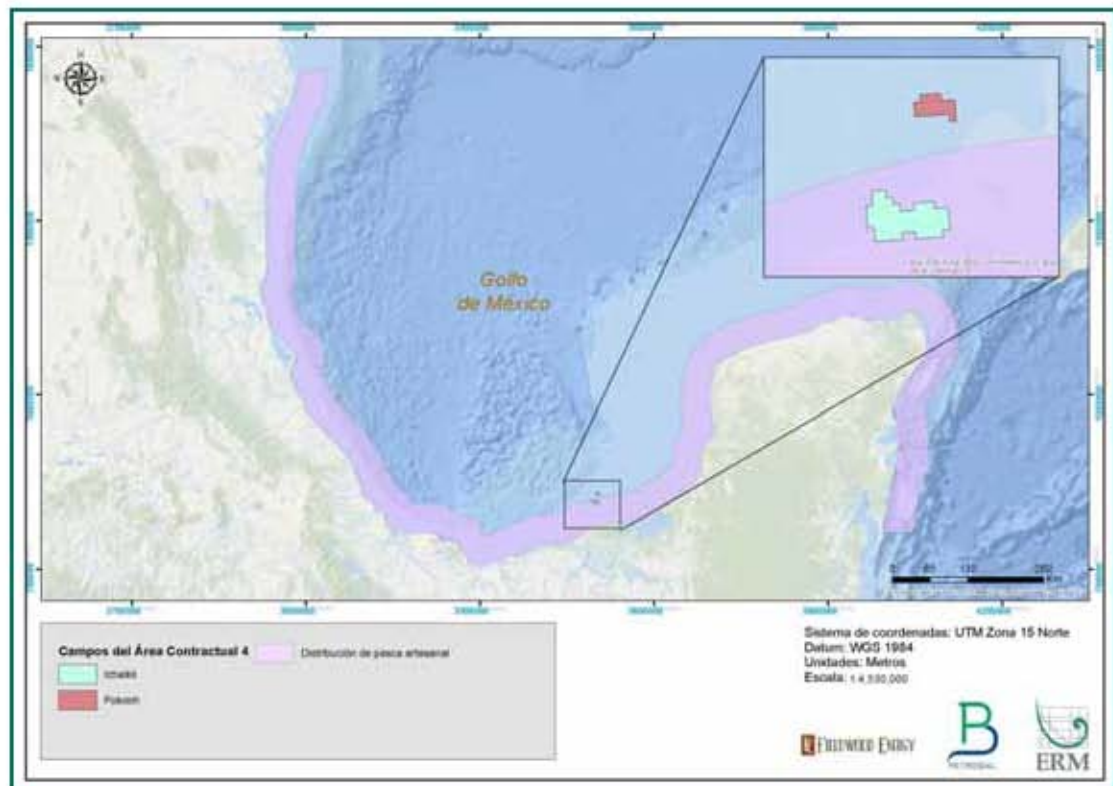
Se han reportado 152 especies de peces, 7 % son especies pelágico-oceánicas, 16% son pelágico-costeras, 41% son de fondos calcáreos arrecifales y 36% típicas de fondos blandos. Se destaca que el 49% del total de estas especies son marinas eurihalinas y tienen algún tipo de relación bioecológica con ecosistemas de aguas someras protegidas (por ejemplo, Laguna de Términos).

En estas complejas comunidades, el análisis de frecuencia, abundancia numérica y biomasa, para cada una de las 152 especies, señala que 32 especies son consideradas típicas y dominantes de la región de los estudios: *Harengula jaguana*, *Chloroscombrus chysurus*, *Polydactylus octonemus*, *Eucinostous gula*, *Diplectrum radiale*, *Synodus foetens*, *Arusfelis*, *Cynoscion nothus*, *Prionotus punctatus/beani*, *Syacium gunteri*, *Trachurus lathamii*, *Sardinella aurita*, *Serranus atrobranchus*, *Priacanthus arenatus*, *Symphurus plagosa*, *Cynoscion arenarius*, *Lagocephalus laevigatus*, *Citharichthys spilopterus*, *Porichthys porosissimus*, *Bagre marinus*, *Etropus crossotus*, *Eucinostomus argenteus*, *Upeneus parvus*, *Lutjanus synagris*, *Stellifer colonensis/lanceolatus*, *Trichurus lepturus*, *Cetegraulis edentulus*, *Selene setapinnis*, *Stenotomus caprinus*, *Opisthonema oglinum*, *Haemulon aurolineatum* (Yañez-Arancibia y Sánchez-Gil, 1985).

Se explican estos importantes conceptos por la influencia biológica que pueden aportar en la fauna íctica del Área Contractual 4, inclusive varias de las especies mencionadas en un estudio del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Autónoma de México en la Sonda de Campeche se han reportado durante las actividades de pesca exploratoria, como la “bandera” (*Bagre marinus*) y la “raya diablo” (*Raja texana*). También es preciso indicar que por lo general la pesca artesanal en el Golfo se realiza en los primeros 50 km mar afuera (Cisneros-Mata, M., 2012).



En relación a lo mencionado anteriormente, dentro de la zona de pesca artesanal (50 km) se incluye la estación de pesca exploratoria IC-1 (Pozo Ichalkil), evidenciando la presencia de recursos pesqueros accesibles a los métodos de pesca artesanales, y este hecho se comprobó con la captura de 6 especies con la red de enmalle (3" de malla), aparejo que es empleado también por los pescadores de las comunidades de Campeche (Emiliano Zapata, Barra de San Pedro y Nuevo Campechito). Asimismo, según las entrevistas realizadas a pescadores artesanales locales, estos manifiestan que sus zonas de pesca abarcan inclusive sectores más allá de los 100 km (ver Figura 6.56).



Fuente: ERM, 2016 con base en Cisneros-Mata, M. 2012.

Figura 6.56 Pesca exploratoria y ubicación de la zona de pesca artesanal en el Área Contractual 4

En las faenas de pesca no se evidenciaron embarcaciones artesanales en las estaciones PC-1 o IC-1, pero según las capturas reportadas es muy probable la presencia de recursos comerciales en las proximidades de los campos Ichalkil y Pokoch. También es preciso recalcar que dada la presencia de plataformas en los alrededores del Área Contractual 4 es posible que se constituyan en “atractores” para algunas especies bentónicas, especies que asumen tales infraestructuras acuáticas como zonas de protección y alimentación.



Los pescadores entrevistados en Campeche manifiestan que en sus zonas de pesca (más allá de los 100 km) capturan “pargo huachinango”, “bandera”, “bota” y “bacalao” empleando espineles de profundidad de hasta 1 200 anzuelos. Estas especies también han sido reportadas durante la evaluación de pesca exploratoria.

En Ciudad del Carmen también se realizaron entrevistas y evaluaciones en las marisquerías para evidenciar los recursos estacionales y las características de las comunidades de pescadores. Se reportó la captura del “camarón 7 barbas” (*Xiphopenaeus kroyeri*), la “barracuda” (*Sphyraena barracuda*), la “cojinuda” (*Caranx crysos*), la “bandera” (*Bagre marinus*), la “bota” (*Balistes capricus*), el “bacalao” (*Rachycentron canadum*), el “peto” (*Scomberomorus* sp.), el “medregal” (*Seriola durmerli*), entre otras especies. Estas capturas las realizan con redes arrastreras y espineles, tanto en la Laguna de Términos como en las zonas marinas, y son destinadas para el autoconsumo o a las marisquerías en la misma ciudad.

6.3.5

Aves Marinas

El Golfo de México es un área de gran diversidad de especies de aves y zona importante en las rutas migratorias del Este del continente americano. En el Golfo existen 228 especies de aves, de las cuales 50 (22.3%) son marinas, 112 (50%) acuáticas y 62 (27.7%) terrestres. Las aves marinas obtienen su alimento principalmente del mar, las terrestres se alimentan básicamente de recursos terrestres y las acuáticas son las acuáticas-playeras que obtienen su alimento del medio acuático en la zona costero-marina (Station *et al.*, 20014. En: INE-SEMARNAT, 2004).

Las aves marinas tienen una amplia distribución en los ambientes marinos; algunas especies son pelágicas y pasan gran parte de su vida en mar abierto e islas oceánicas, otras se les conoce como aves marinas costeras y permanecen casi la totalidad de su tiempo en el límite de la plataforma continental, llegando a incursionar mar adentro solo para obtener su alimento (Schreiber y Burger, 2002).

Las aves marinas son un componente clave de los ecosistemas marinos y el monitoreo adecuado de sus poblaciones proporciona información importante para su conservación (Schreiber y Burger, 2002).

6.3.5.1

Condiciones ambientales durante la evaluación marina

Durante la evaluación se reportaron condiciones favorables del estado del mar, registrándose valores entre 1 y 2 en escala Douglas. Por otro lado, las condiciones atmosféricas indicaban que el viento registró valores entre 1 y 3 en la escala de Beaufort. El cielo estaba despejado y sin presencia de lluvias durante el recorrido, siendo la visibilidad de 3 a 6 millas náuticas.



6.3.5.2

Resultado de los avistamientos durante la evaluación marina

Para realizar los avistamientos de aves en el Área Contractual 4 se recorrió con la embarcación el derrotero de navegación preestablecido. Los avistamientos de aves se realizaron en sesiones de observación, durante el recorrido del derrotero de la embarcación. Los avistamientos de aves fuera del derrotero del buque se denominan observaciones fuera de sesión (por ejemplo, durante el traslado entre estaciones de muestreo, durante el muestreo fisicoquímico y biológico, paradas técnicas de la embarcación).

El derrotero establecido recorre gran parte del área del proyecto, siendo un total de 35 millas náuticas (mn), y solo 3 mn correspondieron a avistamientos en 3 sesiones de observación. En 32 mn no se registraron aves. Se determinó 3 avistamientos efectivos y un total de 3 individuos correspondientes a 3 especies agrupadas en 3 familias y 3 órdenes taxonómicos, tal como se observa en la Tabla 6.35. En los avistamientos fuera de sesión de observación se registraron 3 especies de aves (ver Apéndice 6.20).

Tabla 6.35 *Especies de aves registradas en en el Área Contractual 4*

Orden	Familia	Especie	Nombre común
Charadriidae	Fregatiidae	<i>Fregata magnificens</i>	Fragata tjereta
Pelecaniformes	Sulidae	<i>Sula leucogaster</i>	Piquero marrón
Paseriforme	Paseridae	<i>Paseriforme sp</i>	
Charadriidae	Scolopacidae	<i>Calidris sp</i>	Playero *
Charadriidae	Stercorariidae	<i>Stercorarius pomarinus</i>	Salteador robusto *
Charadriidae	Fregatiidae	<i>Fregata magnificens</i>	Fragata tjereta *

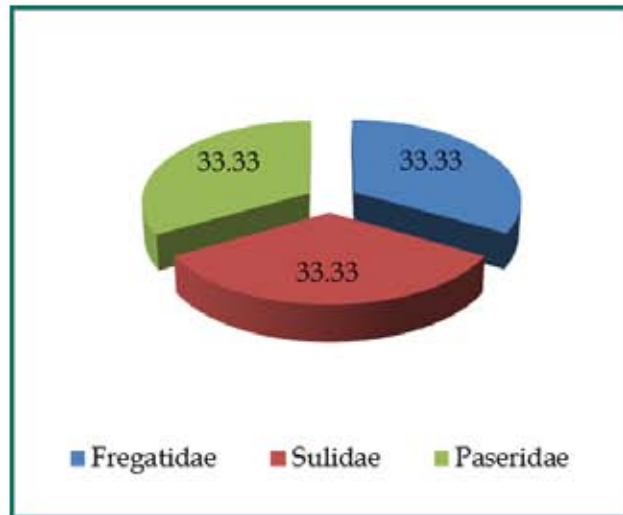
Nota: (*) registros de aves fuera de sesiones de observación

Fuente: ERM, 2016

Las especies observadas durante las sesiones de observación fueron: “fragata tjereta” (*Fregata magnificens*), “piquero marrón” (*Sula leucogaster*) y una especie no identificada de la familia Paseridae (ver Figura 6.57 y Figura 6.58).

Mientras que durante las observaciones fuera de sesión destacaron la “fragata tjereta” (*Fregata magnificens*), el “salteador robusto” (*Stercorarius pomarinus*) y el “playero” (*Calidris sp.*).

La relación de aves marinas que ocurren en el Golfo de México se adjunta en el Apéndice 6.20.



Fuente: ERM, 2016

Figura 6.57 Proporción de las familias de aves registradas en el Área Contractual 4

6.3.5.3 Ubicación y distribución de las especies registradas

Las tres especies marinas identificadas ocurren en el Golfo de México y están distribuidas en distintos tipos de hábitat. Por ejemplo, *Sula leucogaster* y *Stercorarius pomarinus* son especies pelágicas, vale decir se les encuentra alejadas de la costa preferentemente, aunque la primera pueda observarse en islas. Las especies de la familia Paseridae y Scolopacidae son especies que, si bien se pueden encontrar en ambientes pelágicos, también pueden ser observadas muy cerca de la costa, en playas y bahías alrededor del Golfo (ver Tabla 6.36).

Tabla 6.36 Aves registradas y su hábitat de uso en el Golfo de México

Especie	Autor	Año	Habitat-Biología
<i>Fregata magnificens</i>	Mathews	1914	Playa y costa; pelágico; islas
<i>Sula leucogaster</i>	Boddaert	1783	Pelágico; bahía y cercano a la costa; islas
<i>Stercorarius pomarinus</i>	Temminck	1815	Pelágico

Fuente: ERM, 2016



6.3.5.4 Diversidad de especies registradas

Del análisis de diversidad de los registros de aves, se obtuvo valores para los siguientes índices: Shannon y Wiener ($H' = 0.023$ bits/individuos) y Equidad de Pielou ($J = 0.015$). Ambos reflejan la baja diversidad de aves en la zona del proyecto.



Fuente: ERM, 2016

Figura 6.58 Distribución espacial de especies de fauna marina registradas en el Área Contractual 4

6.3.5.5 Categoría de conservación

En cuanto a la Legislación Nacional, NOM-059-SEMARNAT-2010, ninguna de las especies de aves registradas se encuentra incluida en alguna categoría de protección. Cabe destacar que en estatus de Peligro de Extinción (P) se incluyen 20 especies de las cuales 14 de ellas son residentes. En la categoría para especies sujetas a Protección Especial (Pr) se incluyen 12 especies, en el estatus de especies Amenazadas (A) se consideran 55 especies y como especies Raras (R) se registran 93 especies.

En las listas Internacionales, la lista de la UICN incluye a todas las especies de aves registradas en el área de evaluación en la categoría de especies de Preocupación Menor (LC), vale decir que no existe ningún peligro sobre sus poblaciones.



Para el caso de los Apéndices de CITES (2015), ninguna de las especies está incluida, y de manera similar con los Apéndices de la CMS (2015).

Es importante señalar que las especies registradas en el área de evaluación no son endémicas del Golfo de México.

En la Tabla 6.37 se detalla el estado de conservación nacional e internacional de las especies registradas en el Área Contractual 4.

Tabla 6.37 *Categoría de Conservación de las aves registradas en el Área Contractual 4*

Especie	Nombre común	NOM-59	UICN	Endemismo
<i>Fregata magnificens</i>	Fragata tijereta	SC	LC	No
<i>Sula leucogaster</i>	Piquero marrón	SC	LC	No
<i>Stercorarius pomarinus</i>	Salteador robusto *	SC	LC	No
Nota: Sin Categoría (SC). Preocupación menor (LC)				

Fuente: ERM, 2016

La zona costera correspondiente al área del Proyecto no registra ningún área protegida. Las Áreas Naturales Protegidas reconocidas por la legislación nacional más cercanas son la “Reserva de Biósfera de los Pantanos de Centla” (ubicada a 40 km); además del “Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos” (a 35 km de distancia), ambos al sur de la ubicación del campo Ichakil. Estas áreas son consideradas como sitios RAMSAR⁹ para la conservación de los humedales y sus recursos. Asimismo, son consideradas como Áreas Importantes para la Conservación de Aves (AICA¹⁰), Pantanos de Centla (AICA 156) y Laguna de Términos (AICA 170).

6.3.6 Mamíferos Marinos

Los mamíferos marinos son una parte integral de la fauna marina y costera de las aguas tropicales y subtropicales del Golfo de México y el Mar Caribe. En el Golfo se ha registrado la presencia de 29 especies de mamíferos marinos: 28 especies de cetáceos (ballenas y delfines) y una especie de sirenio (manatí) (INE-SEMARNAT, 2004).

En la zona del Golfo se han realizado muy pocos estudios de mamíferos marinos (Ortega-Ortiz *et al.*, 2004), en especial de las toninas, que son un depredador

⁹ <http://www.ramsar.org/es>

¹⁰ <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicas.html>



potencial de gran importancia como último eslabón de las cadenas tróficas (Kelly, 1983; Leatherwood y Reeves, 1990).

Solo las toninas y los delfines moteados del Atlántico se encuentran comúnmente cerca de la costa, sobre la plataforma continental, variando su presencia estacional dependiendo de la época del año y de la disponibilidad del alimento en función de la productividad de los ecosistemas. Algunas especies oceánicas, como el “delfín tornillo” y el “delfín de dientes rugosos”, han sido registradas en la plataforma nerítica de Yucatán y en el litoral de Tabasco (INE-SEMARNAT, 2004).

En el Golfo, la profundidad es la variable ambiental con mayor influencia en la distribución de los cetáceos. Se han observado diferencias significativas en la profundidad de las regiones en las que habitan las diferentes especies (Davis *et al.*, 1998; Baumgartner *et al.*, 2001; Davis *et al.*, 2002; Ortega-Ortiz, 2002), por lo que la mayoría de las especies habitan aguas oceánicas con profundidad mayor a 200 m. No obstante, incluso las “toninas” *Tursiops truncatus* pueden acercarse a lagunas costeras y estuarios.

6.3.6.1 *Condiciones ambientales durante la evaluación marina*

Las observaciones de aves, mamíferos y tortugas marinas se realizaron de manera simultánea, reportándose las mismas condiciones atmosféricas y marinas durante la evaluación.

6.3.6.2 *Resultado de los avistamientos durante la evaluación marina*

La evaluación de mamíferos marinos se realizó el día 13 de abril de 2016, siendo el esfuerzo de observación marina de 5 horas y 30 minutos, recorriéndose un total de 35 millas de forma paralela a la costa (ver Figura 6.58).

Los avistamientos de mamíferos marinos se hicieron tanto dentro como fuera de sesión. No se reportó especie alguna de mamíferos en las sesiones de observación realizadas. Sin embargo, durante los avistamientos fuera de sesión se registró una sola especie: el “delfín manchado pantropical o delfín moteado” (*Stenella artenuata*).

6.3.6.3 *Composición y abundancia de las especies registradas*

En el Área Contractual 4, cerca al campo de Ichakil, se hizo el único registro de mamíferos marinos, 4 individuos de la especie “delfín pantropical o delfín moteado” (*Stenella artenuata*) destacando la presencia de un ejemplar juvenil (ver Tabla 6.38).



Tabla 6.38 *Mamíferos Marinos registrados en el Área Contractual 4*

Orden	Familia	Especie	Observación
Cetacea	Delphinidae	<i>Stenella attenuata</i>	Fuera de sesión

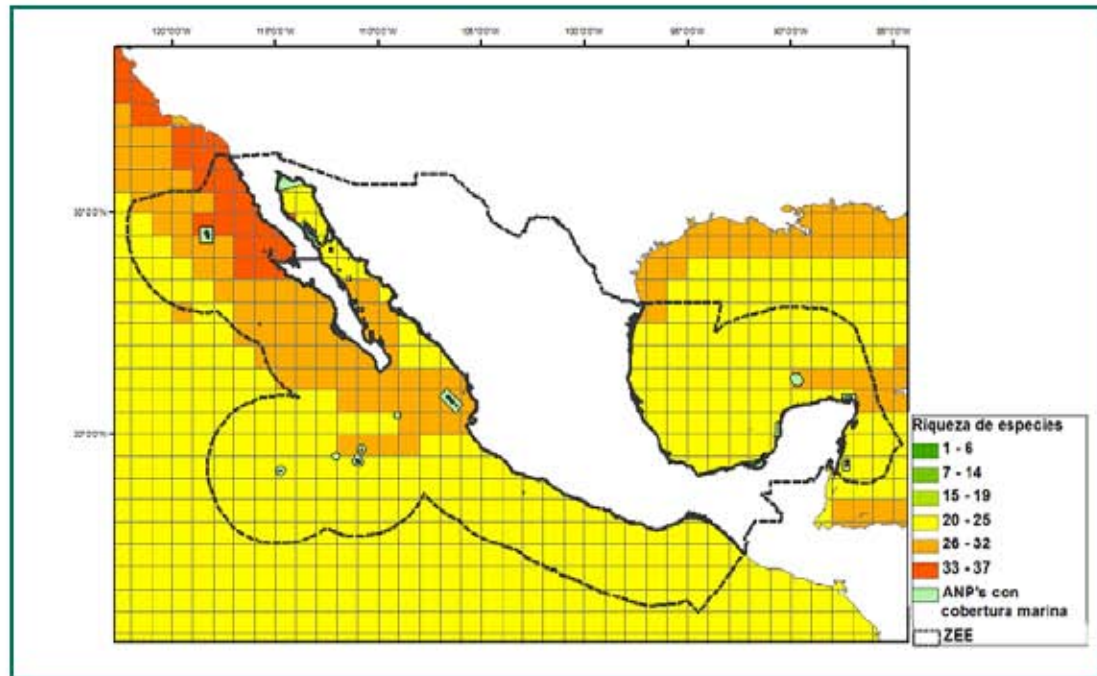
Fuente: ERM, 2016

6.3.6.4 Ubicación y distribución de las especies registradas

La zona que presenta la mayor riqueza de especies de mamíferos marinos es el Noreste del Pacífico Mexicano con un valor máximo de 36 especies, seguido por el Golfo de California con 31 especies, el Pacífico Tropical con 28 especies y finalmente el Golfo de México y Caribe Mexicano con 27 especies (ver Figura 6.59).

Solo tres especies habitan normalmente la región nerítica sobre la plataforma continental: la “tonina” (*Tursiops truncatus*), el “delfín moteado del Atlántico” (*Stenella frontalis*) y el “delfín de dientes rugosos” (*Steno bredanensis*) (Delgado-Estrella, 1994; Jefferson y Schiro, 1997; Würsig *et al.*, 2000; Ortega-Ortiz, 2002; Fulling *et al.*, 2003).

En cuanto a los resultados obtenidos en la evaluación marina se corrobora la presencia del “delfín pantropical” o “delfín moteado” (*Stenella attenuata*) que fue encontrado aproximadamente a 6 mn de la costa.



Fuente: Tomado de Würsig et al., 2000

Figura 6.59 *Riqueza de mamíferos marinos en la Zona Económica Exclusiva de México*

6.3.6.5 *Diversidad de especies registradas*

México es uno de los países más diversos en especies marinas en particular. Su riqueza de especies es el resultado de la interrelación de varios factores como la posición geográfica, la variedad de ambientes marinos y costeros, la circulación general de las corrientes marinas, las variaciones espacio-temporales de estas corrientes y la historia geológica del país (De la Lanza, 1991 en Torres *et al.*, 1995).

Los patrones de riqueza de los mamíferos marinos en el Golfo muestran que las zonas establecidas como áreas de importancia para estas especies concuerdan con las zonas de surgencia, productividad primaria y pesca.

De los resultados obtenidos se puede concluir que la diversidad de mamíferos marinos en esta zona es muy baja.

La relación de mamíferos marinos que ocurren en el Golfo de México se adjunta en el Apéndice 6.21.

6.3.6.6 *Categoría de conservación*

En cuanto a la Legislación Nacional, NOM-059-SEMARNAT-2010, el “delfín manchado pantropical” se encuentran en la categoría de Sujetas a Protección (Pr).



En la lista de la UICN se incluye a las especies registradas en la categoría de Preocupación Menor (LC), vale decir que no existe ningún peligro sobre sus poblaciones. Para el caso de CITES, ninguna especie está incluida en los Apéndices del año 2015, y de manera similar ocurre con los Apéndices de la Convención de Bonn o CMS.

En la Tabla 6.39 se muestra el estado de conservación nacional e internacional de las especies reportadas en el Área Contractual 4.

Tabla 6.39 *Categoría de Conservación de los mamíferos marinos registrados en en el Área Contractual 4*

Especie	Nombre común	NOM-59	UICN	Endemismo
<i>Stenella attenuata</i>	Delfín manchado pantropical, Delfín moteado	Pr	LC	No

Nota: En Peligro (P); Especies en peligro (EN).

Fuente: ERM, 2016

Margalef 1971 (en Jefferson y Lynn, 1994) indicó muy pocos avistamientos en una pequeña porción suroeste del Atlántico Norte, que en condiciones tales como la ausencia de aves y el avistamiento de peces voladores, y la escasez de barcos de pesca, sugieren la baja productividad de dicha área. Para el caso del Área Contractual 4, se observaron las mismas condiciones mencionadas, lo cual reflejaría una menor presencia de predadores tope, aves y mamíferos marinos.

6.3.7 Tortugas Marinas

En la zona costera del Golfo de México se encuentra una gran diversidad de hábitats costeros de alta productividad que son sistemas interconectados, como bahías, deltas, lagunas costeras y estuarios, humedales, pastos marinos, y arrecifes de coral. Esta diversidad de ambientes permite alojar una importante cantidad de especies marinas y terrestres que le dan mayor valor a la zona costera (CONANP, 2013).

México se distingue por compartir el hábitat de 10 de las 11 variedades de tortugas marinas que existen en la actualidad. La única tortuga ausente es *Natator depressus* circunscrita a la región australiana. En el Golfo de México se presentan 5 especies, en orden de abundancia: “tortuga blanca” (*Chelonia mydas*), “tortuga caguama” (*Caretta caretta*), “tortuga carey” (*Eretmochelys imbricata*), “tortuga lora” (*Lepidochelys kempi*) y “tortuga laúd” (*Dermochelys coriacea*) (INE-SEMARNAT, 2004).

A nivel mundial, las poblaciones de las diferentes especies de tortugas marinas han disminuido considerablemente, y son las actividades antrópicas que modifican y degradan el hábitat, actividades tales como la pesca excesiva, el comercio ilícito de



estas especies, la captura y sacrificio de hembras anidadoras, y la captura incidental de juveniles y adultos.

Del 12 al 13 de abril de 2016, se realizó la evaluación de tortugas marinas en el Área Contractual 4. Es importante mencionar que las tortugas marinas son muy difíciles de avistar, más aún cuando se encuentran presentes en el mar (Wennemer *et al.*, 1998), que los avistamientos de tortugas marinas durante cruceros de investigación son muy escasos (Wennemer *et al.*, 1998), y que ningún avistamiento durante el recorrido no indica la ausencia de tortugas en la zona evaluada.

6.3.7.1 *Condiciones ambientales durante la evaluación marina*

Las observaciones de aves, mamíferos y tortugas marinas se realizaron de manera simultánea, reportándose las mismas condiciones atmosféricas y marinas durante la evaluación.

6.3.7.2 *Resultado de los avistamientos durante la evaluación marina*

Se recorrieron 35 mn, lo cual representó un esfuerzo de muestreo de aproximadamente 5 horas de observaciones continuas. No se registró ningún individuo de tortuga marina en el Área Contractual 4. Sin embargo, durante las observaciones fuera de sesión realizadas los días 12 y 13 de abril se logró avistar un ejemplar que correspondería a la especie “tortuga laúd” o “tortuga dorso de cuero” (*Dermochelys coriacea*).

El primer ejemplar se observó durante el recorrido del barco hacia el campo Pokosh, aproximadamente a 24 mn. Era un ejemplar adulto y se encontraba con dirección sur, no se obtuvo registro fotográfico del mismo.

El segundo ejemplar, también era un ejemplar adulto y se le apreció en buenas condiciones. Este ejemplar fue observado durante las actividades de toma de muestras fisicoquímicas. El ejemplar se acercó al barco lentamente y posteriormente se sumergió, se logró obtener un registro fotográfico (ver Figura 6.58).

6.3.7.3 *Composición y abundancia de las especies registradas*

Acorde a los resultados fuera de sesión se tiene solo una especie con un individuo, dentro del Área Contractual 4.

Las características de las tortugas marinas que ocurren en el Golfo de México, su hábitat y su alimentación, las playas importantes de anidación, la temporada de anidación, el período de mayor anidación, el promedio de huevos por nido y el período de incubación se detallan en el Apéndice 6.22.



6.3.7.4 Ubicación y distribución de las especies

El INE-SEMARNAT (2004) indica que algunas especies reproducen en las playas del Golfo de México, tal es el caso de las playas de Veracruz, en donde puede anidar especies como “tortuga lora” (*Lepidochelys kempii*), “tortuga blanca” (*Chelonia mydas*), “tortuga Carey” (*Eretmochelys imbricata*), “tortuga caguama” (*Caretta caretta*) y “tortuga laúd” (*Dermochelys coriacea*) (ver Tabla 6.40).

Tabla 6.40 Tortugas que ocurren en el Golfo de México

Taxa	Especie	Autor	Año
Chelonidae	<i>Caretta caretta</i>	Linnaeus	1758
Chelonidae	<i>Chelonia mydas</i>	Linnaeus	1758
Chelonidae	<i>Eretmochelys imbricata</i>	Linnaeus	1758
Chelonidae	<i>Lepidochelys kempii</i>	Gaman	1880
Dermochelyidae	<i>Dermochelys coriacea</i>	Vyell	1761

Fuente: INE-SEMARNAT, 2004

En el ámbito correspondiente a las costas del Área Contractual 4 no se ha encontrado evidencia de zonas de anidación de tortugas.

Las tortugas marinas son especies neríticas, es decir que se les encuentran distribuidas dentro del espacio correspondiente al zócalo continental, en el cual desarrollan parte de su ciclo de vida.

6.3.7.5 Diversidad de especies registradas

La escasa presencia de registros durante los días de evaluación en el Área Contractual 4, no implica la inexistencia de individuos de otras especies, y estaría asociada a la estacionalidad, la baja oferta alimenticia en la zona y a las condiciones ambientales desfavorables para su avistamiento. Por tanto, la diversidad durante las evaluaciones es igual a cero.

6.3.7.6 Categoría de conservación

La legislación Mexicana protege a todas las especies de tortugas marinas registradas en su jurisdicción, las cuales se encuentran en situación de Peligro de Extinción (P), según NOM-059-SEMARNAT-2010. Asimismo, desde el año 2000 México es signatario de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT), por lo que adquirió compromisos internacionales para asegurar la conservación de estas especies desde un punto de vista regional.



Actualmente, todas las especies de tortugas marinas que ocurren en el Golfo de México se encuentran en la categoría de En Peligro (EN) de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (2015), además en el Apéndice I de CITES y el Apéndice I de la CMS.

En la Tabla 6.41 se detalla el estado de conservación nacional e internacional para cada una de las especies que ocurren en el Golfo de México.

Tabla 6.41 *Categoría de Conservación de las tortugas marinas que ocurren en el Golfo de México*

Especie	Nombre común	NOM-59	UICN	CITES	CMS	Endemismo
<i>Lepidochelys kempii</i>	Tortuga lora	P	EN	I	I	No
<i>Chelonia mydas</i>	Tortuga blanca	P	EN	I	I	No
<i>Eretmochelys imbricata</i>	Tortuga carey	P	EN	I	I	No
<i>Caretta caretta</i>	Tortuga caguama	P	EN	I	I	No
<i>Dermochelys coriacea</i>	Tortuga laúd	P	EN	I	I	No

Nota: En Peligro (P); Especies en peligro (EN).

Fuente: ERM, 2016

Las temporadas de anidación varían según la especie; sin embargo, los períodos de anidación oscilan entre abril y diciembre, y en algunos casos enero. Quizás durante la evaluación se registró el inicio de la temporada de anidación de tortugas en el Golfo.

6.4. Efectos biológicos

6.4.1 Presencia de metales pesados en el sedimento marino

En las zonas costeras y especialmente en las áreas próximas a los estuarios, la presencia de metales pesados en el sedimento, su concentración y su continua introducción, se realiza principalmente por la descarga y el aforo de los ríos. Las aguas de escorrentías superficiales, las corrientes locales, geodinámica regional, así como el tráfico marítimo de diferentes tipos de embarcaciones, las actividades relacionadas a los hidrocarburos, las descargas industriales, las actividades industriales y mineras en zonas altas de las diversas cuencas hidrográficas, son posibles causas de que diversos contaminantes puedan acumularse en el sedimento marino y registrarse en concentraciones con potencial de generar efectos biológicos potencialmente dañinos (bioacumulación, toxicidad, mortalidad, disminución de la biodiversidad, entre otros).



Entre los metales pesados, el mercurio, cobre, níquel, plomo, cobalto, cadmio, bario, etc., se presentan como los metales más tóxicos en concentraciones excesivas para diversos organismos acuáticos. Esta toxicidad puede generarse por la movilización de los metales a través de la red trófica y su posterior bioacumulación producto de la ingestión de organismos que presenten elevadas concentraciones de estos metales en sus órganos. Es importante mencionar que la toxicidad de los metales pesados no se da por sus características físicas y/o químicas *per se*, ni por su presencia o ausencia en el agua, sedimentos y/o los diversos organismos, poblaciones y comunidades presentes en el ecosistema; sino por la elevada concentración y/o configuración química (especie química) en la que se puedan encontrar.

Los metales pesados constituyen uno de los contaminantes más importantes en el medio ambiente debido a su elevada persistencia y toxicidad, a diferencia de muchos compuestos orgánicos sintéticos usados en la industria, medicina y agricultura. Los metales traza forman parte de los ciclos biogeoquímicos naturales. Algunos de estos metales pesados son móviles lo que facilita su transporte y disposición en fuentes lejanas a donde se generan, cuando el carácter biogeoquímico del ambiente depositacional cambia, algunos aspectos fisicoquímicos de los sedimentos como el tamaño de grano y la presencia de materia orgánica predisponen la presencia de estos elementos y facilitan su precipitación y acumulación, estos cambios fisicoquímicos se pueden ver favorecidos por causas naturales o antropogénicas (Ramírez-Elías *et al.*, 2005).

Los principales procesos naturales que movilizan metales traza son: intemperismo de las rocas, desgasificación, vulcanismo terrestre y submarino y procesos relacionados con los sedimentos marinos (Ramírez-Elías *et al.*, 2005).

Entre las principales causas de movilización antropogénica están los procesos industriales y minero-metalúrgicos, producción de cemento, consumo de combustibles fósiles, fertilización de suelos, extracción de petróleo, etc. (Ramírez-Elías *et al.*, 2005).

Algunos metales (Ba, Cr, Ni, V) están asociados, en el área cercana a las plataformas, a la actividad petrolera (Gould Bolchot, Diagnóstico Ambiental del Golfo de México, 2004).

Las contribuciones antropogénicas de metales traza a los estuarios y sedimentos costeros y marinos son introducidas a través de las aguas de escurrimiento, incluyendo los ríos; razón por la cual, los metales pesados se presentan en diferentes formas en el ambiente acuático. Los principales reservorios abióticos de metales son: la columna de agua, los sedimentos suspendidos y depositados y el agua intersticial. Cuando se alteran las condiciones redox se puede provocar un incremento en las concentraciones de metales y así, por procesos de difusión, compactación y



bioturbación, afectar la concentración de los mismos en aguas adyacentes (Ramírez-Elías *et al.*, 2005).

Las concentraciones naturales de metales en ecosistemas acuáticos dependen de su distribución, meteorización y lixiviación en el área de la cuenca. Las actividades humanas, tanto industriales como urbanas, así como las prácticas agrícolas, pueden incrementar la carga de metales pesados en los ecosistemas acuáticos o alterar sus ciclos naturales al producir concentraciones elevadas en algún compartimento particular (Tulonen *et al.* 2006 citado por Rizzo *et al.* 2010). Las principales fuentes naturales de elementos traza son la meteorización y el lixiviado de las rocas y suelos de la cuenca, el aporte puntual de posibles manifestaciones minerales expuestas, los incendios forestales y de pastizales extendidos, y los aportes por emisiones volcánicas (Rizzo *et al.*, 2010).

El enriquecimiento de metales pesados en los sedimentos marinos es un tópico de gran interés, dada su capacidad de acumular dichas especies químicas y la peligrosidad que representan para la salud de los organismos bentónicos (Olajire *et al.*, 2003).

En el ambiente marino ya sea en el agua o en el sedimento, los metales traza son introducidos a las tramas tróficas ocasionando diversos daños en los diferentes niveles de organización biológica e incluso a través de la cadena trófica pudieran llegar al hombre (Ramírez-Elías *et al.*, 2005).

Un gran porcentaje de contaminantes (metales pesados e hidrocarburos) que ingresan al mar, ya sea por vectores naturales o antropogénicos quedan retenidos en los sedimentos, elevando sus concentraciones e incrementando de esta manera su potencial de efectos tóxicos sobre los microsistemas del entorno inmediato, generalmente bentónico.

Existen diversos trabajos tendientes a evaluar la presencia y efectos de los metales pesados en la zona costera del golfo de México, Macías-Zamora *et al.* (1999) estudiaron la distribución vertical y horizontal de los metales traza en sedimentos en la Sonda de Campeche y su posible relación con las actividades petroleras la mayoría de los metales mostraron una distribución horizontal con tendencia a incrementarse hacia el suroeste del área de estudio. Lo anterior, indicó que la distribución horizontal de los metales estaba siendo controlada, en gran medida, por la cercanía a la fuente de material terrígeno. También se sugiere que el gradiente en la distribución de metales, puede ser resultado de una circulación ciclónica forzada por los vientos en la bahía de Campeche. Estos resultados apoyan la idea del origen terrígeno de la mayoría de los metales en esta área; se reconoce a la carga asociada al detritus inorgánico acarreada por los ríos, como la principal fuente de entrada de metales, y se contrapone con la idea de entradas antropogénicas por el petróleo local (Ramírez-Elías *et al.*, 2005).



6.4.2 *Presencia de hidrocarburos en el sedimento marino*

A diferencia de otros contaminantes, entre los que destacan los plaguicidas, los fármacos y las sustancias de origen industrial, el petróleo es de origen natural por lo que muchos organismos están adaptados a su presencia e incluso hay bacterias y hongos que lo degradan. El petróleo puede llegar al mar a partir de diferentes fuentes, siendo la principal las operaciones asociadas al transporte por barco (National Academy of Science 1985) (Gould Bolchot, Diagnóstico Ambiental del Golfo de México, 2004).

Los hidrocarburos alifáticos en ambientes marinos constituyen, en general, mezclas complejas en las que están presentes hidrocarburos tanto autóctonos como alóctonos, de naturaleza petrogénica, que desde la columna de agua llegan al sedimento, donde además pueden ser alterados o bien juntarse con los allí sintetizados mediante procesos bioquímicos bentónicos (Blanco *et al.*, 2006).

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos derivan principalmente de combustibles fósiles y no son resultado de actividades biológicas (Blanco *et al.*, 2006), por ende la determinación de concentraciones significativas de PAH's o BTEX en muestras de sedimento nos permitirían establecer la naturaleza u potencial origen antrópico de las concentraciones de hidrocarburos aromáticos en el sedimento marino del área contractual evaluada.

Los sedimentos son el destino final de muchos contaminantes, y en particular de aquellos que son hidrofóbicos (Gould Bolchot, Diagnóstico Ambiental del Golfo de México, 2004).

6.4.2.1 *Niveles Guía de Referencia*

Durante las últimas tres décadas se han utilizado numerosas estrategias orientadas a la evaluación, manejo y remediación de los sedimentos contaminados (Peluso, 2011).

La calidad de los sedimentos se ha determinado históricamente a partir de mediciones de la concentración total de los compuestos individuales y comparados con valores de base o de referencia. Sin embargo, la cuantificación de los contaminantes por sí sola no es suficiente para poder determinar posibles efectos adversos sobre los organismos, o la disponibilidad de los diferentes materiales (Ingersoll, 1995 citado por Peluso, 2011). Las concentraciones de compuestos químicos en los sedimentos pueden ser muy elevadas, pero no tienen una relación directa con la biodisponibilidad. Este es un concepto muy importante en Ecotoxicología, ya que los tóxicos que no se encuentran biodisponibles, no se encuentran libres para ser incorporados por los organismos y por tanto no causar efectos adversos sobre los mismos (Newman & Unger, 2003 citado por Peluso, 2011).



En general, se han desarrollado diferentes enfoques para poder evaluar el grado en que los compuestos químicos asociados a los sedimentos pueden causar efectos adversos sobre la biota acuática. La forma más difundida de evaluación es la comparación con niveles guías de calidad (Peluso, 2011).

Cuando se derivan niveles guía, se trabaja sobre los supuestos de que dichos valores pueden ser utilizados como medidas directas de los efectos potenciales de la contaminación en sedimentos sobre los organismos bentónicos. Estos valores han tenido numerosas aplicaciones, incluyendo diseños de programas de monitoreo, interpretación de datos históricos, evaluación de las necesidades de estudios detallados de calidad de sedimentos, estudio de la calidad de materiales a dragar, evaluaciones de riesgo ecológico y remediación entre otras (MacDonald *et al.*, 2000 citado por Peluso 2011).

González-Lozano *et al.* (2006) en su publicación sobre la evaluación de la contaminación de sedimentos del área portuaria y zona costera de Salinas Cruz (Oaxaca) menciona que en México no existen normativas que regulen la matriz sedimentaria en cuanto a los límites permitidos de metales pesados y compuestos orgánicos, utilizando para dicha evaluación criterios internacionales de calidad de los sedimentos para evaluar la contaminación (NOAA, 1997; Long y MacDonald, 1998; Long *et al.*, 1998; TTLC, 1999 citados por González-Lozano *et al.*, 2006).

Para el presente estudio, se utilizaron las Normas de Referencia sobre la calidad de los sedimentos marinos, como la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos para la Protección de Vida Acuática (Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life) promulgada por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME, 1995). De acuerdo a la CCME, estas directrices de calidad de sedimentos proporcionan indicadores científicos o puntos de referencia para evaluar el potencial de efectos biológicos adversos en los ecosistemas acuáticos. Las directrices se derivan de la información toxicológica disponible de acuerdo con el protocolo oficial establecido por la CCME.

Asimismo, se utilizó la SQuiRTs de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA por su acrónimo en inglés) y la Normativa de Referencia Holandesa (The New Dutch List) para suelo/sedimentos referentes a las valores meta holandesas y de intervención (2000).

6.4.3 *Resultados del análisis de metales pesados*

En la Tabla 6.42 se presentan los resultados del análisis de laboratorio de las muestras de sedimento marino para metales pesados con su correspondiente comparación con las Normas de Referencia de la NOAA, la promulgada por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME, 1995) la Normativa



de Referencia Holandesa (The New Dutch List) para suelo/sedimentos referentes a las valores meta holandesas y de intervención (2000).

Para el caso de la NOAA y la CCME, el valor más bajo o TEL, hace referencia al nivel de efecto umbral, el cual representa la concentración por debajo del cual se espera que los efectos biológicos adversos ocurran en raras ocasiones y por lo tanto no representen una amenaza potencial. El valor superior o PEL, referido como el nivel de efecto probable, define el nivel por encima del cual se esperarían la ocurrencia de efectos adversos de manera frecuente.

En cuanto a lo establecido por la New Dutch List, los valores de intervención (intervention por su traducción al inglés) y de remediación de los suelos/sedimentos indican que las propiedades funcionales de estos para los seres humanos, plantas y animales, están deteriorados o amenazados seriamente. Los valores de intervención son representativos del nivel de contaminación por encima del cual hay un caso grave de contaminación del suelo/sedimento.

En lo que respecta al cadmio en el sedimento marino, los resultados reportados para todos los puntos de muestreo superan el nivel de referencia TEL tanto de la CCME como de la NOAA; esto significaría que las concentraciones detectadas están en un rango dentro de los cuales se producen efectos adversos de manera ocasional. El valor más bajo reportado fue de 1.11 mg/kg en el punto IC-2-sed y el más elevado fue de 1.86 mg/kg en el punto PC1-sed. Asimismo, las concentraciones de bario se reportan superando el nivel de referencia TEL de la NOAA en los puntos de muestreo P1-sed, P2-sed, PC1-sed, IC1-sed y D4-sed, siendo el mayor valor registrado de 502.76 mg/kg (P2-sed).

Con relación al níquel, en todos los puntos de muestreo los valores reportados superan el nivel de referencia PEL de la NOAA, siendo la concentración más alta registrada de 75.55 mg/kg en el punto D3-sed y el valor más bajo de 54.58 mg/kg en el punto P1-sed.

En cuanto a los valores de mercurio en dos puntos de muestreo los valores fueron detectables, presentándose concentraciones de 0.067 mg/kg en el punto de muestreo P2-sed y 0.057 mg/kg en el punto de muestreo (I4-sed); sin embargo, en ningún caso se superó el valor de referencia TEL de la CCME o el correspondiente de la NOAA.

Los resultados para cromo, cobre y zinc en todos los puntos de muestreo, nos indican presencia de estos con concentraciones detectables que no llegan a superar el nivel TEL de la CCME y la NOAA. A diferencia de estos, los valores de hierro en sedimento se presentan bastante elevados, siendo el valor más alto registrado de 42 454.55 mg/kg (D3-sed) y el valor más bajo de 19 662.52 mg/kg (P1-sed); sin embargo, para este metal no existe nivel de referencia tanto de la CCME y la NOAA, asociado a sedimentos marinos.



En el reporte de toxicidad para la determinación del Factor de Impacto Ambiental (EIF por su acrónimo en inglés) correspondiente a la potencial toxicidad de las descargas de perforación, realizado por Frost *et al.* (2006), programa en el cual participaron AGIP, TOTAL, PETROBRAS, SHELL, HYDRO, CONOCO PHILLIPS, EXXON MOBIL, STATOIL y eni; se menciona que basado en el criterio de selección de sustancias químicas, los metales que deberían ser incluidos en el EIF son el cadmio, cromo, plomo, cobre, mercurio y zinc. Adicionalmente, se hace referencia a que la concentración de níquel en descargas de perforación es usualmente es 10 veces más bajo que las condiciones naturales del sedimento y por tanto es de menor preocupación en temas de toxicidad en sedimentos. Asimismo, para el caso del bario (como baritina) no es considerado toxico y por tanto no se incluyó en su análisis tanto para la columna de agua como para el sedimento.

En cuanto al níquel, no hay mucha información disponible sobre los efectos sobre los organismos y los humanos; se conoce que a elevadas concentraciones de este metal en aguas superficiales puede originar una disminución en el crecimiento de las algas. El níquel es un elemento esencial en pequeñas concentraciones, evidenciándose en estudios de toxicidad que dicho metal no se acumula en las plantas o animales, por lo cual no se biomagnifica en la red trófica.



Tabla 6.42 *Análisis de concentración de metales en sedimentos*

Muestra	CEQG		SQuiRTs		P1-sed	P2-sed	P3-sed	PC1-sed	Dupli-sed	II-sed
Fecha de Muestreo	del CCME		de la NOAA		13/04/2016	30/01/2016	30/01/2016	30/01/2016	31/01/2016	31/01/2016
Profundidad	ISQG	PEL	TEL	PEL	40.9	38.0	44.0	44.0		29.0
Unidades	mg/kg		mg/kg		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Parámetro										
<i>Metales</i>										
Hierro	-	-	-	-	19,662.52	36,082.95	29,166.67	34,468.66	28,974.36	23,363.80
Zinc	-	-	124.00	271.00	37.02	45.16	49.06	56.27	49.91	39.58
Cadmio	0.70	4.20	0.68	4.21	1.16	1.59	1.51	1.86	1.56	1.22
Plomo	30.20	112.00	30.24	112.00	11.03	14.75	14.93	15.64	14.99	10.91
Cobre	18.70	108.00	18.70	108.00	11.92	14.33	15.42	17.49	14.92	11.79
Cromo VI*	52.30	160.00	52.30	160.00	ND(2.00)	ND(2.00)	ND(2.00)	ND(2.00)	ND(2.00)	ND(2.00)
Mercurio	0.13	0.70	0.13	0.70	ND(0.056)	0.067	ND(0.056)	ND(0.056)	ND(0.056)	ND(0.056)
Niquel	-	-	15.90	42.80	54.58	70.94	73.90	82.81	74.59	62.41
Vanadio	-	-	-	-	26.66	33.27	34.93	39.62	36.20	29.25
Plata	-	-	0.73	1.77	ND(0.608)	ND(0.608)	ND(0.608)	ND(0.608)	ND(0.608)	ND(0.608)
Bario	-	-	130.10	-	279.22	502.76	67.98	419.35	178.25	75.85
Litio	-	-	-	-	44.48	57.37	59.21	62.81	58.07	44.90
Manganeso	-	-	-	-	402.13	486.64	529.39	586.65	517.25	389.95
Molibdeno	-	-	-	-	2.02	2.11	2.05	2.73	2.07	2.00
Selenio	-	-	-	-	ND(5.000)	ND(5.000)	ND(5.000)	ND(5.000)	ND(5.000)	ND(5.000)
Estaño	-	-	0.05	-	ND(4.670)	ND(4.670)	ND(4.670)	ND(4.670)	ND(4.670)	ND(4.670)



Muestra	CEQG		SQuiRTs		I2-sed	I4-sed	IC1-sed	IC2-sed	D3-sed	D4-sed
Fecha de Muestreo	del CCME		de la NOAA		13/04/2016	13/04/2016	13/04/2016	13/04/2016	13/04/2016	13/04/2016
Profundidad	ISQG	PEL	TEL	PEL	28.0	35.0	30.0	30.0	30.0	26.0
Unidades	mg/kg		mg/kg		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
PARÁMETRO										
<i>Metales</i>										
Hierro	-	-	-	-	41,099.10	30,703.13	25,290.18	28,993.06	42,454.55	28,507.72
Zinc	-	-	124.00	271.00	38.65	49.75	45.04	43.51	45.78	39.79
Cadmio	0.70	4.20	0.68	4.21	1.23	1.36	1.63	1.11	1.25	1.16
Plomo	30.20	112+00	30.24	112.00	10.32	14.00	13.31	11.28	12.71	11.11
Cobre	18.70	108.00	18.70	108.00	11.47	16.48	13.66	13.23	14.09	11.87
Cromo VI*	52.30	160.00	52.30	160.00	ND(2.00)	ND(2.00)	ND(2.00)	ND(2.00)	ND(2.00)	ND(2.00)
Mercurio	0.13	0.70	0.13	0.70	ND(0.056)	0.057	ND(0.056)	ND(0.056)	ND(0.056)	ND(0.056)
Niquel	-	-	15.90	42.80	60.59	73.96	69.98	67.71	75.55	67.31
Vanadio	-	-	-	-	30.13	36.23	33.15	31.74	36.24	30.34
Plata	-	-	0.73	1.77	ND(0.608)	ND(0.608)	ND(0.608)	ND(0.608)	ND(0.608)	ND(0.608)
Bario	-	-	130.10	-	52.18	81.86	316.07	26.34	45.89	221.96
Litio	-	-	-	-	46.68	57.71	47.99	48.33	55.13	39.02
Manganeso	-	-	-	-	390.81	514.06	437.95	417.01	493.64	392.62
Molibdeno	-	-	-	-	1.86	1.75	2.09	1.49	1.77	1.44
Selenio	-	-	-	-	ND(5.000)	ND(5.000)	ND(5.000)	ND(5.000)	ND(5.000)	ND(5.000)
Estaño	-	-	0.05	-	ND(4.670)	ND(4.670)	ND(4.670)	ND(4.670)	ND(4.670)	ND(4.670)



Notas:
 mg/kg = miligramos/kilogramo
 CEQG del CCME = Guía Canadiense de Calidad Ambiental publicadas por el Consejo Canadiense de Ministro
 SQiRTs de la NOAA = Apéndices de Referencia Rápida publicadas por la Administración Nacional Oceánica
 EQG = Guía Interina de Calidad de Sedimento Marino
 TEL = Nivel de Efecto en el Umbral (amenaza no potencial)
 PFI = Nivel de Efecto Probable
 ND = Indica parámetro no detectado en o por arriba de los límites de cuantificación del laboratorio (LC)
 **Criterios para Cromo Total
 * Concentración detectada con base en el límite de detección del laboratorio
 VALOR Los valores resaltados en negritas indican detecciones (i.e., valores reportados por arriba de
 VALOR Los valores resaltados indican excedencias a los criterios de comparación CEQG del CC
 VALOR Los valores resaltados indican excedencias a los criterios de comparación SQiRTs de la

Fuente: ERM 2016

Tabla 6.43 Efectos de la concentración de cadmio sobre especies acuáticas

Especie	Organismo	Medio	Estadio	CE 50% (mg/L)	Tiempo de Exposición	Autor	Estaciones de Muestreo Fondo (mg/L)
<i>Poecilia reticulata</i>	Pez	Agua continental	Adulto	0.83	24h	Iannacone et al. (1999)	≤0.02
<i>Poecilia reticulata</i>	Pez	Agua continental	Adulto	0.72	48h	Iannacone et al. (1999)	≤0.02
<i>Carassostea virginica</i>	Bivalvo	Marino	embrión	3.80	48h	Calabrace et al. (1977) en Axiak y Schembri (1982)	≤0.02
<i>Monodonta articulata</i>	Gasterópodo	Marino	Adulto	8.00	48h	Axiak y Schembri (1982)	≤0.02
<i>Nitzschia incerta</i>	Diatomea	Marino	Adulto	0.02669	96h	Rachin et al. (1983a) en Vymazal (1987)	≤0.02
<i>Emerita analoga</i>	Crustáceo	Marino	Zoea	0.58	96h	Sánchez et al. (1998)	≤0.02
<i>Chaetocerus gracilis</i>	Diatomea	Marino	Adulto	0.595	96h	Vera et al. (en prensa)	≤0.02
<i>Odontethes regia regia</i>	Pez	Marino	Postlarva	0.648	96h	Este Estudio (2002)	≤0.02
<i>Skeletonema costatum</i>	Diatomea	Marino	Adulto	1.42	96h	Tam et al. (2000)	≤0.02



Especie	Organismo	Medio	Estadio	CE 50% (mg/L)	Tiempo de Exposición	Autor	Estaciones de Muestreo Fondo (mg/L)
<i>Argopecten purpuratus</i>	Bivalvo	mar	Juvenil	1.48	96h	Nelson et al. (2000) en Axiak y Schembri (1982)	≤0.02
<i>Jordanella floridae</i>	Pez	Agua continental	Juvenil	2.50	96h	Spehar (1976)	≤0.02
<i>Platichthys flesus</i>	Pez	Marino	Adulto	24.4	96h	Larsson et al. (1981)	≤0.02
<i>Neanthes arenaceo dentata</i>	Poliqueto	Marino	Adulto	3	28d	Reish y Scott (1976) en Reish et al. (1978)	≤0.02
<i>Capitella capitata</i>	Poliqueto	Marino	Adulto	7.5	28d	Reish y Scott (1976) en Reish et al. (1978)	≤0.02

Fuente: Vera et al., 2001



El cadmio es un metal pesado que reacciona con grupos biológicos activos (carbósil, fenol, sulfhidril y otros). Larsson *et al.* (1981) señalan que el cadmio causa variados efectos subletales en peces teleósteos, como fracturas y deformidad vertebral, daños testiculares, desarrollo defectuoso de óvulos, reducción del consumo de oxígeno por los tejidos branquiales, cambios patológicos en los tejidos renal e intestinal, efectos hematológicos y disturbios en el metabolismo de carbohidratos (Vera *et al.*, 2001).

De acuerdo a la revisión de estudios sobre efectos del cadmio en diferentes especies acuáticas realizada por Vera *et al.* (2001), se presentan en la Tabla 6.43 diferentes concentraciones efectivas (CE 50%) de cadmio para diferentes especies marinas y de aguas continentales, comparándose con los valores reportados para cadmio en agua marina del nivel de fondo (más próximo al sedimento) en el Área Contractual 4.

De acuerdo con los resultados de laboratorio, todos los valores reportados para cadmio en agua de mar del nivel de fondo correspondiente a las estaciones de muestreo del Área Contractual 4, registraron concentraciones menores o iguales a 0.00031 mg/L, lo cual es más bajo a la concentración efectiva (CE 50%) con la cual se reportan efectos negativos por toxicidad, como daños histopatológicos o mortalidad en las especies listadas en la tabla anterior.

La única referencia probable sobre actividades de petróleo y su efecto sobre el sedimento del área de estudio, puede estar dado por la presencia de metales asociados a la probable acumulación de los mismos por descargas incidentales de lodos y cortes de perforación en actividades pasadas, detectándose en algunos casos valores que superan los niveles TEL y PEL de las normativas de referencia CCME y NOAA. Cabe mencionar que, la relativa cercanía de los puntos de muestreo a plataformas con actividad en hidrocarburos podría también ser un indicador de aportes incidentales pasados.

Como menciona Neff *et al.* (1987, 2000); Neff (2005) citado por Frost *et al.* (2006), muchos metales están presentes en los lodos de perforación. Concentraciones individuales de cada metal pueden variar dependiendo de la composición del ingrediente base y sus respectivos aditivos. Los metales que merecen mayor atención debido a su abundancia en los lodos de perforación y cortes, y su potencial toxicidad sobre los organismos marinos incluyen al arsénico, bario, cromo, cadmio, cobre, hierro, plomo, mercurio, níquel y zinc.



6.4.4

Resultados del análisis de hidrocarburos

Como se mencionó anteriormente para el caso de la NOAA y la CCME, el valor más bajo o TEL, hace referencia al nivel de efecto umbral, el cual representa la concentración por debajo del cual se espera que los efectos biológicos adversos ocurran en raras ocasiones y por lo tanto no representen una amenaza potencial. El valor superior o PEL, referido como el nivel de efecto probable, define el nivel por encima del cual se esperarían la ocurrencia de efectos adversos de manera frecuente.

En la Tabla 6.44 se presentan los resultados del análisis de laboratorio de las muestras de sedimento marino para hidrocarburos específicamente Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) con su correspondiente comparación con las Normas de Referencia de la NOAA, la promulgada por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME, 1995).

De acuerdo con los resultados reportados por los laboratorios analíticos, se observa que las concentraciones de HAP's registrados para las muestras de sedimento en todas las estaciones de muestreo se encuentran debajo del límite de detección o cuantificación de laboratorio (0.133 mg/kg). A pesar que el límite de detección es menor que el valor de referencia del ISQG y TEL de la CCME y la NOAA respectivamente, las concentraciones reportadas para el benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno y dibenzo(a,h)antraceno se encuentran debajo del valor de referencia PEL, lo cual nos indicaría que la presencia de los HAP's en el sedimento del área de estudio, no representa una amenaza potencial a la biota acuática y en especial a los organismos bentónicos. Sin embargo, de los resultados de HTP, en el punto de muestreo IC2-sed se reportó una concentración de 833.33 mg/kg de hidrocarburos de la fracción pesada (C₂₈-C₄₀). En los demás puntos de muestreo, los valores reportados estuvieron por debajo del límite de detección del método analítico 11.00 mg/kg para la fracción ligera (C₅-C₁₀), 66.83 mg/kg para la fracción media (C₁₀-C₂₈) y 266 mg/kg para la fracción pesada (C₂₈-C₄₀).

De acuerdo a los resultados obtenidos tanto en metales como en presencia de hidrocarburos, se puede evidenciar la presencia de contaminantes a niveles que si bien no superan el umbral PEL exceptuando el níquel, la presencia de metales pesados con potencial toxicogénico cuyas concentraciones superan el nivel TEL en sedimento, puede significar un potencial riesgo a la biota bentónica, especialmente aquella asociada con hábitats intersticiales y de relativamente baja movilidad, como serían las especies de las clases taxonómicas Polychaeta (*Aglaphomus verrilli*, *Aphelochaeta* sp., *Aricidea fragilis*, *Glycera papillosa*, *Magelona* spp., *Nephtys incisa*, *Notomastus hemipodus* y *Ninoe leptognatha*), Ophiuroidea (*Amphioplus sepultus*) y Nemertea.



Tabla 6.44 *Análisis de la concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en sedimentos*

Muestra	CEQG		SQuiRTs		Dutch Target	P1-sed	P2-sed	P3-sed	PC1-sed	Dupli-sed	I1-sed
Fecha de Muestreo	del CCME		de la NOAA			13/04/2016	13/04/2016	13/04/2016	13/04/2016		13/04/2016
Profundidad	ISQG	PEL	TEL	PEL		49.0	38.0	44.0		44.0	29.0
Unidades	mg/kg		mg/kg		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
PARÁMETRO											
HAP											
Benzo(a)antraceno	0.0748	0.6930	0.0748	0.6930	0.0250	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)
Benzo(a)pireno	0.0888	0.7630	0.0888	0.7630	0.0520	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)
Benzo(b)fluoranteno	-	-	-	-	-	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)
Benzo(k)fluoranteno	-	-	-	-	0.3800	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)
Dibenzo(a,h)antraceno	0.0062	0.1350	0.0062	0.1350	-	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)
Indeno(1,2,3-cd)pireno	-	-	-	-	0.0310	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)

Notas:

HAP = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

mg/kg = miligramos/kilogramo

CEQG del CCME = Guía Canadiense de Calidad Ambiental publicadas por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente

SQuiRTs de la NOAA = Tablas de Referencia Rápida publicadas por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos

ISQG = Guía Interina de Calidad de Sedimento Marino

TEL = Nivel de Efecto en el Umbral (amenaza no potencial)

PEL = Nivel de Efecto Probable

ND = Indica parámetro no detectado en o por arriba de los límites de cuantificación del laboratorio (LC)



Muestra	CEQG		SQuiRTs		Dutch Target	I2-sed	I4-sed	IC1-sed	IC2-sed	D3-sed	D4-sed
Fecha de Muestreo	del CCME		de la NOAA			13/04/2016	13/04/2016	13/04/2016	13/04/2016		13/04/2016
Profundidad	ISQG	PEL	TEL	PEL		28.0	35.0	30.0	30.0		26.0
Unidades	mg/kg		mg/kg		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
PARÁMETRO											
<i>HAP</i>											
Benzo(a)antraceno	0.0748	0.6930	0.0748	0.6930	0.0250	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)
Benzo(a)pireno	0.0888	0.7630	0.0888	0.7630	0.0520	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)
Benzo(b)fluoranteno	-	-	-	-	-	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)
Benzo(k)fluoranteno	-	-	-	-	0.3800	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)
Dibenzo(a,h)antraceno	0.0062	0.1350	0.0062	0.1350	-	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)
Indeno(1,2,3-cd)pireno	-	-	-	-	0.0310	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)	ND(0.133)

Notas:

HAP = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

mg/kg = miligramos/kilogramo

CEQG del CCME = Guía Canadiense de Calidad Ambiental publicadas por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente

SQuiRTs de la NOAA = Tablas de Referencia Rápida publicadas por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos

ISQG = Guía Interina de Calidad de Sedimento Marino

TEL = Nivel de Efecto en el Umbral (amenaza no potencial)

PEL = Nivel de Efecto Probable

ND = Indica parámetro no detectado en o por arriba de los límites de cuantificación del laboratorio (LC)



6.5. Áreas Sensibles

Las áreas sensibles en medio marino comprenden tanto ecosistemas frágiles (arrecifes coralinos) como áreas sujetas a protección especial (Áreas Naturales Protegidas y Regiones Marinas Prioritarias). También se toman en cuenta las rutas migratorias de aves y mamíferos marinos y aves que podrían cruzar el Área Contractual 4. Dicha Área no se encuentra dentro de alguna zona sensible.

6.5.1.1 Arrecifes coralinos

Los arrecifes coralinos son uno de los ecosistemas con mayor biodiversidad del mundo. Estos son los sistemas más complejos y diversos del medio marino. Debido a su alta biodiversidad en ellos coexisten miles de especies que en conjunto representan todos los grupos de organismos marinos existentes. En términos de biomasa, los arrecifes coralinos son el sistema más productivo del mundo (INECC, 2000).

La intensa actividad física y ecológica que se desarrolla en los arrecifes juega un papel decisivo en el mantenimiento del equilibrio químico de las aguas oceánicas, al procesar los enormes volúmenes de sedimento arrastrados al lecho marino por las corrientes oceánicas y las descargas de los ríos.

Asimismo, actúan como barreras que disipan la energía de las corrientes creando ambientes de baja intensidad y de alta estabilidad que favorecen las funciones de otros ambientes costeros críticos como los pastos marinos, las lagunas costeras y los manglares. Agréguese sus funciones como áreas de refugio, alimentación y crianza de numerosas especies que las habitan de un modo permanente, estacional u ocasional. En aguas mexicanas, los arrecifes se extienden desde el sur del Caribe Mexicano y se alargan de forma discontinua hasta Yucatán, Campeche y Veracruz (INECC, 2000).

No existe presencia de arrecifes coralinos en el Área Contractual 4, tal como se observa en la Figura 6.60. Al noroeste de los polígonos, frente a las costas de Veracruz, se encuentran tres sistemas arrecifales, estando el más lejano a unos 490 km de distancia y el más cercano a 212 km del área del proyecto.

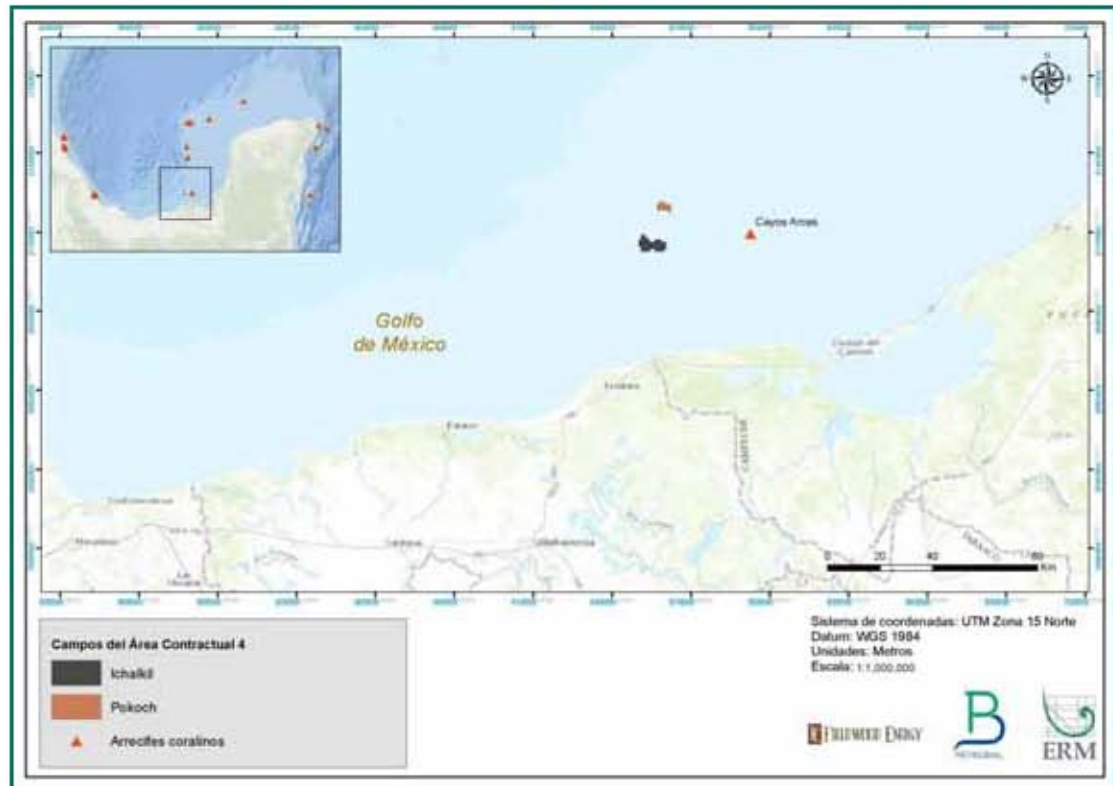


Figura 6.60 Arrecifes coralinos en el Golfo de México y su distancia respecto al Área Contractual 4

6.5.1.2 Regiones prioritarias

Una de las herramientas de protección y conservación de ecosistemas utilizada desde el año 1997 por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) con el propósito de orientar esfuerzos de investigación que optimicen el conocimiento de la biodiversidad en México, ha sido el Programa de Identificación de Regiones Prioritarias para la Biodiversidad (CONABIO, 2004). Esta metodología se basa en la regionalización del terreno a partir de diferentes criterios, los cuales incluyen propiedades intrínsecas a los ecosistemas, así como particularidades en la ubicación de los mismos, incluyendo el grado de conservación en el que se encuentra la biodiversidad.

Entre los criterios utilizados se encuentran:

- Extensión del área,
- Integridad ecológica,
- Diversidad de los ecosistemas,



- Fenómenos naturales extraordinarios,
- Presencia de endemismos,
- Riqueza específica,
- Centros de origen y diversificación natural.

Las regiones prioritarias determinadas por este programa, así como aquellas con mayores posibilidades de conservación en función de aspectos sociales, económicos y ecológicos, fueron clasificadas considerando el ámbito marino como Regiones Marinas Prioritarias - RMP (Arriaga *et al.*, 1998).

En este sentido, se identificó que el Área Contractual 4 se encuentra dentro de la RMP N° 53 "Pantanos de Centla - Laguna de Términos", tal como se observa en la Figura 6.61. Esta RMP tiene una extensión total de 55 114 km² y se ubica entre las coordenadas 20°02'24" y 17°48'36" de Latitud Norte y -94°09' y 90°57'00" de Longitud Oeste. Posee un clima cálido húmedo costero y cálido subhúmedo oceánico, con lluvias en verano; y una temperatura media anual mayor que 26 °C. Ocurren huracanes, tormentas tropicales, nortes, siendo una zona de lagunas, playas, dunas, pastos marinos, esteros, islas (CONABIO, 2016).

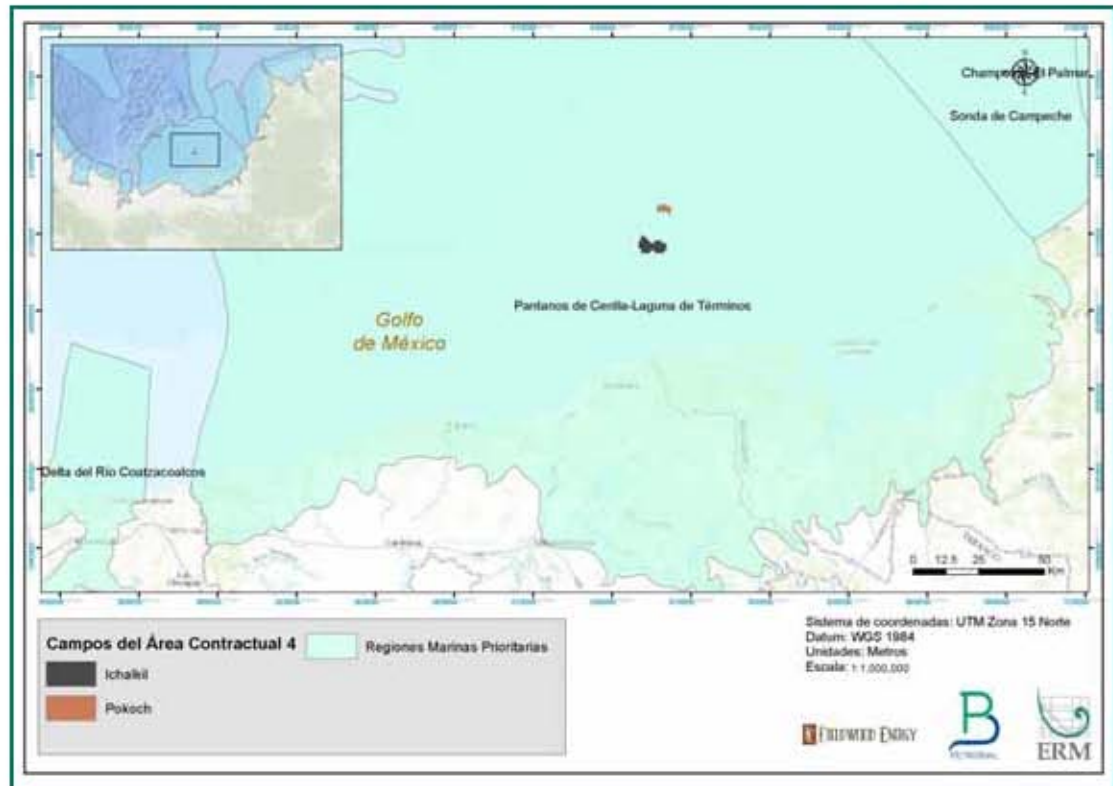


Figura 6.61 *Regiones Marinas Prioritarias en el Área Contractual 4*

Adicionalmente a las RMP, la CONABIO en conjunto con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y la organización no gubernamental PRONATURA, realizaron un análisis entre 2005 y 2007 para identificar a nivel nacional los sitios marinos prioritarios para la conservación de la biodiversidad. El Área Contractual 4 se ubica precisamente dentro del sitio denominado “Laguna de Términos”, considerado como muy importante, tal como se observa en la Figura 6.62.

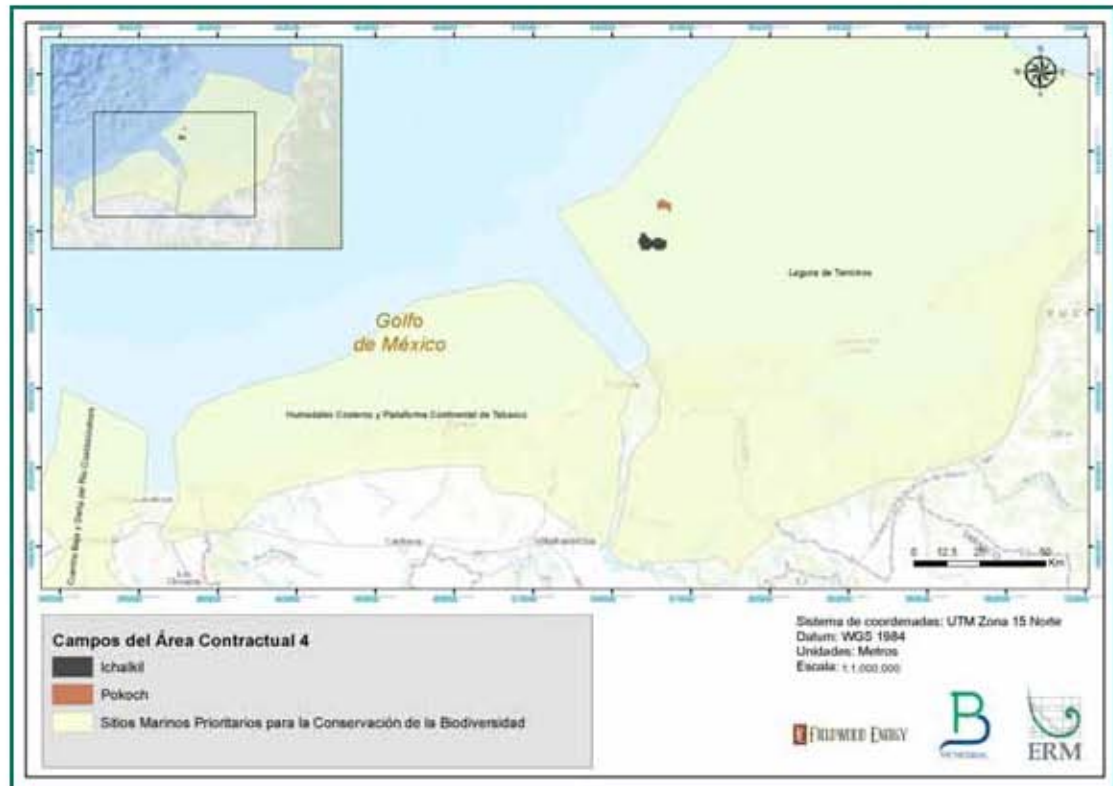


Figura 6.62 *Sitios Marinos Prioritarios en el Área Contractual 4*

6.5.1.3 Áreas Naturales Protegidas

De acuerdo a lo establecido en el Artículo 46 de la LGEEPA se consideran como Áreas Naturales Protegidas (ANP) a los siguientes territorios: Reservas de la Biósfera, Parques Nacionales, Monumentos Naturales, Áreas de Protección de Recursos Naturales, Reservas Forestales, Zonas Protectoras Forestales, Áreas de Protección de Flora y Fauna, Santuarios, Parques y Reservas Estatales, y Zonas de Preservación Ecológica de los Centros de Población.

No existen ANP en las inmediaciones del Área Contractual 4; sin embargo, se localizan a unos 42 km de distancia la “Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla” y el “Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos”, tal como se observa en la Figura 6.63.

El ANP Laguna de Términos es el sistema lagunar-estuarino de mayor volumen y extensión del país. Está constituida por un complejo ecológico costero que incluye la plataforma continental marina adyacente; las bocas de conexión con el mar; la isla del Carmen; los espejos de agua dulce, salobre y estuarino-marina; las zonas de pastos sumergidos; los sistemas fluvio-deltaicos asociados; los pantanos o humedales costeros, y los bosques de manglar circundantes (DOF, 1994).



Muchos de los hábitats en esta ANP están considerados como críticos; algunos de estos son las praderas de pastos sumergidos, en donde hay una elevada biodiversidad de especies de fitoplancton, peces marinos, macroalgas, aves migratorias, entre otros grupos importantes (DOF, 1994).

La Laguna de Términos también ha sido calificada como un Área de Importancia para la Conservación de las Aves.

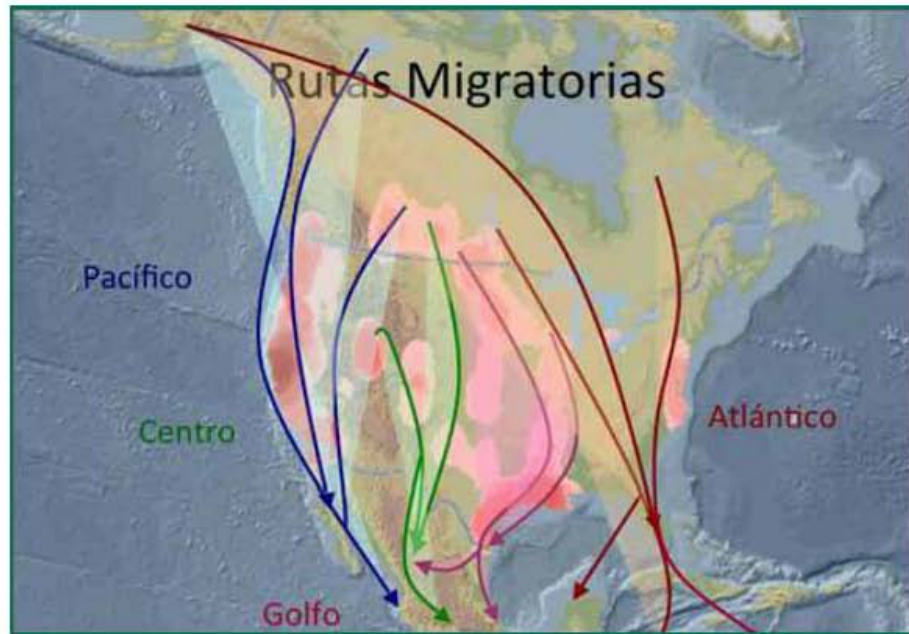


Figura 6.63 *Ubicación de las Áreas Naturales Protegidas y su distancia respecto al Área Contractual 4*

6.5.1.4 *Rutas de migración de aves y mamíferos marinos*

Las aves migratorias de Estados Unidos y Canadá invernan generalmente en México y América Central, y llegan a su destino siguiendo las rutas que dependen de su lugar de origen: las del Este lo hacen a través del Golfo de México o siguiendo la cuenca del río Mississippi. Sin embargo, las rutas pueden variar y dependen a veces de la historia de la distribución de las aves (Navarro y Benítez, 1995).

De manera general, en Norteamérica se reconocen cuatro rutas migratorias principales (ver Figura 6.64): la del Pacífico, la del Centro, la del Golfo y la del Atlántico (Berlanga y Rodríguez, 2010).



Fuente: Berlanga y Rodríguez, 2010

Figura 6.64 Principales rutas migratorias de aves en Norteamérica: la ruta del Pacífico (azul), la ruta del Centro (verde), la ruta del Golfo (rosa) y la ruta del Atlántico (rojo)

En México, las zonas que poseen la mayor cantidad de especies de aves son las localizadas en la región costera del Este y Sureste de México, principalmente en los estados de Veracruz, Hidalgo, Tabasco, Oaxaca y Chiapas (ver Figura 6.65). Esta región es llamada de manera general "Planicie Costera del Golfo" (Navarro y Benítez, 1995). En la migración de otoño (de Norte a Sur), las especies siguen el curso de esta ruta a través de los estados de Tamaulipas y Veracruz, y cruzan el Istmo de Tehuantepec hacia la planicie costera del Pacífico en el estado de Chiapas, antes de continuar su curso por Centroamérica (Bildstein y Zalles, 2001). La mayoría de las especies e individuos no migran a través de extensiones amplias de aguas abiertas como el Golfo (Kerlinger, 1989).

Se ha estimado que en la costa del Golfo inverna el 35% del total de las aves migratorias que llegan a México: en la Laguna Madre (incluyendo el delta del río Bravo) se encuentra el 18.8%; en Tamiahua el 3.6%; en la Laguna de Alvarado el 2.5%; en Tabasco el 6.5%; y en Campeche y Yucatán el 3.8% (DUMAC, 1990).

La lista de las especies de aves migratorias en la sección Suroeste del Golfo se adjunta en el Apéndice 6.20.



Fuente: Íñigo-Elías 2006.

Figura 6.65 *Rutas migratorias de las aves durante primavera - Otoño*

En cuanto a los mamíferos marinos, no se conocen de rutas migratorias ni de distribución de estos organismos en el Golfo de México, por lo que estos no serían afectados por las actividades que se realizarían en el Área Contractual 4.



6.6. Identificación de la Infraestructura Existente

6.6.1 *Actividades Económicas*

La pesca constituye la principal actividad económica que se desarrolla en el Área Contractual 4 y sus inmediaciones. Entre las especies que más se pescan se encuentran la sierra, cojinuda, jurel, peto, entre otros.

6.6.1.1 *Turismo*

El sector turístico en México es considerado como un sector de prioridad para el país ya que genera rendimientos económicos importantes, proporciona fuentes de empleo y fomenta el desarrollo regional. Es uno de los sectores que más contribuye al Producto Interno Bruto (PIB), con alrededor del 8.4% (El Economista, 2014). Como parte del Programa Sectorial de Turismo del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (Gobierno de la República, s.f.), varios estados están invirtiendo en infraestructura y capacitación para impulsar el turismo y que este se convierta en una importante fuente de ingreso anual (El Universal, 2013).

Los principales períodos vacacionales en México son:

- Semana Santa (entre marzo y abril según el año);
- Vacaciones de verano (julio y agosto);
- Navidad (semana del 24 y 25 de diciembre); y,
- Año Nuevo (semana del primero de enero).

La playa de El Bosque es el principal atractivo turístico en la localidad de Frontera, siendo este destino el elegido por las comunidades locales.

6.6.1.2 *Agricultura*

No es una actividad principal en la región sin embargo se cultiva cacao, coco, caña de azúcar, cítricos, maíz, arroz, sorgo y frijol.

6.6.1.3 *Ganadería*

En esta región la ganadería extensiva o de libre pastoreo es lo que predomina. Por las condiciones ambientales el ganado de raza cebú es el de mayor abundancia y del cual se obtiene principalmente carne.



6.6.1.4 Hidrocarburos

En la región se localizan la cuenca llamada Litoral de Tabasco en la cual se han encontrado diversos yacimientos petroleros.

6.6.1.5 Pesca

Pesca industrial

En México, como en otros países latinoamericanos, la pesca ribereña alcanzó niveles máximos a partir de los años ochenta y hasta la actualidad; las principales pesquerías del país se encuentran en los niveles máximos de explotación permisibles e, incluso, en niveles de sobreexplotación. Esta situación fue influenciada por el rápido crecimiento de la industria pesquera promovida, en su momento, por el afán del gobierno mexicano en invertir en instalaciones modernas y flotas pesqueras equipadas con sistemas de propulsión motorizado, métodos electrónicos para la detección de cardúmenes, uso de material sintético para redes y la adopción de estrategias de captura apoyadas con información de flota acuática o apoyo aéreo. Este desarrollo tuvo su auge con las flotas pesqueras del litoral del Pacífico y el Golfo de California, aunque también tuvo influencia en el litoral del Golfo de México, en donde la flota más industrializada es la dedicada al camarón, que faena principalmente en Tamaulipas y Campeche (FAO, 2003).

Además de la pesquería de camarón, las pesquerías de atún y sardina son industriales. El resto de la pesca se lleva a cabo por flotas ribereñas o de pequeña escala (Arreguín-Sánchez *et al.*, 2011).

Pesca artesanal

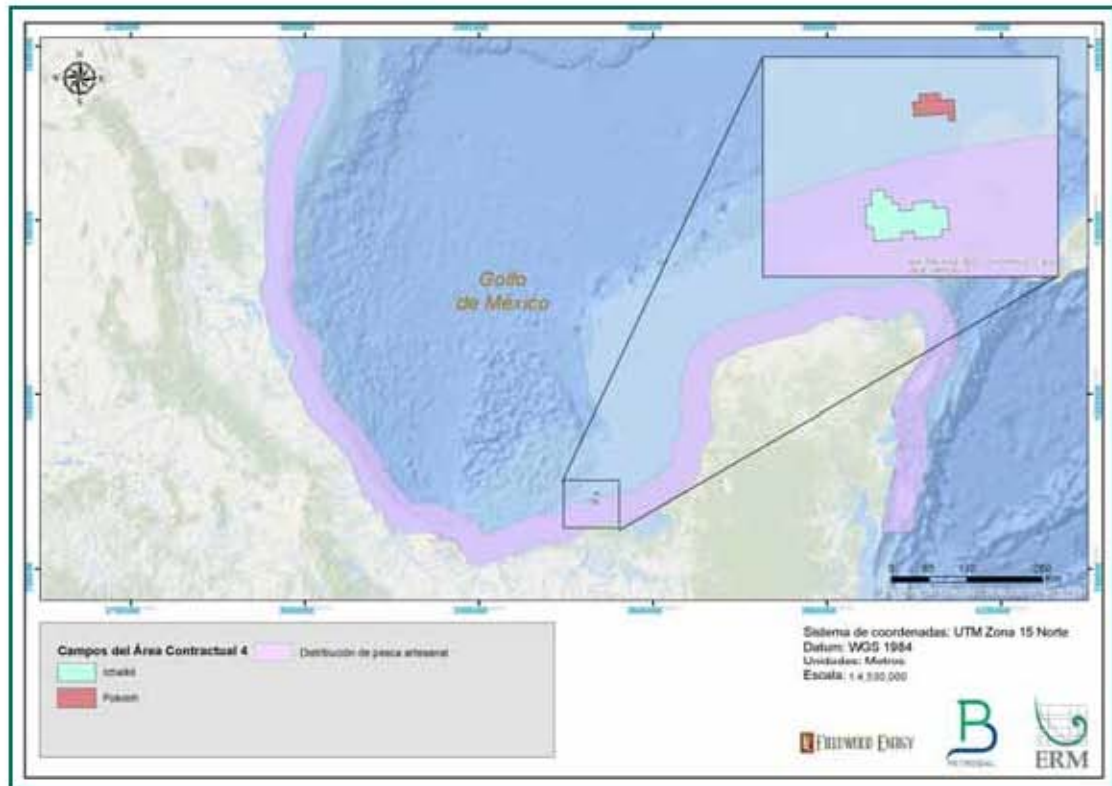
Según el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA), en México hay aproximadamente 300,000 pescadores, de los cuales 52% (156,000) operan en el litoral del Pacífico, 40% (120,000) en el litoral del Golfo de México y el Mar Caribe y 8% (24,000) en entidades federativas sin litoral marino (lagunas costeras, lagos, ríos y presas) (Cisneros-Mata, 2012).

La pesca artesanal se limita únicamente al litoral y, por esa razón, guarda una estrecha relación con las operaciones ribereñas, que son las actividades de captura realizadas desde tierra o a bordo de embarcaciones menores y que se desarrollan en esteros, bahías, ríos, lagunas o áreas no muy alejadas del litoral. Por lo anterior, es común que cuando se hace referencia a la pesca ribereña, se haga alusión implícita a la pesca artesanal y viceversa (Botello *et al.*, 2010b). Ambos términos son usados indistintamente.



En México, salvo las pesquerías de atún, sardina y camarón, que son industriales; el resto de la actividad pesquera se lleva a cabo por flotas artesanales (Villaseñor *et al.*, 1996). Según la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca un total de 23,967 embarcaciones ribereñas se encuentran registradas para operar en el litoral del Golfo y el Caribe (CONAPESCA, 2012). La pesca artesanal genera el 65% de la producción destinada al consumo humano directo y constituye una fuente importante de empleo: el 85% de los pescadores del país son ribereños (Cisneros-Mata, 2012).

Por lo general, la pesca ribereña se lleva a cabo en los primeros 50 km costa afuera, a lo largo del litoral del Golfo, tal como se muestra en la Figura 6.66.



Fuente: ERM, 2015 con base en Cisneros-Mata, M., 2012.

Figura 6.66 *Distribución espacial de la pesca artesanal en el sector del Golfo de México donde se ubica el Área Contractual 4*

La comercialización de la captura artesanal tiene diversos mecanismos y maneras de realizarse. En esta cadena pueden intervenir cooperativas, mayoristas, acopiadores, empresarios, grandes compradores, supermercados, detallistas, entre otros (Avdalov, 2009).



El pescador independiente, el más vulnerable ante el aumento de costos de operación y la disminución de precios de mercado, vende su producto en mercados locales o directamente al consumidor final a través de la venta ambulante o callejera. El pescador contratado por un patrón, quien le provee de equipo, vende su captura a su patrón y este, a su vez, lo revende a empresarios o lo hace llegar al consumidor final a través de cadenas de comerciantes o detallistas. En este proceso pueden existir diferentes niveles de intermediarios, lo que va haciendo la cadena comercial más compleja. El pescador de cooperativa pone su captura a disposición de la cooperativa para su comercialización a través de mayoristas o detallistas.

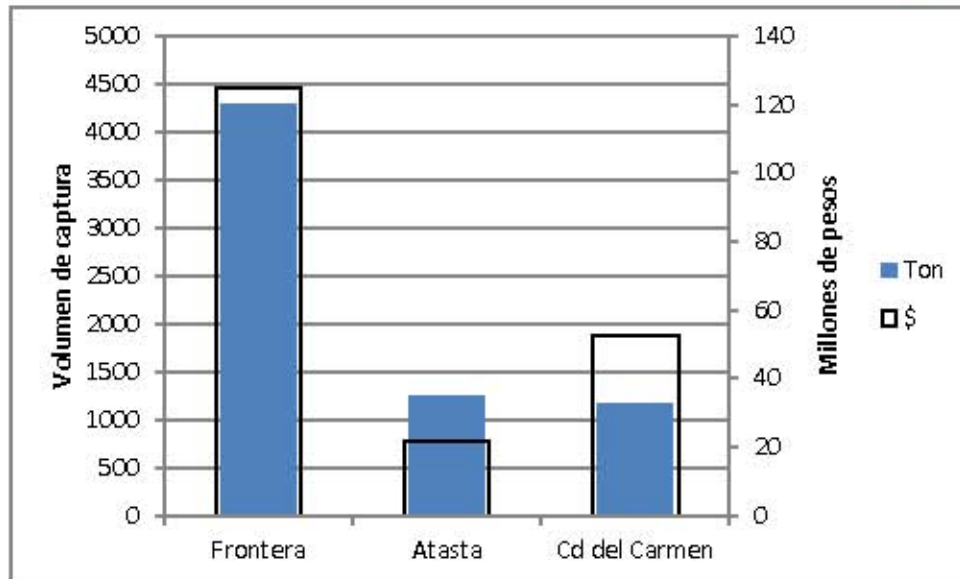
La principal problemática que enfrentan los pescadores ribereños en cuanto a la comercialización es la falta de integración del sector para evitar a los intermediarios, acortar la cadena y mejorar la rentabilidad de las capturas que, a su vez, dificulta la adquisición de equipo para mantener las redes de frío y mantener el producto fresco por más tiempo (Botello *et al.*, 2010a).

Especies, zonas de captura y artes de pesca

En esta sección se presentan las principales especies capturadas, las características de la pesca y las artes empleadas en el área de estudio. Para tal fin, se ha tomado en cuenta el Reporte Anual 2015 de las oficinas de pesca de la región de Frontera en Tabasco; Atasta y Ciudad del Carmen en Campeche. Se tiene el registro de que aproximadamente 90 especies marinas y continentales son capturadas en la región, CONAPESCA, 2015.

En Frontera la especie de la cual se obtuvo la mayor ganancia es el Huachinango, representando este un ingreso de \$ 30, 498, 665 en el año 2015. En la localidad de Atasta se obtienen \$ 5, 582, 115 por la comercialización del Robalo y en Ciudad del Carmen el Robalo también es la especie de la cual se obtuvo mayor ganancia con \$ 36, 288, 951 (CONAPESCA, 2015).

En la siguiente gráfica se puede observar la ganancia y el volumen de captura de especies marinas reportadas en las oficinas de pesca de Frontera, Atasta y Ciudad del Carmen.

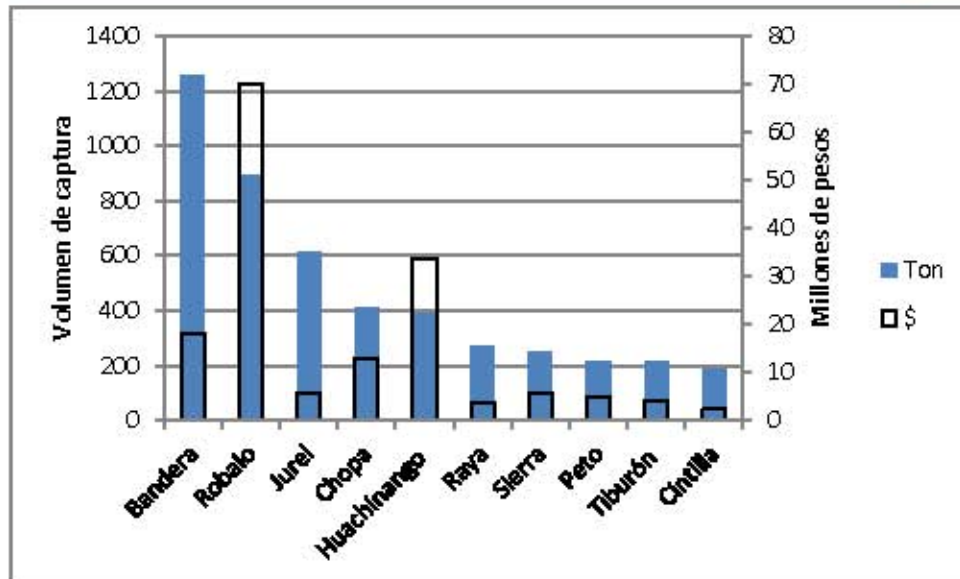


Fuente: ERM, 2016 con base en CONAPESCA, 2015.

Gráfica 6.92 Valor por localidad de la pesca reportada en la región del proyecto

En la Gráfica 6.92 se observa que la oficina de pesca en la región de Frontera es en donde el volumen de pesca y las ganancias obtenidas por esta es mayor que en Atasta y Ciudad del Carmen; sin embargo es importante mencionar que en Frontera se tiene un registro mayor de permisionarios y cooperativas que en las otras localidades de interés.

En cuanto a la especie más capturada en la región que abarca Frontera, Atasta y Ciudad del Carmen es el bandera; sin embargo el robalo es el que tiene un valor económico mayor a pesar de que se capturó en un volumen menor (ver Gráfica 6.93).



Fuente: ERM, 2016 con base en CONAPESCA, 2015.

Gráfica 6.93 Valor por especie de la pesca reportada en la región del Proyecto

En la Tabla 6.45 se muestran las características de la captura de las principales especies comerciales de peces.

Tabla 6.45 Características de la captura de las principales especies comerciales de peces

Especie	Unidad de esfuerzo	Arte de pesca	Talla (cm)	Profundidad (m)	Estatus	Regulación
Bandera	2-4	Palangre de fondo con 300 a 1500 anzuelos	20-60	5-72	AMP	-
Robalo	2-4	Red agallera para robalo	DD	DD	AMS	-
Jurel	2	Red de enmalle	18-44	10-40	AMS	-
Huachinango	2-4	Línea de mano y palangre.	40	DD	D	NOM-065-SAG/PESC-2014
Raya	2-4	Redes agalleras y atarrayas	DD	Aguas profundas	AMS	NOM-029-PESC-2006
Sierra	3-4	Red agallera	33	DD	AMS	-
Peto	3-4	Red Agallera, malla de 76.2 mm y 300 a 800 m de long.	DD	DD	DD	-
Tiburón	2-4	Palangres y red de enmalle de fondo.	DD	40 m	AMP	NOM-029-PESC-2006

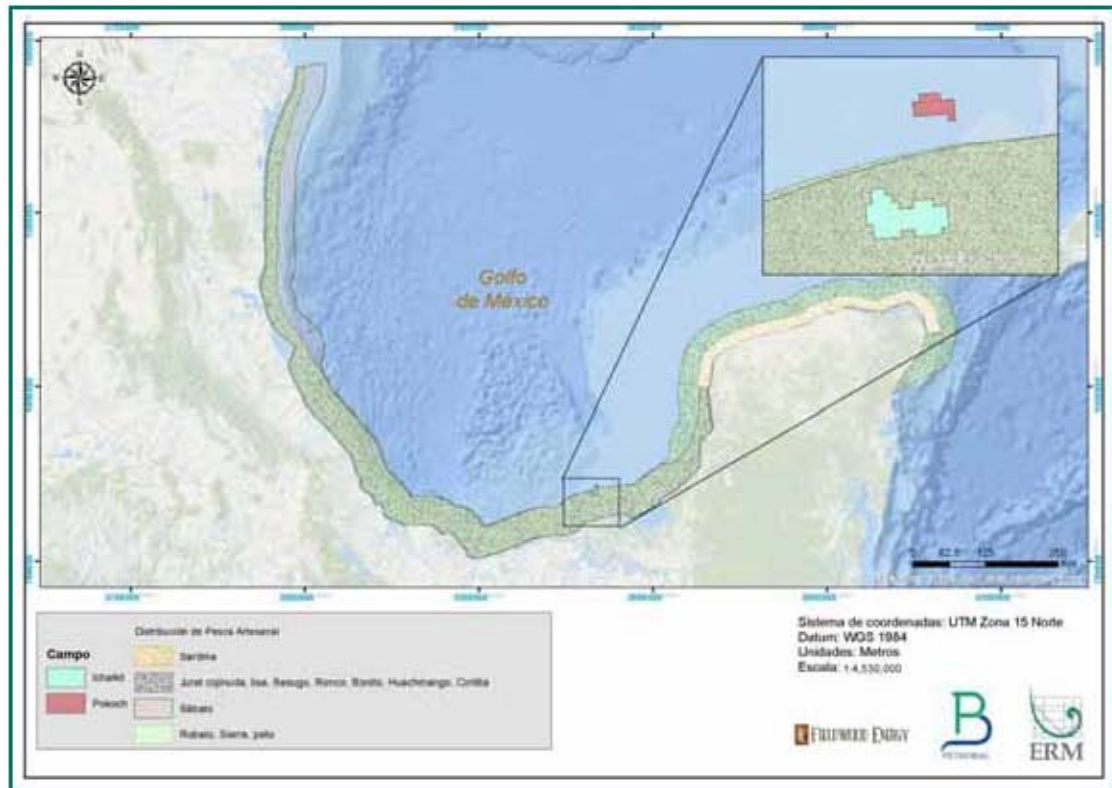


Especie	Unidad de esfuerzo	Arte de pesca	Talla (cm)	Profundidad (m)	Estatus	Regulación
Cintilla	2	Red de enmalle	18-44	10-40	DD	-

DD: dato desconocido
 AMS: aprovechamiento máximo sustentable
 D: deterioro
 AMP: aprovechamiento máximo permisible

Fuente: Carta Nacional de Pesca, 2012

Las especies mencionadas son capturadas en el Golfo por los pescadores de Tabasco, desde las costas de la localidad de Cuauhtemoczin hasta los límites con el Municipio de Paraíso, tal como se observa en la Figura 6.67.



Fuente: ERM, 2016

Figura 6.67 Zonas de pesca por recursos hidrobiológicos próximas al Área Contractual 4

Respecto al tipo de embarcación utilizado, como se ha mencionado anteriormente se realiza a bordo de embarcaciones menores o lanchas, las cuales tienen un arqueo bruto máximo de 1 tonelada y una eslora de hasta 10 m (ver Figura 6.68). Estas embarcaciones están provistas de un motor de 2 o 4 tiempos con potencias entre 40 y 115 Hp en su mayoría, con un material de casco de fibra de vidrio o policarbonato. Dichas embarcaciones cuentan con los dispositivos y medios de salvamento, navegación, comunicación y contraincendios mínimos requeridos por la Secretaría



de Comunicaciones y Transportes (aro salvavidas, chaleco salvavidas, extintor portátil, compás, heliógrafo, linterna eléctrica, botiquín, ancla y GPS).



Fuente: ERM, 2016

Figura 6.68 *Embarcaciones utilizadas para la pesca artesanal*

Formas de asociación

En México existen diferentes formas de asociación de pescadores, destacando las Sociedades Cooperativas (SC) entre las más comunes. Además de las SC, la CONAPESCA reconoce “Otras Formas de Organización Social” (OFOS), entre las que se encuentran: Unión de Pescadores (UP), Unidades o Uniones de Producción (UPP), Grupos Solidarios (GS), Unidades Económicas Especializadas de Producción Pesquera Piscícola o Acuícola (UEE), Sección Especializada (SE), Sociedades de Solidaridad Social (SSS) y Sociedad de Producción Pesquera, Piscícola, Acuícola y/o Pesquera y/o Rural (SP).

Todas las formas de asociación se rigen por la Ley General de Sociedades Cooperativas¹¹, excepto la SSS y la SP que se rigen por la Ley General de Sociedades

¹¹ Última reforma publicada en 2009.



de Solidaridad Social¹² y la Ley Agraria¹³ respectivamente. No existe literatura que detalle las diferencias de cada forma de organización y las razones por las que cada figura fue creada.

Formas de asociación en el Área Contractual 4

De acuerdo con lo que se reportó en campo, los pescadores que realizan faenas en el Área Contractual 4 pueden ser libres, trabajar para permisionarios o pertenecer a una sociedad cooperativa. Los permisionarios funcionan como pequeños empresarios mientras que las cooperativas son organizaciones comunitarias compuestas por socios que se reparten en partes iguales. Los permisionarios son dueños de las embarcaciones y contratan a su tripulación: tres pescadores y un patrón. Después de cubrir los gastos de traslado, alimentación, carnada y extras, los permisionarios se quedan con el 50% de la ganancia del día, el resto se reparte entre la tripulación, con un porcentaje mayor para el patrón. En algunos casos, además de su paga normal, se les puede dar 3 pesos extra por kilo para asegurar que no vendan la pesca por fuera, esto depende de cada permisionario.

Por otro lado, las Sociedades Cooperativas se componen de socios que son dueños de sus propias embarcaciones y en las cuales a veces trabajan pescadores libres. Las ganancias se juntan y se reparten por partes iguales entre los socios, después de cubrir las cuotas de administración, transporte y venta. Las cooperativas así como los permisionarios se agrupan en Federaciones.

Los permisionarios son los encargados del papeleo (permisos, reparaciones, trámites, venta, entre otros) de las embarcaciones. En las sociedades cooperativas cada quien se encarga de su papeleo por embarcación; sin embargo, como sociedades, pueden recibir apoyos de gobierno más fácilmente. En estos apoyos el gobierno pone 50% y la cooperativa 50%, ya sea para motores, redes, materiales, entre otros. Las Cooperativas reciben apoyos de gobierno a través de una credencial que emite la SAGARPA: el Registro Nacional de Pesca y Acuacultura.

En cuanto a las artes de pesca, utilizan palangres y redes, aprovechando todo lo capturado: huachinango, cazón, tiburón o raya. Salen a pescar un día entero, se van 4 personas de tripulación. Se menciona que antes se pescaba en mayores cantidades pero con los años ha ido bajando la cantidad de pesca. De acuerdo con los pescadores, la disminución en la cantidad de pesca obedecería a las plataformas y a los barcos de exploración petrolera. Su zona de pesca también se habría visto reducida debido a la misma razón. Otro problema para la pesca ha sido la fuga de

¹² Ley vigente publicada en 1976.

¹³ Última reforma publicada en 2012.



hidrocarburos en los ductos. Conforme va disminuyendo la pesca, los pescadores alargan sus redes para poder cubrir un área mayor.

De acuerdo con la oficina de pesca de la SAGARPA, la gente que se dedica a la actividad pesquera en la región se ha triplicado en los últimos 30 años; asimismo, se ha reducido el tamaño de mallas, se utilizan artes de pesca no autorizadas, no se respetan las vedas y se pesca indiscriminadamente.

De acuerdo a los registros de CONAPESCA para el 2015, en Frontera hay un registro de 141 Sociedades Cooperativas y 57 permisionarios; en Atasta hay un total de 29 Cooperativas y 33 Permisionarios; mientras que en Ciudad del Carmen el número de sociedades son 109 y tan solo 9 permisionaros.

Vedas

La veda es el acto administrativo por el cual se prohíbe llevar a cabo la pesca en un periodo o zona específica, establecido mediante acuerdos o normas oficiales con el fin de resguardar los procesos de producción y reclutamiento por especie, lo anterior de acuerdo a la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable.

Existen tres tipos de veda la cuales se describen a continuación:

- Veda permanente

Es aquella en la que no se puede aprovechar el recurso en ningún momento del año, de forma indefinida.

- Veda temporal fija

Es la que se encuentra establecida por un periodo definido fijo, el cual se repite anualmente.

- Veda temporal variable

Este tipo de prohibición se establece por un periodo definido, el cual se actualiza anualmente.

En la Tabla 6.46 se presenta información sobre las vedas de las principales especies comerciales capturadas en las inmediaciones del Área Contractual 4. Es importante mencionar que esta restricción no aplica para las especies que se capturen en la zona del Área Contractual 4 ya que ésta se encuentra fuera del área de veda.



Tabla 6.46 *Vedas establecidas para las principales especies comerciales en el Área Contractual 4*

Nombre común	Especie	Tipo Veda	Zona	Periodo	Observaciones
Robalo	<i>Centropomus</i> sp.	Temporal fija	De la Barra de Chachalacas hasta la Barra de Tonalá	Del 1 de julio al 15 de agosto.	Fuera del área del proyecto
Lisa	<i>Mugil cephalus</i>	Temporal fija	Zona norte del estado de Veracruz.	Del 1 de diciembre al 31 de diciembre y del 1 de febrero al 28 de febrero.	Fuera del área del proyecto
Raya	Todas las especies	Temporal fija	Litoral del Océano Pacífico	1 de mayo a 31 de julio	Fuera del área del proyecto
Tiburón	Todas las especies	Temporal fija	Desde Tamaulipas hasta Yucatán	1 al 29 de agosto y 1 mayo al 31 de julio	En el área del proyecto

Fuente: SAGARPA, 2015

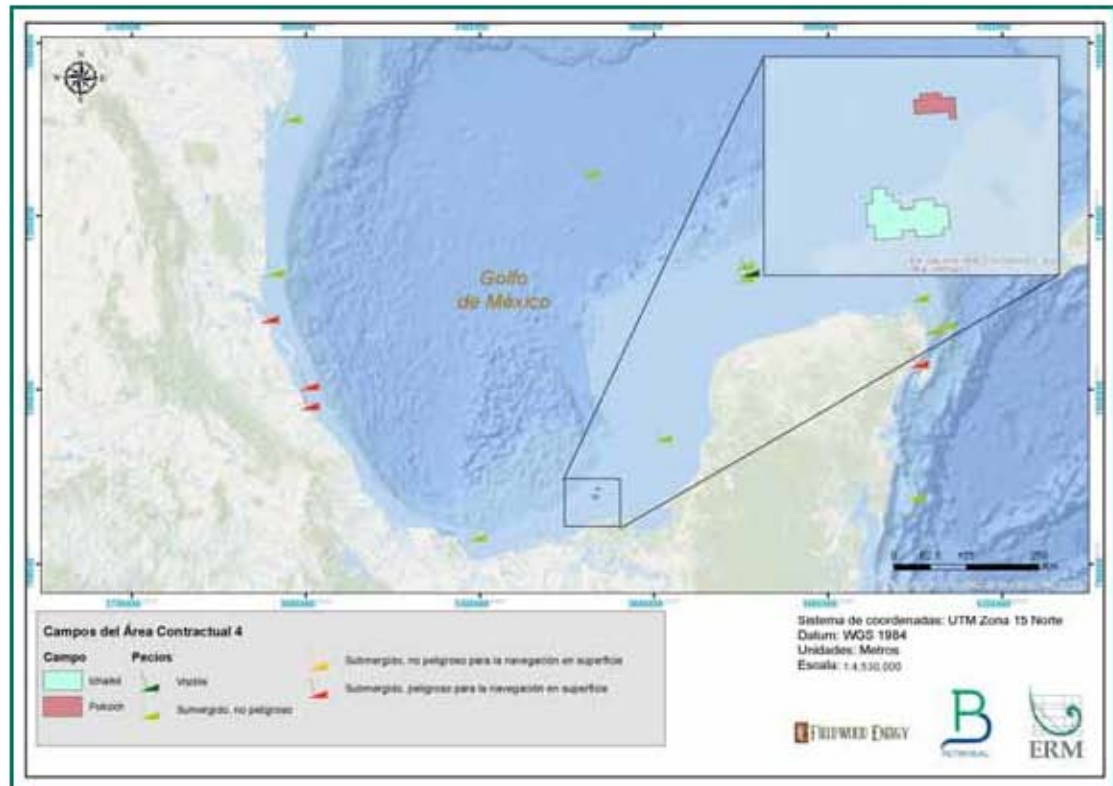
6.6.2 Patrimonio Arqueológico

La Subdirección de Arqueología Subacuática (SAS) del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) es la autoridad designada para localizar, documentar e investigar los sitios arqueológicos e históricos sumergidos a lo largo del país. Estos sitios son de importancia económica para la región ya que representan una importante fuente de ingreso turística.

En Veracruz se encuentran vestigios de embarcaciones en el Arrecife Bajo Hornos y en el Área Natural Protegida Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano yacen elementos arqueológicos. Hasta el momento se conoce que Veracruz cuenta con un total de 8 sitios arqueológicos sumergidos (Milenio, 2014).

En la región del Golfo de México se han registrado 6 naufragios, uno de ellos en Coatzacoalcos. La mayoría de los naufragios en el Golfo no representan un riesgo para la navegación ya que están sumergidos.

En la Figura 6.69 se muestran los naufragios cercanos al Área Contractual 4.



Fuente: ERM, 2016. Con base en Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, 2016

Figura 6.69 Ubicación de naufragios en el Golfo de México y su distancia respecto al Área Contractual 4

6.7. Diagnóstico ambiental

La presente sección considera los resultados de las evaluaciones ambientales realizadas en el Área Contractual 4 con el propósito de generar una línea base ambiental previa al inicio de las actividades petroleras, que permita identificar y registrar los daños ambientales y preexistentes. Se contó con dos fuentes primordiales de información:

- Información primaria obtenida durante la campaña de campo.
- Información secundaria generada de la revisión de fuentes bibliográficas disponibles.



La zona del Área Contractual 4 forma parte de un sistema de importancia ecológica, pesquera e industrial debido a su diversidad de especies, su gran potencial pesquero y por la explotación de hidrocarburos. Más del 80% del petróleo y del 95% del gas natural nacional se producen en el Golfo de México (Lara-Lara *et al.*, 2008).

De acuerdo con la revisión bibliográfica, la zona recibe un importante aporte de agua continental a través de las descargas de los principales ríos de Norteamérica. Concretamente, la sección mexicana recibe el 60% de la descarga nacional y posee el 75% de la superficie de ambientes estuarinos (Botello, Villanueva, & Díaz, 1997).

La profundidad del Área Contractual 4 varía entre los 20 y 50 m, siendo influenciada por las descargas de los ríos Grijalva y Tonalá dada su relativa cercanía.

Con respecto a los parámetros fisicoquímicos evaluados a nivel de columna de agua (salinidad, pH, temperatura, concentración de oxígeno disuelto y turbidez), se reportaron valores considerados normales o típicos para el Golfo de México. Adicionalmente, se evidenció en el área de estudio la influencia de una masa de agua oceánica: *Agua Común del Golfo*, condición esperada según la revisión de información secundaria.

En lo que concierne a los Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP), Hidrocarburos Aromáticos de Petróleo (HAP) e Hidrocarburos Monoaromáticos Volátiles (BTEX), los niveles de concentración estuvieron por debajo de los límites de cuantificación de los métodos analíticos, salvo en las muestras colectadas en las locaciones P1-F y P2-S del campo Pokoch, las cuales registraron niveles detectables de HTP - Fracción Pesada de 0.81 y 17.60 mg/L respectivamente y que superaron el valor límite de referencia establecido por la UNESCO. Este hallazgo podría tener relación con la cercanía de las chapopoterías o emanaciones naturales de petróleo existentes en el Activo Cantarell, o ser el resultado de descargas incidentales de las embarcaciones que circulan en el área de estudio o de un derrame producto de las actividades hidrocarburíferas realizadas en las inmediaciones del Área Contractual 4. Cabe señalar que no se observaron películas oleosas durante la colecta de muestras de agua de mar.

Para evaluar la concentración de nutrientes se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: amonio (NH_4), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4) y silicatos (SiO_3). La concentración de NH_4 se mantuvo por debajo del límite de cuantificación del método analítico, mientras que la de NO_2 y NO_3 varió entre 0.05 y 0.143 mg/L. Asimismo, los niveles de concentración de Silicatos-Sílice fluctuaron entre 0.44 y 5.76 mg/L, y la de Silicatos-Silicio entre 0.20 mg/L y 0.69 mg/L; en tanto que los niveles de PO_4 oscilaron entre 0.054 y 0.209 mg/L. No se observaron condiciones marcadas de eutrofización ni sectores marinos con coloración anómala asociados a eventos de “marea roja” o proliferación excesiva de microalgas.



Con respecto a las concentraciones de metales, se registraron niveles detectables de “hierro” (Fe), uno de los cuales superó el nivel de referencia establecido por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Los niveles detectables de “zinc” (Zn), “bario” (Ba) y “vanadio” (V) no llegaron a exceder los valores límite de la guía de referencia internacional.

A nivel de fondo marino, se detectó en sedimento una concentración de HTP - Fracción Pesada de 833.33 mg/kg en la estación IC2 del campo Ichalkil, valor que excedió el nivel de referencia TEL (Threshold Effect Levels = 70 mg/kg) del SQRT (Screening Quick Reference Tables) de la NOAA o valor de concentración por debajo del cual los efectos adversos esperados son raramente observados (10%). No se reportaron niveles detectables de HAP.

Asimismo, y en relación a los metales pesados, se registraron concentraciones de “bario” (Ba) por encima del TEL en cinco locaciones. Todas las muestras de sedimento marino presentaron concentraciones de “cadmio” (Cd) que superaron el nivel de referencia del TEL pero no excedieron el PEL (Probable Effect Level) o nivel de concentración por encima del cual los efectos adversos son frecuentemente observados (50%). Sin embargo, en el caso del “níquel” (Ni) se reportaron concentraciones que superaron el nivel de referencia del PEL en todas las muestras colectadas.

Por otra parte, la granulometría se caracterizó por la mayor presencia de la fracción “limo” respecto a la “arena” y “arcilla”, determinándose una marcada dominancia de la textura franco-limosa, con un contenido de materia orgánica entre 2.52 y 4.35%, y valores de potencial redox que variaron entre 121 y 190.3 mV, lo cual evidencia condiciones favorables en el medio marino para las reacciones de oxidación. No se percibieron señales de anoxia ni olor a sulfuro durante la colecta de muestras de sedimento.

En lo que concierne a la producción primaria, se determinaron 273 taxa de microalgas, entre dinoflagelados, diatomeas, silicoflagelados, cianofíceas y criptófitas; y una composición específica del fitoplancton que se caracterizó por la dominancia de la cianofícea *Nodularia harveyana* y las diatomeas *Cylindrotheca closterium*, *Diploneis* cf. *bombus*, *Diploneis* cf. *incurvata*, *Navicula* cf. *platyventris*, *Navicula* cf. *pelliculosa*, *Psammodictyon* cf. *panduriforme*, *Pseudo-nitzschia* aff. *delicatissima*, *Pseudo-nitzschia* aff. *pseudodelicatissima* y *Pseudo-nitzschia* aff. *pungens*. Cabe destacar el hallazgo de microalgas asociadas frecuentemente a la síntesis de biotoxinas y a la ocurrencia de eventos de “marea roja” o Floraciones Algas Nocivas (FAN).



Y entre los productores secundarios se registraron 33 taxa de organismos del zooplancton, siendo los grupos Cladocera y Copepoda los de mayor abundancia; y determinándose además 50 taxa de larvas de peces, destacando los géneros taxonómicos *Anchoa* y *Leiostomus* como los más representativos.

A nivel de fondo marino se registraron 16 taxa de organismos macrobénticos pertenecientes a los phyla Annelida, Arthropoda, Echinodermata y Nemertea; evidenciándose la dominancia del ofiuroido *Amphioptus sepultus* y de los poliquetos *Aricidea gracilis*, *Nephtys incisa*, *Notomastus hemipodus* y *Ninoe leptognatha*. La composición específica del macrobentos tuvo relación con el tipo de sustrato que prevalece en el área de estudio, no reportándose la presencia de organismos indicadores de afectación ambiental.

De la evaluación de pesca embarcada exploratoria se determinaron 11 especies de peces: “pargo huachinango” (*Lutjanus campechanus*), “pega pega” (*Remora remora*), “morena de margen negro” (*Gymnothorax nigromarginatus*), “anguila” (*Ophichthus gomesi*), “conejo” (*Lagocephalus laevigatus*), “raya diablito” (*Raja texana*), “cojinuda” (*Caranx crysos*), “bandera” (*Bagre marinus*), “bota” (*Balistes capriscus*), “bacalao” (*Rachycentron canadum*) y “barracuda” (*Sphyraena barracuda*). Ninguna de ellas se encuentra incluida en alguna categoría de protección ambiental establecida por la Legislación mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010).

La pesca artesanal constituye la principal actividad económica que se lleva a cabo en las inmediaciones del Área Contractual 4. De acuerdo a lo reportado durante la campaña de campo, los pescadores que realizan faenas en las cercanías del área de estudio pueden ser libres, trabajar para permisionarios o pertenecer a una sociedad cooperativa. Durante las entrevistas realizadas con pescadores artesanales locales, estos manifestaron la disminución de las capturas de recursos hidrobiológicos. Si bien es difícil determinar si esta condición es resultado de las actividades industriales, descargas o sobre explotación por parte de los pescadores, es necesario tomarlo en cuenta como una condición presente en el área.

Por otra parte, durante la evaluación de fauna marina se registraron 5 especies de aves: “fragata tijereta” (*Fregata magnificens*), “piquero marrón” (*Sula leucogaster*), “salteador robusto” (*Stercorarius pomarinus*), “playero” (*Calidris* sp.) y un Paseridae no determinado. Ninguna de ellas se encuentra incluida en alguna categoría de protección ambiental. Y entre los mamíferos marinos, solo se reportó la presencia del “delfín moteado pantropical” (*Stenella atermata*), especie incluida en la categoría *Sujetas a Protección (Pr)*. Del mismo modo, se avistaron 2 ejemplares de “tortuga laúd” o “tortuga dorso de cuero” (*Dermochelys coriacea*), especie categorizada como *En Peligro de Extinción (P)* por la Legislación mexicana.



Cabe señalar que el Área Contractual 4 se encuentra dentro de la Región Marina Prioritaria (RMP) N° 53 “Pantanos de Centla - Laguna de Términos” establecida por la Comisión Nacional para la Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). No existen sistemas de arrecifes coralinos ni Áreas Naturales Protegidas (ANP) en el Área Contractual 4 ni en sus inmediaciones. Las ANP más cercanas serían la “Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla” y el “Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos”, ubicadas en la zona costera de Campeche, a 45 km al sur del campo Ichalkil.

Habiendo revisado la información obtenida en el área de estudio se puede concluir que, en su mayoría, los parámetros evaluados se encuentran dentro de los rangos esperados según la bibliografía consultada; del mismo modo, los esfuerzos de avistamiento de fauna marina determinaron la presencia de un número reducido de organismos depredadores tope que frecuentarían la zona evaluada.

No obstante, el hallazgo en el sedimento marino de metales pesados con potencial toxicogénico y en niveles de concentración que superan el TEL, e inclusive el umbral del PEL en el caso del níquel, implicaría una condición de riesgo para la biota béntica, especialmente aquella asociada con hábitats intersticiales y de relativamente baja movilidad, como serían las especies de las clases taxonómicas Polychaeta, Ophiuroidea y Nemertea. Se evidencia una afectación antrópica, que si bien no llega a ser del todo significativa, ni podría ser atribuida de manera fehaciente a una actividad económica en particular, sí debería ser tomada en cuenta tanto como un antecedente para las actividades a realizarse en el Área Contractual 4 como para las medidas de manejo y mitigación ambiental que pudieran proponerse.

6.8. Registro y descripción de daños ambientales

En esta sección se presentan los componentes y factores ambientales que, sobre la base de la información analizada en los apartados anteriores, han sido identificados como afectados por alguna actividad antropogénica pasada o presente, haciendo énfasis en los derivados de la industria de petróleo y gas.

6.8.1 Identificación de los daños ambientales

Los daños ambientales se han dividido de acuerdo a la causa que originó esas afectaciones, y posteriormente se catalogaron de acuerdo al factor que están alterando. Se identificaron cinco causas principales de daños ambientales, las cuales son:

1. Descarga de aguas continentales,



2. Industria petrolera: actividades relacionadas directamente con la industria hidrocarburiífera sin incluir actividades de investigación,
3. Actividades antropogénicas: son aquellas que pueden o no estar derivadas de la industria petrolera,
4. Presencia de desechos marinos, y
5. Sobreexplotación de los recursos pesqueros.

Los factores alterados que se identificaron fueron los siguientes:

Medio abiótico:

- Columna de agua,
- Sedimentos.

Medio biótico:

- Fitoplancton,
- Macrobentos,
- Ictiofauna,
- Mamíferos marinos, y
- Tortugas marinas.

6.8.2 *Valor del daño ambiental*

Habiendo identificado los daños o impactos ambientales se valorizó cada uno de ellos de acuerdo a su magnitud e incidencia.

La magnitud será la cantidad y calidad del factor modificado en relación con el área de estudio.

La incidencia se refiere a la severidad, la cual es el grado y forma de la alteración; la cual está definida por la intensidad y por una serie de atributos de tipo cualitativo que caracterizan dicha alteración.

El signo del efecto alude al carácter beneficioso (expresado como +), perjudicial (expresado como -) o difícil de calificar sin mayores estudios (expresado como x), de cada una de las acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.

- Intensidad (It), grado de incidencia de la alteración.



- Extensión o escala (Ex), área de influencia del efecto en relación con el entorno considerado.
- Inmediatez (In), dependencia directa de una acción o indirecta a través de un efecto.
- Acumulación (Ac), incremento continuo de la gravedad cuando se prolonga la acción que lo genera.
- Sinergia (Si), reforzamiento de efectos simples, se produce cuando la coexistencia de varios efectos simples produce un efecto superior a su suma simple.
- Momento (Mo), lapso de tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del efecto.
- Persistencia (Pe), tiempo de permanencia del efecto.
- Regularidad (Rg), manifestación de forma regular, predecible, por tanto, o impredecible.
- Reversibilidad (Re) o posibilidad de ser asimilado por el medio, de tal manera que este, por sí solo, es capaz de recuperar las condiciones iniciales una vez producido el efecto.
- Recuperabilidad (Rc), posibilidad de recuperación mediante intervención externa
- Continuidad (Co), manifestación de forma constante en el tiempo.
- Periodicidad (Pr), manifestación de forma cíclica o recurrente en el tiempo.

Para determinar el índice de incidencia primero se caracterizan los atributos de manera formal, asignando un código o valor numérico a cada atributo, acotado entre un valor máximo para la más desfavorable (3) y uno mínimo para la más favorable (1), tal como se observa en la Tabla 6.47.

La expresión de incidencia consiste en la suma ponderada de los códigos de cada atributo, considerando la siguiente expresión:

$$\text{Incidencia (I)} = \text{It} + \text{Ex} + \text{In} + \text{Ac} + \text{Si} + \text{Mo} + \text{Pe} + \text{Rg} + \text{Re} + \text{Rc} + \text{Co} + \text{Pr}$$

En la Tabla 6.47 se asigna el código (valor) a cada atributo de los daños ambientales:



Tabla 6.47 *Determinación de códigos de atributos de daños ambientales*

Atributo	Características de los atributos	Código
Signo del efecto	Benéfico	+
	Perjudicial	-
	Difícil de calificar sin estudiar	x
Intensidad (It)	Baja	1
	Media	2
	Alta	3
Extensión (Ex)	Puntual	1
	Parcial	2
	Extenso	3
Inmediatez (In)	Indirecto	1
	Directo	3
Acumulación (Ac)	Simple	1
	Acumulativo	3
Sinergia (Si)	Leve	1
	Media	2
	Fuerte	3
Momento (Mo)	Largo plazo	1
	Medio	2
	Corto	3
Persistencia (Pe)	Temporal	1
	Permanente	3
Regularidad (Rg)	Regular	1
	Predecible	2
	Impredecible	3
Reversibilidad (Re)	A corto plazo	1
	A medio plazo	2
	A largo plazo o no reversible	3
Recuperabilidad (Rc)	Fácil	1
	Media	2
	Difícil	3
Continuidad (Co)	Discontinuo	1
	Continuo	3
Periodicidad (Pr)	Irregular	1
	Periódico	3

Fuente: ASEA 2015.

Posterior a la valoración de los atributos, se calcula el índice de incidencia, estandarizando la misma en un rango de 0 a 1, utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Índice de Incidencia} = (I - I_{\text{mínima}}) / (I_{\text{máxima}} - I_{\text{mínima}})$$

Siendo:

I = El valor de la incidencia obtenido por un impacto o daño

$I_{\text{máxima}}$ = El valor de la expresión en el caso de que los atributos se manifestarán con el mayor valor.



$I_{\text{mínima}}$ = El valor de la expresión en el caso de que los atributos se manifestarán con el menor valor.

La evaluación de daños ambientales culmina con la asignación de categorías, de acuerdo a la significancia que estos representen para los factores ambientales, previos a la valoración cualitativa de cada atributo (ver Tabla 6.48).

Tabla 6.48 *Categoría de significancia de daños ambientales*

Categoría	Interpretación	Intervalo de valores	
No relevante	Alteraciones de muy bajo impacto a componentes y factores que no comprometen la integridad de los mismos.	Menor a	0.34
Moderadamente relevante	Se afectan componentes y factores sin poner en riesgo los procesos o estructuras de los ecosistemas de los que forman parte.	0.34	0.66
Relevante	Se pueden generar alteraciones en los componentes y factores que afectaron el funcionamiento o estructura de los ecosistemas.	Mayor a	0.66

Fuente: ASEA 2015.

Habiendo establecido lo anterior se construyó la matriz donde se presentan los resultados de la valorización de los impactos ambientales (ver **Tabla 6.48**). Cada daño esta relacionado a un código el cual fue construido utilizando las primeras letras de cada origen del daño, seguido por el componente al que afecta y factor; lo anterior con el fin de ubicarlo en la matriz y en la descripción.

Ejemplo:

Daño ambiental: **ACD** Disminución en la calidad del agua como consecuencia de la descarga de aguas continentales

A= Abiótico

C= Columna de agua

D= Descarga de aguas continentales

6.8.3 *Descripción de los daños ambientales*

De acuerdo al origen, al daño y a la categoría del impacto se presenta a continuación la descripción de aquellos daños que resultaron con categoría Moderadamente Relevante (ver Tabla 6.49 y Figura 6.70).



Tabla 6.54 *Resumen de hallazgos de la inspección de los sistemas MLS de los pozos Ichalkil-1, Ichalkil-1DL y Pokoch-1*

Pozo	Hallazgos
Ichalkil-1	Ausencia de fluidos tanto en las fundaciones del pozo como en el espejo de agua
	Área de cementación de 1 m de radio y a 50 cm por debajo del nivel del lecho marino
	Capuchón del pozo de 36" en su lugar y con cuatro tornillos opresores de 1" de diámetro y 12 cm de longitud
	El cabezal del pozo emana burbujas de gas de manera intermitente cada 20 segundos
Ichalkil-1DL	Ausencia de fluidos tanto en las fundaciones del pozo como en el espejo de agua
	Área de cementación de 150 cm de radio y a 22 cm por debajo del nivel del lecho marino
	Capuchón del pozo de 36" en su lugar y solo con tres tornillos opresores de 1" de diámetro y 20 cm de longitud. Faltaría el cuarto tornillo
Pokoch-1	El capuchón del pozo de 36" se encuentra fuera de lugar y apoyado sobre un neumático. Ausencia de fluidos tanto en las fundaciones del pozo como en el espejo de agua
	Área de cementación de 57 cm de radio y a 45 cm por debajo del nivel del lecho marino
	El cabezal del pozo emana continuamente burbujas de gas

Fuente: Reportes de Inspección Diavaz Offshore, 2016

Asimismo, en la Tabla 6.55 se presentan los criterios empleados para examinar la integridad de los MLS. Los reportes de inspección correspondientes se adjuntan en el Anexo 6.1.

Tabla 6.55 *Criterios empleados para la inspección de los MLS de los pozos Ichalkil-1, Ichalkil-1-DL y Pokoch-1*

Criterio de inspección	Pozos		
	Ichalkil-1	Ichalkil-1DL	Pokoch-1
Condición general del equipo de suspensión de tuberías (Buena / Regular / Deficiente)	Buena	Regular. El capuchón del pozo no se encuentra en su posición, y los tornillos opresores no están en su lugar	Regular. Falta uno de los cuatro tornillos opresores del cabezal del pozo
Alguna protección alrededor del pozo (Sí / No)	No	No	No
Evidencia de daño físico en el equipo (barreras,	Ninguna	Ninguna	Ninguna



Criterio de inspección	Pozos		
	Ichalkil-1	Ichalkil-1DL	Pokoch-1
jaulas de protección o deflectores de arrastre)			
Evidencia de daño o impacto mecánico (Sí / No)	No	No	No
Naturaleza del daño mecánico (cortes, hendiduras, agrietamientos, abolladuras)	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Condición de corrosión, erosión o desgaste (Sin daño, Leve / Moderada / Severa)	Sin daño	Sin daño	Leve corrosión en el capuchón del pozo
Filtraciones o emanación de burbujas desde el cabezal del pozo (Sí / No)	Sí. Burbujeo cada 20 segundos a la altura de uno de los tornillos opresores, por debajo del sello del capuchón del pozo	No	Sí. Emanación continua de burbujas desde el cabezal del pozo

Fuente: Reportes de Inspección Diavaz Offshore, 2016

Cabe destacar que los hallazgos relativos a las emanaciones de burbujas de gas detectadas en los pozos Ichalkil-1 y Pokoch-1, así como también la descolocación del capuchón y de los tornillos de opresión reportada en este último, califican como daños preexistentes.

6.9.3 Información de las condiciones ambientales históricas

La intensificación de las actividades de transporte de petróleo, las descargas y el lavado de buques-tanque, constituyen la mayor fuente de contaminación derivada de la industria del petróleo en los ambientes costeros del Golfo de México (Botello *et al.*, 1992). Existe evidencia de elevados índices de presencia de hidrocarburos en mar abierto en la región del Golfo y el mar Caribe, donde áreas localizadas mayormente en la Sonda de Campeche rebasan los límites permisibles de concentración de hidrocarburos de $0.03 \mu\text{g/L}^{-1}$ de la US EPA (1988) y $0.20 \mu\text{g/L}^{-1}$ (Unión Europea). El estado de Campeche ocupa el primer lugar en las concentraciones de hidrocarburos dispersos en aguas costeras y marinas con un promedio de $48 \mu\text{g/L}^{-1}$, seguido por el mar Caribe con $15 \mu\text{g/L}^{-1}$ (Ponce y Botello, 2005).



La contaminación que ingresa a las lagunas, ríos, estuarios y al mar del Golfo de México proviene principalmente del procesamiento de alimentos, de la refinación del azúcar, la explotación petroquímica, y de las aguas residuales agrícolas y domésticas (Rosas *et al.*, 1983). La zona marina al sur del Golfo recibe importantes aportes fluviales de los ríos González, Grijalva, San Pedro - San Pablo, Champotón, Lerma y de las bocas de la Laguna de Términos. Asimismo, las actividades petrolera y pesquera, y el tráfico marítimo, modifican las concentraciones de sedimentos y metales traza en el ambiente marino (Vázquez Gutiérrez *et al.*, 1999). Muchos de los programas de seguimiento ecológico se han llevado a cabo en las zonas cercanas a las refinerías de petróleo a fin de evaluar el impacto que estas tienen sobre el medio ambiente. La mayoría de los estudios han analizado el impacto en el medio marino o de estuario, especialmente de refinerías que descargan en las zonas intermareales (CINVESTAV, 2013).

En las aguas congénitas vertidas desde las zonas petroleras, se encontró que varios metales podrían estar presentes en concentraciones mucho más elevadas que en el agua de mar circundante (1 000 veces o más). Los metales más frecuentemente detectados en concentraciones elevadas en el agua congénita son bario, hierro, manganeso y zinc. Cuando se descargan en aguas superficiales ricas en sulfato y bien oxigenadas, el hierro y el manganeso disueltos pueden precipitar como óxidos y, por tanto, instalarse fuera de la columna de agua y acumularse en los sedimentos alrededor de la descarga. Dependiendo del régimen de corrientes del sitio de interés, estos óxidos metálicos podrían dispersarse en un área grande, elevando sus concentraciones en los sedimentos del fondo marino (Yeung *et al.*, 2011).

Asimismo, el diagnóstico ambiental del Golfo de México en cuanto a hidrocarburos es regular, de acuerdo al estado que tenía antes de 1981. Sin embargo, si se considera el valor de fondo propuesto en el 2004, su estado sería bueno ya que no se rebasan los límites establecidos por la Legislación europea.

Del monitoreo de calidad de aire realizado en el año 2013 por el CINVESTAV, y en cuanto a los niveles de gases contaminantes y de efecto invernadero en zonas cercanas al Área Contractual 4, se encontró que de acuerdo a la normatividad nacional vigente se rebasan los límites máximos de los parámetros Dióxido de Azufre (NOM-022-SSA1-1993), Dióxido de Nitrógeno (NOM-023-SSA1-1993) y Ozono (NOM-020-SSA1-1993). Además, se evidenció que las concentraciones más altas de Monóxido de Carbono (CO) fueron reportadas en el área de plataformas al noroeste de Ciudad del Carmen (Campeche), cerca de los campos del Área Contractual 4. Por otro lado, al analizarse las emisiones a la atmósfera desde la costa, se encontró que estas no superaron los límites máximos permisibles de la Legislación nacional vigente (CINVESTAV, 2013).



La concentración promedio de Dióxido de Carbono (CO₂) en el área de estudio fue de 280.12 ppm, con un valor máximo reportado de 329.10 ppm, donde las concentraciones más elevadas se presentaron en el área de plataformas con niveles superiores a 300 ppm. Cabe mencionar que dichos valores se encuentran por debajo del límite sugerido por la Comunidad Económica Europea (CEE) y diversas ONGs de 350 ppm (CINVESTAV, 2013).

Asimismo, la concentración promedio en la zona de partículas suspendidas totales (PSTs) y de partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) se encontraron por debajo de los límites establecidos en la NOM-025-SSA1-1993 (CINVESTAV, 2013).

Las concentraciones promedio de metales en la atmósfera (Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni y V) presentaron valores muy bajos, los cuales cumplieron con los límites aplicables para ambiente laboral de acuerdo a la NOM-010-STPS-1999. Y para el caso del plomo, se observó que los niveles detectados en toda el área de estudio estuvieron por debajo del límite establecido en la NOM-026-SSA1-1993 (CINVESTAV, 2013).

Por lo anterior, se concluye que no existiría mayor afectación de la calidad del aire en la zona del Área Contractual 4, ya que casi todos los parámetros se encuentran muy por debajo de los límites máximos establecidos en las normas oficiales de referencia.

6.9.4 Resultados de la presente evaluación ambiental

Durante la colecta de muestras realizada en el marco de la presente evaluación ambiental, no hubo hallazgos de evidencias visuales (sobrenadantes de hidrocarburos, manchas de grasa) ni olfativas de afectación por hidrocarburos en el agua ni en el sedimento marino. Los resultados de los análisis de laboratorio se resumen a continuación:

A nivel de calidad de sedimento marino:

Hidrocarburos:

Solo una muestra proveniente del campo Pokoch presentó excedencia en el criterio de comparación de la UNESCO para la fracción pesada de HTP; sin embargo, en ninguna de las muestras restantes se detectó hidrocarburos por encima del nivel de cuantificación del método analítico de laboratorio.

Metales

Cadmio: Se excedió el criterio de comparación SQuiRTs de la NOAA en todas las estaciones de muestreo, detectándose concentraciones entre 1.11 y 1.63 mg/kg (TEL=



0.68 mg/kg). El valor más alto fue registrado en la locación PC1 del campo Pokoch (1.86 mg/kg).

Níquel: Se excedieron ambos niveles establecidos en los criterios de comparación de SQuiRTs de la NOAA en todas las estaciones de muestreo, detectándose concentraciones entre 60.59 y 75.55 mg/kg (TEL= 15.90 mg/kg, PEL= 42.80 mg/kg), con el valor más alto en la locación D3 ubicada al suroeste del campo Ichalkil.

Bario: Se excedió el límite del TEL (130.10 mg/kg) establecido en el criterio de comparación SQuiRTs de la NOAA en las estaciones de muestreo IC1 y D4, con valores de 316.07 y 221.96 mg/kg respectivamente. Cabe mencionar que en todas las demás muestras se detectaron concentraciones de este metal aunque por debajo de la normativa de referencia.

Otros metales detectados, pero en concentraciones por debajo de los valores guía de referencia o que no tienen criterio de comparación, fueron: hierro, zinc, plomo, cobre, vanadio, bario, litio, manganeso y molibdeno.

A nivel de calidad de agua de mar:

Hidrocarburos:

Se detectaron dos muestras dentro del campo Pokoch con excedencias de HTP - Fracción Pesada de los valores guía de referencia de la UNESCO; sin embargo, en las muestras restantes no se detectaron hidrocarburos por encima del nivel de cuantificación de los métodos analíticos, tanto para HTP como para HPA.

Metales:

Hierro: Se detectó por encima de los criterios de comparación de la UNESCO en la muestra P2-S ubicada en el campo Pokoch. Para las muestras restantes no hubo detecciones que superaran el límite de cuantificación del laboratorio.

Cobre: Se detectó por encima de los criterios de comparación de SQuiRTs de la NOAA en la muestra Dupli-1-agua correspondiente al campo Ichalkil. Para las muestras restantes no hubo detecciones que superaran el límite de cuantificación del laboratorio.

Otros metales detectados por encima del límite de cuantificación del laboratorio fueron: zinc, cromo, vanadio y bario, pero por debajo de los criterios de comparación. El resto de los metales no fueron detectados por encima del límite de cuantificación en las muestras de agua.



Sólidos Suspendidos Totales (SST): La concentración de SST se detectó entre 140 y 304 mg/L a nivel superficial, 138 y 230 mg/L a nivel medio y entre 118 y 224 mg/L a nivel de fondo. No se identificó una tendencia específica entre los puntos de muestreo.

Clorofila a: Se detectó en la mayoría de los puntos de muestreo en todos los niveles por encima de las concentraciones típicas reportadas para el sur del Golfo de México de 0.00004 mg/L lo cual nos indica una biomasa fitoplanctónica elevada en dichos puntos.

6.9.5 *Conclusión*

La ASEA establece que “Daño Ambiental significa, la pérdida, cambio, deterioro, menoscabo, afectación o modificación adversa y mensurable de los ecosistemas y de los elementos y recursos naturales que los comprenden, incluyendo de manera enunciativa más no limitativa sus hábitats, el agua, el suelo, el subsuelo, la flora y la fauna, así como de las condiciones químicas, físicas o biológicas de dichos ecosistemas, elementos y recursos naturales, de las relaciones de interacción que se dan entre estos, así como de los servicios ambientales que proporcionan, derivada de hechos de la naturaleza o actividades humanas”. Además, indica que “Pasivo Ambiental, significa, sin importar su causa u origen, aquellos sitios contaminados por la liberación de materiales o residuos peligrosos, que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de contaminantes, y cualesquier otros Daños Ambientales, presentes en el Área Contractual antes del inicio de la Fecha Efectiva”.

De acuerdo con la información bibliográfica, el Área Contractual 4 se ha visto afectada en mayor o menor grado por actividades antropogénicas como la extracción de hidrocarburos, pesca, tráfico marino, diversas industrias y desechos urbanos, entre las principales, que se han llevado a cabo históricamente en la zona costera y marina, impactando por tanto los ecosistemas acuáticos desde tiempos previos a la instalación de los pozos Ichalkil-1, Ichalkil-1DL y Pokoch-1.

Del mismo modo, los niveles de concentración en el sedimento de HTP-Fracción Pesada y de ciertos metales como cadmio, níquel y bario, obedecerían a los procesos geoquímicos propios del Golfo, incluyendo la existencia de emanaciones naturales de hidrocarburos (o chapopoterías) cercanas al Área Contractual 4; y también tendrían relación con los aportes de origen antrópico a través del aforo de los ríos o de las actividades propias de la industria del petróleo, en especial la probable descarga incidental de cortes y lodos de perforación. Las concentraciones detectadas durante la presente evaluación, superan los valores guía de referencia y podrían representar un riesgo para el ecosistema en cuanto a sus efectos biológicos (ver Tabla 6.56). A esta condición actual se le considera un daño ambiental.



A fin de determinar la presencia de daños preexistentes en los campos del Área Contractual 4 se realizó una inspección visual detallada de la integridad de los pozos Ichalkil-1, Ichalkil-1DL y Pokoch-1, específicamente de sus sistemas de suspensión mud line, detectándose emanaciones de burbujas de gas en los cabezales de Ichalkil-1 y Pokoch-1, así como también la descolocación del capuchón y de los tornillos de opresión en Pokoch-1.

Por lo tanto, con base en a los resultados obtenidos y cuyos resultados hacen referencia a un único momento temporal, se concluye que existen evidencias de daño ambiental en el ecosistema marino así como de pasivos ambientales en el Área Contractual 4, los cuales constituyen daños preexistentes conforme se estipula en las cláusulas 1.1 y 13.4 del Contrato Para la Extracción de Hidrocarburos Bajo la Modalidad de Producción Compartida. En particular, se hace notar, independientemente de su causa u origen, la existencia de emanaciones de burbujas de gas detectadas en los cabezales de los pozos Ichalkil-1 y Pokoch-1, así como la remoción del capuchón y de los tornillos de opresión reportada

Finalmente, y en el marco de los hallazgos obtenidos, cabe recalcar que no se descarta la existencia de daños ambientales o daños preexistentes en aquellas cinco locaciones donde no pudieron colectarse muestras de sedimento por disposición de Control Marino de PEMEX.



Tabla 6.56 Resultados analíticos de calidad de sedimento marino en las muestras colectadas en el Área Contractual 4

Muestra	CEQG		SQuiRTs		P1-sed	P2-sed	P3-sed	PC1-sed	Dupli-sed	I1-sed
Fecha de Muestreo	del CCME		de la NOAA		13/04/2016	30/01/2016	30/01/2016	30/01/2016	31/01/2016	31/01/2016
Profundidad	ISQG	PEL	TEL	PEL	40.9	38.0	44.0		44.0	29.0
Unidades	mg/kg		mg/kg		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Parámetro										
<i>Metales</i>										
Cadmio	0.70	4.20	0.68	4.21	1.16	1.59	1.51	1.86	1.56	1.22
Níquel	-	-	15.90	42.80	54.58	70.94	73.90	82.81	74.59	62.41
Bario	-	-	130.10	-	279.22	502.76	67.98	419.35	178.25	75.85

Muestra	CEQG		SQuiRTs		I2-sed	I4-sed	IC1-sed	IC2-sed	D3-sed	D4-sed
Fecha de Muestreo	del CCME		de la NOAA		13/04/2016	13/04/2016	13/04/2016	13/04/2016	13/04/2016	13/04/2016
Profundidad	ISQG	PEL	TEL	PEL	28.0	35.0	30.0	30.0	30.0	26.0
Unidades	mg/kg		mg/kg		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Parámetro										
<i>Metales</i>										
Cadmio	0.70	4.20	0.68	4.21	1.23	1.36	1.63	1.11	1.25	1.16
Níquel	-	-	15.90	42.80	60.59	73.96	69.98	67.71	75.55	67.31
Bario	-	-	130.10	-	52.18	81.86	316.07	26.34	45.89	221.96

Fuente: ERM 2016

Nota: Resultados únicamente de aquellos parámetros que excedieron algún criterio de comparación.

VALOR Los valores resaltados indican excedencias a los criterios de comparación SQuiRTs de la NOAA



7. Referencias

- Acosta, L. 1976. Estudio de contaminación en el estuario del río Pánuco. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 157 pp.
- Aguilar-Aguilar, R. and R. Contreras-Medina. 2003. La distribución de los mamíferos marinos de México: un enfoque panbiogeográfico. In *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*, J. Llorente-Bousquets and J. J. Morrone (eds.). Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias. UNAM. México, D. F. p. 213-219.
- Aguilar-Castro, N.A. 2003. Ecología trófica de juveniles del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) en el golfo de California. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California, 113 pp.
- Alamo, V., Valdivieso, M. 1997. Lista sistemática de moluscos marinos del Perú. Segunda edición. IMARPE. Callao. Perú.
- Álvarez, R.U. 1983. Distribución de metales pesados en sedimentos del río Blanco, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, 68 pp.
- Álvarez, R.U., Rosales, H.L., Carranza, E.A. 1986. Heavy metals in blanco river sediments, Veracruz, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 13(2): 1-10.
- American Ornithologists' Union (AOU). 1998. Check-list of North American birds. 7th ed. American Ornithologists' Union, Washington, D. C. 829 p.
- Antolif F., V., 1986. Los moluscos de las lagunas del Carmen y Machona, Tabasco. Mem. II Reunión Nal. Malacología y Conquiliología. 63-74
- Aquino-Cruz, A., Hernández-Becerril, D.U., Signoret-Poillon, M., Salas-De-León, D.A., Monreal-Gómez, M.A. 2013. Studies on picophytoplankton in the southern Gulf of Mexico: recognition of picoprokaryotes and abundances of picophytoplankton during "dry season". *Brazilian Journal of Oceanography*, 61(4): 265-276.
- Arriaga, L., Aguilar, V., Alcocer, J. 2002. Aguas continentales y diversidad biológica de México. CONABIO, México, D.F. Recuperado en diciembre de 2015, de CONABIO:
<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/hidrologicas.html>



- Arriaga, L., Vázquez, E., González, C., Jiménez, R., Muñoz, L., Aguilar, S. 1998. Regiones marinas prioritarias de México. Recuperado en diciembre de 2015, de CONABIO:
<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/marinas.html>
- Arriola-Pizano, J.G. 2012. Estimación de la biomasa y composición del zooplancton en la región del cañón de Campeche. Tesis Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 68 pp.
- ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1989. Decision guide for identifying substances specific data needs related to toxicological profiles; Notice. Fed Regist 54(174): 37618-37634.
- Ayala-Castañares, A. Gutiérrez-Estrada, M. 1990. Morfología y sedimentos superficiales de la plataforma continental frente a Tabasco y Campeche, México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 17: 163-190.
- Banse, K. & Hobson, K. 1974. Benthic errantiate polychaetes of British Columbia and Washington. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 185. Canada.
- Barbosa-Ledesma, I.F., Solís-Marín, F.A., Laguarda-Figueras, A. 2000. New records for cidaroid echinoids (Echinodermata: Echinoidea) of the Gulf of Mexico, Mexico. Revista de Biología Tropical, 48(2-3): 721.
- Barrera E.G. 2006. Toxicidad de cromo y cadmio en ostión *Crassostrea virginica* de la laguna de Mandinga, Veracruz. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 229 pp.
- Baumgartner, M. F.; K. D. Mullin, L. N. May and T. D. Lering. 2001. Cetacean habitats in the northern Gulf of Mexico. Fishery Bulletin 99:219-239.
- Berlanga, H., Rodríguez, V. 2010. Las aves migratorias: A prueba de muros. Iniciativa para la conservación de las aves de América del Norte. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- Betanzos, A., Capetillo, N., & Lopeztegui, A. (2011). Variaciones de la turbidez en aguas marinas costeras de la región norcentral de Cuba. UNACAR Tecnociencia, 14-26.
- Biggs, D. C.; R. R. Leben and J. G. Ortega-Ortiz. 2000. Ship and satellite studies of mesoscale circulation and sperm whale habitats in the northeast Gulf of Mexico during Gulf Celt II. Gulf of Mexico Science 18:15-22.



- Bildstein, K.L., Zalles, J. 2001. Raptor migration along the Mesoamerican land corridor, En: Bildstein, K.L., Klem Jr, D. (Eds.), Hawk watching in the Americas. Hawk Migration Association of North America, North Wales, Pensilvania, pp. 119-141.
- Blanco CG, Prego R, Azpíroz MDG, Domínguez Fernández (2006) Caracterización de hidrocarburos en sedimentos de la Ría de Laxe y su relación con el vertido del Prestige (no de la Península Ibérica). *Ciencias Marinas*, Vol 32, Número 02B: pp 429-437.
- Block, B.A., Dewar, H., Blackwell, S.B., Williams, T.D., Prince, E.D., Farwell, C.J. 2001. Migratory movements, depth preferences, and thermal biology of Atlantic bluefin tuna. *Science*, 293: 1310-1314.
- Botello, A.V., Páez-Osuna, F. 1986. El problema crucial: La contaminación. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Centro de Ecodesarrollo. Vol. I. México, 180 pp.
- Botello, A.V., Ponce, V.G., Macko, S.A. 1996. Niveles de concentración de hidrocarburos en el Golfo de México, En: Botello, A.V., Rojas-Galaviz, J.L., Benítez, J.A., Zarate-Lomeli, D. (Eds.). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y tendencias. Universidad Autónoma de Campeche, Serie Científica, 5, pp. 225-253.
- Botello, A.V. 1996. Características, composición y propiedades fisicoquímicas del petróleo. pp. 203-2010. En: Botello, A.V., Rojas-Galaviz, J. L., Benítez, J. A., Zárate-Lomeli (Eds.). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. EPOMEX. Serie Científica 5. Universidad Autónoma de Campeche, México, 666 pp.
- Botello A.V., Rendón von Osten J., Gold-Bouchot G., Agraz-Hernández C. 2005. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Segunda Edición.
- Bowie, A., Whitworth, D., Achterberg, E., Mantoura, R., Fauzi, C., Worsfold, P. 2002. Biogeochemistry of Fe and other trace elements (Al, Co, Ni) in the upper Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research I*, 49: 605-636.
- Breit, G.N., Wanty, R.B. 1991. Vanadium accumulation in carbonaceous rocks: A review of geochemical controls during deposition and diagenesis. *Chemical Geology*, (91): 83-97.
- Brown, J., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D., & Wright, J. (1989). *Seawater: its composition, properties and behaviour*. Oxford: The Open University.



- Bryan, G.W., Hummerstone, L.G. 1978. Heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia plana* from contaminated and uncontaminated estuaries. *Journal Marine Biological Association, U.K.*, 58: 401-419.
- Bryant, W.R., Lugo, J. Cordova, C., Salvador, A. 1991. Physiography and bathymetry: The geology of North America, Vol. J: Geological Society of America, *The geology of North America*, pp. 13-30.
- Bullock, L.H., Smith, G.B. 1991. Seabasses (Pisces: Serranidae). *Memoirs of the Hourglass Cruises. Part II (Vol. 3)*. St. Petersburg, Florida: Florida Marine Research Institute Department of Natural Resources.
- Capel-Molina, J.J. 1980. La humedad relativa en los Estados Unidos Mexicanos. *Revista Paralelo*, 37(4): 175-190.
- Carranza, A., Gutiérrez, E.M., Rodríguez, T.R. 1975. Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 2(1): 81-88.
- Caso, M., Pisanty, I., & Ezcurra, E. (2004). *Diagnóstico Ambiental del Golfo de México*. Mexico: INE- SEMARNAT.
- Caso, M.E. 1971. Contribución al conocimiento de los equinoideos de México. Estudio morfológico de *Brissopsis alta* Mortensen, erizo de profundidad. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, (1): 41-56.
- Castro-Aguirre J.L., Márquez-Espinoza, A. 1981. Contribución al conocimiento de la ictiofauna de la isla de Lobos y zonas Adyacentes. Veracruz-México. Dirección General del Instituto Nacional de Pesca, 22: 1-85.
- Castro-Aguirre, J.L., Espinosa-Pérez, H.S., Schmitter-Soto, J.J. 1999. Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México. *Limusa, México*.
- Cavaliere, E.L. Rogan, E.G., Murray, W.J., Ramakrishna, N.V. 1993. Mechanistic aspects of Benzo(a)pyrene metabolism. Supplement to vol. 3 of *The J. Polycyclic Aromatic Compounds*, pp. 397-404. In: *Polycyclic Aromatic Compounds, Synthesis, Properties, Analytical Measurements, Occurrence and Biological Effects, Proceedings of the 13th International Symposium on Polynuclear Aromatic Hydrocarbons*. Garrigues, P., Lamote, M. (Eds.). Gordon & Breach Science Publishers, Bordeaux, France, 1264 pp.
- Chase, B.C. 2002. Differences in diet of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) at five seasonal feeding grounds on the New England continental shelf. *Fishery Bulletin*, 100: 168-180.



Chávez E.A., J.W. Tunnell Jr., K. Withers. 2007. Reef Zonation and Ecology: Veracruz Shelf and Campeche Bank. Cap. 5, pp. 41-67. In: Tunnell Jr. J.W., E.A. Chávez & K. Withers (Ed.). *Coral Reef of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press College Station, 194 pp.

Chávez, E., Hidalgo, E., Sevilla, M.L. 1970. Datos acerca de las comunidades bentónicas del Arrecife de Lobos, Veracruz. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 211-280.

Chirichigno, N. 1980. Lista de crustáceos del Perú (decapada y stomatopoda). IMARPE, informe No. 35. Callao. Perú.

CICESE, 2015. Programa MAR V1.0. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Accedido: 21 de febrero de 2016. Obtenido de: <<https://hycom.org/data/goml0pt04/expt-20pt1>>.

Cifuentes, J. L., Torres- García, P., & Frías, M. (2015). El océano y sus recursos III. Las Ciencias del Mar: Oceanografía Física, Matemáticas e Ingeniería. Recuperado el 25 de Febrero de 2016, de <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/17/htm/oceno.htm>

CINVESTAV. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados. 2000. Reporte del proyecto Evaluación Prospectiva para el Programa de Monitoreo Continuo del Efecto Ambiental de la Actividad Petrolera en el Golfo de México-Quinta Campaña Oceanográfica XCAMBO-1, CINVESTAV, Depto. de Recursos del Mar, Unidad Mérida.

CLIFFORD, H and STEPHENSON, W. 1975. An introduction to numerical classification. Academic Press. London.

COFEPRIS - Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. 2014. Marea roja: Antecedentes en México. <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Marea%20Roja/AntecedentesMexico.aspx>

Collins, A.B. 2009. Preliminary assessment of the abundance and size distribution of Goliath Grouper *Epinephelus itajara* within a defined region of the Central Eastern Gulf of Mexico. Guadeloupe, French West Indies: Proceedings of the 61st Gulf and Caribbean Fisheries Institute.

Comisión Nacional de Área Naturales Protegidas. 2011. Programa de Acción para la Conservación de la Especie: tortuga caguama, *Caretta caretta*. Dirección General de Operación Regional Dirección de Especies Prioritarias para la Conservación Programa Nacional de Conservación de Tortugas Marinas. México.



- Comisión Nacional de Area Naturales Protegidas. 2013.
http://www.conanp.gob.mx/difusion/comunicado.php?id_subcontenido=411.
- Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH). Cuencas del Sureste Aguas Someras, Síntesis geológico petrolera. México, 2014.
- CONABIO. 2004. Regionalización. Recuperado el 31 de mayo de 2014, de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad:
<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/regionalizacion.html>
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2010. Estadísticas del Agua en México (varios años). Recuperado en diciembre de 2015, de CONAGUA:
http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=46
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2011. Estadísticas del agua en México. Capítulo 2: Situación de los recursos hídricos, pp. 18-42.
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2012. Atlas digital del agua México, Sistema Nacional de Información del Agua. Recuperado en diciembre de 2015 de CONAGUA: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/>
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2013. Indicadores de la calidad del agua. Recuperado en diciembre de 2015 de CONAGUA:
<http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=63&n3=98&n4=98>
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2015. Ciclones, Información Histórica. Recuperado en diciembre de 2015 de CONAGUA:
http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=46
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2010. Estadísticas del Agua en México (varios años). Recuperado en diciembre de 2015, de CONAGUA:
http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=46
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2011. Estadísticas del agua en México. Capítulo 2: Situación de los recursos hídricos, pp. 18-42.
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2012. Atlas digital del agua México, Sistema Nacional de Información del Agua. Recuperado en diciembre de 2015 de CONAGUA: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/>
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2013. Indicadores de la calidad del agua. Recuperado en diciembre de 2015 de CONAGUA:
<http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=63&n3=98&n4=98>
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2015. Ciclones, Información Histórica. Recuperado en diciembre de 2015 de CONAGUA:
http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=46



Corriero, A., Karakulak, S., Santamaria, S., Deflorio, M., Spedicato, D., Addis, P. 2005. Size and age at sexual maturity of female bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L., 1758) from the Mediterranean Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, 21: 483-486.

Cowles, T. J., R.A. Desiderio & S. Neuer. 1993. In situ characterization of phytoplankton from vertical profiles of fluorescence emission spectra. *Marine Biology* 115: 217-222.

D.O.F. 2000. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Reformada LGEEPA. Diario Oficial de la Federación. Publicado el 7 de enero de 2000, México, D.F.

Davis, R. W.; J. G. Ortega-Ortiz, C. A. Ribic, W. E. Evans, D. C. Biggs, P. H. Ressler, R. B. Cady, R. R. Leben, K. D. Mullin and B. Würsig. 2002. Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 49:121-142.

De la Lanza Espino, G., Gómez Rojas, J.C. 2004. Características Físicas y Químicas del Golfo de México, En: Caso, M., Pisanty, I., Ezcurra, E. Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México, D.F., pp. 103-132.

De Lanza, G. y Gómez, J. 2004. Características Físicas y Químicas del Golfo de México. Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Pp 125-129.

DE LA LANZA E., G., L. SOTO G. y C. TOVILLO H., 1988. Productividad primaria comparativa en macro y microfitas de la laguna de Términos. Res. II y III SOMPA. 3.

Díaz Flores, R. (1998). Estudio de la influencia de algunos contaminantes en el fitoplancton de la region de plataformas petroleras del sur del Golfo de Mexico, frente a la sonda de Campeche y Tabasco . México: UNAM.

Díaz, R., & Rosenberg, R. (1995). Marine Benthic Hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanic and marine biology*, 33, 245- 303.

Díaz, R., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926- 929.

Duck Unlimited Mexico - DUMAC. 2008. Estrategia para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de las Aves Acuáticas y su Hábitat en México.

DUMAC. Ducks Unlimited de México. 1990. Áreas Lacustres de México. Plan Maestro Año 2000. DUMAC, 12(1): 4-12.



Eayrs, S. (2007). FAO. Recuperado el 25 de Febrero de 2016, de Guía para reducir la captura de fauna incidental (bycatch) en las pesquerías por arrastre de camarón tropical: <http://www.fao.org/docrep/015/a1008s/a1008s.pdf>

Elias, R.; Bremec, C. S. y Vallarino, E. A. Polychaetes from a southwestern shallow shelf Atlantic area (Argentina, 38 S) affected by sewage discharge. *Rev. chil. hist. nat.*, set. 2001, vol.74, no.3, p.523-531.

Elliott, B.A. 1982. Anticyclonic rings in the Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*, 12: 1292-1309. American Meteorological Society. Washington, D.C. En: Caso M.; I. Pisanty y E. Ezeurra (Eds.). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología; Instituto de Ecología, A. C. y Harte Research Institute for Gulf of México Studies. 626 p.

Emerson, S.E., Husted, S.S. 1991. Ocean anoxia and the concentrations of molybdenum and vanadium in seawater. *Marine Chemistry*, (34): 177-196.

EPA. (25 de Enero de 2016). National Recommended Water Quality Criteria. Recuperado el 25 de Febrero de 2016, de Aquatic Life Criteria Table: <http://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table>

EPA. (7 de Agosto de 2001). National Recommended Water Quality Criteria. Recuperado el 25 de Febrero de 2016, de Appendix 2: Summary of water Quality Guidelines for Turbidity, Suspended and Benthic Sediments: <http://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/sediment-appendix2.pdf>

Eckert, K.L. 2001. Status and Distribution of the Leatherback Turtle, *Dermochelys coriacea*, in the Wider Caribbean Region, p.24-31. En: K. L. Eckert and F. A. Abreu Grobois (Editors), Proceedings of the Regional Meeting: "Marine Turtle Conservation in the Wider Region for Effective Regional Management," Santo Domingo, 16-18 Caribbean Region: A Day November 1999. WIDECAST, IUCN-MTSG, WWF and UNEP-CEP. xx+ 154 pp.

Escobar-Briones, E. 2004. Estado del conocimiento de las comunidades benthicas en el Golfo de México. En: Caso, M., Pisanty, I., Ezeurra E. Diagnóstico ambiental del Golfo de México, pp. 201-246.

Espina, S., Vanegas, C. 2005. Ecotoxicología y contaminación, En: Botello, A.V., Rendón-von Osten, J., Gold-Bouchot, G., Agraz-Hernández, C. (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, segunda



Ed. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, pp. 79-120.

Espinosa Pérez, H. 1999. Listado de peces mexicanos. Colección Nacional de Peces. Instituto de Biología, unam. Bases de datos snib-conabio, proyecto K006.

Esslemont, G. 2000. Heavy metals in seawater, marine sediments and corals from the Townsville section, Great Barrier Reef Marine Park, Queensland. *Marine Chemistry*, 71(3-4): 215-231.

FAO. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1977. FAO species identification sheets, fishing area 31 (W. Cent. Atlantic), Roma, FAO.

Fassbender, H., Bornemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica, 420 pp.

Fauchald, K. 1977. The Polychaete Worms, definitions and keys to the orders, familias and genera. Natural History Museum of Los Angeles County. Science series 28.

Fishbase. (s.f.). Fishbase. Recuperado de www.fishbase.org

Flores M., M. y S. Gómez A., 1987. Sistemática abundancia y distribución estacional de meroplankton de crustáceos decápodos en las lagunas costeras El Carmen-La Machona, Tabasco. Res. IX Congr. Nal. Zool. 106.

Flores-Coto, C., Sanvicente-Añorve, L., Pineda-López, R., Rodríguez-van Lier, M.A. 1988. Composición, distribución y abundancia ictioplanctónica en el sur del Golfo de México. *Universidad y Ciencia*, 5(9): 65-84.

Frías-Torres, S. 2006. Habitat use of juvenile goliath grouper *Epinephelus itajara* in the Florida Keys, USA, *Endangered Species Research*, 2: 1-6.

Froelich, N.P., Atwood, K.D., Giese, G.S. 1978. Influence of Amazon River discharge on surface salinity and dissolved silicate concentration in the Caribbean. *Deep Sea Research*, 25: 735-744.

Galindo, R.J.G., 1988. Contaminación en los ecosistemas costeros. Un enfoque ecológico. Cuadernos Docentes. Coordinación General de Investigación y Posgrado. Univ. Autón. Sin., México, 58 p.



García-Cuéllar, J. Á., Arreguín-Sánchez, F., Hernández, S., & Lluch-Cota, D. (2004). Impacto ecológico de la industria petrolera en la Sonda de Campeche, México, tras tres décadas de actividades: una revisión. *Interciencia*, 29, 311- 19.

García, C.J.A. 2006. Análisis del impacto de la industria petrolera en el ecosistema y su relación con las pesquerías de la sonda de Campeche. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur, México, 134 pp.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 2Ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 146 pp.

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, Serie Libros, núm. 6, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

García, N., J.A. 1988. Determinar la composición de la ictiofauna y sus relaciones tróficas representativas de la laguna del Ostión, Veracruz, México. Tesis Profesional. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana.

García-Cagide, A.R., Claro, R., Koshelev, B.V. 1994. Reproducción. En: Claro, R. (Ed.) Ecología de los peces marinos de Cuba. México: Instituto de Oceanología Academia de Ciencias de Cuba, pp 187-262.

García-Cubas, A., Escobar, F., Reguero, M. 1999. Gastrópodos marinos de la Península de Yucatán, México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 49: 127-146.

García-Cuellar J. Ángel, Arreguín-Sánchez Francisco, Hernández Vázquez Sergio y Lluch-Cota Daniel B. (2004) Impacto Ecológico de la industria petrolera en la Sonda de Campeche, México, tras tres décadas de actividad: una revisión. *INTERCIENCIA*, Vol 29; N° 6.

Garduño, E. 2012. Estudio químico de sedimentos costeros adyacentes a la desembocadura del río Papaloapan, Veracruz, México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 130 pp.

GES DISC. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center. 2003. NASA. USA. Recuperado en diciembre de 2015, de: <http://daac.gsfc.nasa.gov/>

Gold-Bouchot Gerardo (2004) Hidrocarburos en el sur del Golfo de México. *Diagnóstico Ambiental del Golfo de México*, Vol 2: pp. 655-680.

Gold-Bouchot, G., Simón-Alvarez, R., Zapata-Pérez, O., Guemez-Ricalde, J. 1995. Histopathological effects of petroleum hydrocarbons and heavy metals on the



American Oyster (*Crassostrea virginica*) from Tabasco, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 31(4-42): 439-445.

Gold-Bouchot, G., Zavala-Coral, M., Zapata-Pérez, O., Ceja-Moreno, V. 1997. Hydrocarbon Concentrations in Oysters (*Crassostrea virginica*) and Recent Sediments from Three Coastal Lagoons in Tabasco, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 59: 430-437.

Gómez, V.A., Ramírez, M.F., Ochoa, E. 1995. Aspectos biológicos y ecológicos de la "almeja plana" *Isognomon alatus* (Gmelin) de la laguna de La Mancha, Veracruz, México. Resúmenes XIII Congreso Nacional de Zoología, Morelia, Michoacán, 44 pp.

González-Medina, E. Jose A. Castillo-Guerrero, & Erick Mellink. 2009. Relación entre las características de los huevos y del sitio de anidación, con el éxito reproductivo de la gaviota reidora (*Leucophaeus atricilla*) en la isla el rancho, sinaloa durante la temporada 2007. *Ornitología Neotropical* 20: 553-564, 2009. © The Neotropical Ornithological Society

González-Gándara, C., González-Sansón, G. 1997. Composición y abundancia de la Ictiofauna del arrecife Tuxpan, Veracruz, México. *Revista de Investigación Marina*, 18(3): 249-258.

González-Garza, B.I., Cuevas, E., Guzmán-Hernández, V., González-Díaz-Mirón, R., Abreu-Grobois, A., van Dam, R., Garduño-Andrade, M. 2008. Movimientos migratorios de tortugas adultas y juveniles de Carey (*Eretmochelys imbricata*) en el Golfo y Caribe Mexicano. En: Guzmán, V., Cuevas, F.E., Abreu-G., F.A., González-G., B., García, A.P., Huerta, R.P. (Compiladores). Resultados de la reunión del grupo de trabajo de la tortuga de carey en el Atlántico mexicano. Memorias. CONANP/EPC/APFFLT/PNCTM/, 244 pp.

González-Lozano María Cristina, Méndez-Rodríguez Lía C., López-Veneroni Diego G. y Vázquez-Botello Alfonso. 2006. Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaria y zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, México.

Graham, R.T., Rhodes, K.L., Castellanos, D. 2009. Characterization of the goliath grouper *Epinephelus itajara* fishery of southern Belize for conservation planning. *Endangered Species Research*, 7: 195-204.

Granados-Barba, A., Solís-Weiss, V. 1997a. The polychaetous annelids from oil platforms areas in the southeastern Gulf of Mexico: Phyllodoctidae, Glyceridae, Goniadidae, Hesionidae y Pilargidae, with description of *Ophioglycera lyra*, a new species, and comments on *Goniada distorta* Moore and *Scoloplos texana* Maciolek & Holland. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 110(3): 457-470.



- Granados-Barba, A., Solís-Weiss, V. 1997b. The polychaetous annelids of the oil platform areas from the southeastern Gulf of Mexico: Orbiniidae and Cossuridae. *Bulletin of Marine Science*, 61(3): 549-557.
- Granados-Barba, A., Solís-Weiss, V. 1998. Les Spionidae (Annélides, Polychètes) de la zone des puits pétroliers de la région méridionale du Golfe du Mexique. *Vie Milieu*, 48(2): 111-119.
- Grimmer, G., Heinrich, U., Jacob, J., Dettbarn, G., Naujack. 1993. Differences in the phenanthrene metabolism of tumor-free and tumor-bearing rats. Supplement to Vol. 3 of *The J. Polycyclic Aromatic Compounds*. pp. 397-404. In: *Polycyclic Aromatic Compounds, Synthesis, Properties, Analytical Measurements, Occurrence and Biological Effects*. Proceedings of the 13th International Symposium on Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. Garrigues, P., Lamote, M. (Eds.). Gordon y Breach Sciences Publishers. Bordeaux, France, 1264 pp.
- Grupo Interacción Océano Atmósfera, 2016. Pronóstico hidrodinámico del Golfo de México. México, CDMX. Recuperado en abril 2016 de: <http://grupo-ioa.atmosfera.unam.mx/pronostico-hidrodinamico/index.php/es/>
- Guerra-García, J. M. y Thiel, M. La fauna de caprelidos (Crustacea: Amphipoda: Caprellidea) de la costa de Coquimbo, centro-norte de Chile, con una clave taxonómica para la identificación de las especies. *Rev. chil. hist. nat.*, dic. 2001, vol.74, no.4, p.873-883.
- Guerrero Hernández, J. 2014. Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México. México: UNAM.
- Gutiérrez, D., García-Sáez, C., Lara, M., Padilla, C. 1993. Comparación de Arrecifes Coralinos: Veracruz y Quintana Roo. En: Salazar-Vallejo S.I., González, N.E. (Eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO y CIQRO, pp. 787-806.
- Guzmán, N. Saá, S. & Ortlieb, L. 1998. Catálogo descriptivo de los moluscos litorales (Gastropoda y Pelecypoda) de la zona de Antofagasta, 23° S (Chile). *Estudios Oceanológicos* 17:17-86.
- Guzmán, V., Cuevas-Flores, E., Abreu-Grobois, A., González-Garza, B., García-Alvarado, P., Huerta-Rodríguez, R. (Comp.). 2008. Resultados de la reunión del grupo de trabajo de la tortuga de carey en el Atlántico mexicano. *Memorias*. CONANP, EPC, APFFLT, PNCTM, 244 pp.
- Hall, S.J., Basford, D.J., Robertson, M.R. 1990. The impact of hydraulic dredging for razor clams (*Ensis* sp.) on an infaunal community. *Netherlands Journal of Sea Research*, (27): 119-125.



- Hardy, J.D. 1978. Development of fishes of the Mid-Atlantic Bight. Three Volumes. U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services.
- Hatch, L., Ford, J., Wilcock, W., & Jessen, S. (2009). Estudios sísmicos y AMPs: ¿cómo deben abordar los administradores la cuestión del ruido subacuático? *Noticias Internacionales y Análisis sobre Áreas Marinas Protegidas*, II(3), 1-7.
- Heemstra, P.C., Randall, J.E. 1993. Species catalogue. Groupers of the world (Family Serranidae, subfamily Epinephelinae). An annotated and illustrated catalogue of grouper, rockcod, hind, coral grouper and lyretail species known to date. FAO Fishers Synopsis (Vol. 16), Roma, FAO.
- Hernández, C.E., G. Muñoz & N. Rozbaczylo. 2001. Poliuetos asociados con *Austromegabalanus psittacus* (Molina, 1782) (Crustacea: Cirripedia) en Península Gualpén, Chile central: Biodiversidad y efecto del tamaño del sustrato biológico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 36(1): 99-108.
- Hernández, R. (2010). Identificación de los elementos que determinen la factibilidad de proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos desde el punto de vista ambiental. Mexico: CNH.
- Hernández-Becerril, D.U., García-Reséndiz, J.A., Salas-de León, D.A., Monreal-Gómez, M.A., Signoret-Poillon, M., y Aldeco-Ramírez, J. 2008. Fracción de nanoplancton en la estructura del fitoplancton en el sur del Golfo de México. *Ciencias marinas*, 34(1): 77-90.
- Hernández-Vázquez S, Rodríguez-Estrella R, Valadez-González & Rojo-Vázquez JA. 2012. Abundancia, distribución y reproducción de aves marinas costeras de Jalisco, México. *Revista Latinoamericana de Conservación* 2(2)-3(1): 8-18.
- Hobson, K. and Barse, K. 1981. Sedentariate and archiannelid polychaetes of British Columbia and Washington. *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.* 209. Canada.
- Hoff, R., Hensel, P., Proffitt, E., Delgado, P., Shigenaka, G., Yender, R., Mearns, A.J. 2002. Oil Spills in mangroves. Planning & Response Considerations. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). USA. Technical Report, 69 pp.
- Horta-Puga, G., Carricart-Ganivet, J.P. 1993. Corales pétreos recientes (Milleporina, Stylasterina y Scleractinia) de México. En: Salazar-Vallejo, S.I., González, N.E. (Eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO y CIQRO, México, pp. 64-78.
- HYCOM, 2016. HYCOM. Consortium for Data Assimilative Modeling. Accedido: 19 de febrero de 2016. Obtenido de: < <https://hycorn.org/data/gom10pt04/expt-20pt1>>.



IMP, Battelle, UNAM, UAM, 2002. Evaluación de Riesgo Ecológico e Impacto de las Operaciones Industriales (Análisis General). Marzo del 2002. 256 p.

IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2015. Boletín Oleaje: 04 de diciembre de 2015. Recuperado en diciembre de 2015, del IMTA:
http://galileo.imta.mx/BOLEAJE/boletinOleaje/vistas/boletinPrint_his.php?sku=20151204

INAPESCA. Carta Nacional Pesquera 2012. Diario Oficial de la Federación, 24 de agosto de 2012.
<http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/carta-nacional-pesquera/Carta-Nacional-Pesquera-2012.pdf>

INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2007. Infraestructura industrial de PEMEX.

INEGI. 2000. Demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno. Cuentas Económicas y Ecológicas de México.

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y la Universidad Nacional Autónoma de México. "Atlas de Anélidos Poliquetos de la Plataforma Continental del Sur del Golfo de México". Informe Final Parte III, julio 1995.

Iñigo-Eliás, E. 2006. Aves migratorias, un recurso compartido en el continente americano y su relación con el Istmo de Tehuantepec. Recuperado en diciembre de 2015 de: <http://www.nacionmulticultural.unam.mx/mezinal/docs/226.pdf>

IOC, IHO and BODC. 2003. "Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas", published on CD-ROM on behalf of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographic Organization as part of the General Bathymetric Chart of the Oceans; British Oceanographic Data Centre, Liverpool.

IPIECA. International Petroleum Industry Environmental Conservation Association. 1997. Impactos biológicos de la contaminación por hidrocarburos: Manglares. Serie de Informes de IPIECA, Vol. 4, Londres, 20 pp.

Jefferson Thomas A. & Spencer K. Lynn. 1994. Marine Mammal Sightings in the Caribbean Sea and Gulf of Mexico, Summer 199. Caribbean Journal of Science, Vol. 30, No. 1-2, 83-89, 1994

Jones G.P. & ANDREW N.L. (1992) Temperate reefs and the scope of seascape ecology. En: Battershill CN, (ed.) Proceedings of the Second International Temperate Reef Symposium: 63-76 Auckland, New Zealand.



Kabata-Pendias, A., Pendias, H. 1992. Trace elements in soils and plants. CRC Press, USA, 2Ed.

Karakulak, S., Oray, I., Corriero, A., Deflorio, M., Santamaria, N., Desantis, S. 2004. Evidence of a spawning area for the bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) in the eastern Mediterranean. *Journal of Applied Ichthyology*, 20: 318-320.

Keen, M. 1971. Sea shells of tropical West America, Marine Mollusks from Baja California to Perú. Second edition. Stanford University Press, Stanford, California.

Kelly, D. 1983. Photo-identification of bottlenose dolphins in southern California. *Whalewatcher*. 17:6-8.

Kennish, M.J. 1997. Practical Handbook of Estuarine and Marine Pollution. Halogenated Hydrocarbons, CRC Press, Marine sciences series Boca Raton.

Kerlinger, P. 1989. Flight strategies of migrating hawks. University of Chicago Press, Chicago.

Kirwan A.D., Merrell W.J., Lewis J.K. y Whitaker R.E. 1984. Lagrangian observations of an anticyclonic ring in the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 89(C3):3417-3424. American Geophysical Union, Washington DC, USA. En: Caso M.; I. Pisanty y E. Ezcurra (Eds.). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología; Instituto de Ecología, A. C. y Harte Research Institute for Gulf of México Studies. 626 p.

Knauss, J.A., 1997. Introduction to Physical Oceanography, 2Ed., Prentice-Hall, New Jersey, 309 pp.

Kokokiris, L., Bruslé, S., Kentouri, M., Fostier, A. 1999. Sexual maturity and hermaphroditism of the red porgy *Pagrus pagrus* (Teleostei: Sparidae). *Marine Biology*, 134: 621-629.

Lafabrie, C., Pergent, G., Kantin, R., Pergent-Martini, C., Gonzalez, J. 2007. Trace metals assessment in water, sediment, mussel and seagrass species - Validation of the use of *Posidonia oceanica* as a metal biomonitor. *Chemosphere*, 68 (11): 2033-2039.

Lambert, C.D., T.S. Bianchi & P.H. Santschi. 1999. Cross-shelf changes in phytoplankton community composition in the Gulf of Mexico (Texas shelf/slope): use of plant pigments as biomarkers. *Continental Shelf Research* 19: 1-21.

Lankford, R.R. 1977. Coastal lagoons of Mexico: their origin and classification. En: Wiley, M. (Ed.) *Estuarine Processes*. Academic Press Inc., New York, pp. 182-215.



Leatherwood, S. y R.R. Reeves. 1990. The bottlenose dolphin. Academic, New York, 653 p. [[Links](#)]

Lemus 1986. El océano y sus recursos. ii. las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química autor: juan luis cifuentes lemus / maría del pilar torres garcía / marcela frías m. Primera edición.

Lewis, R.R. 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*, 24: 403-418.

Libes, S. (2009). Introduction to marine biochemistry. San Diego: Academic Press.

Libes, S.M. 2009. Introduction to marine biogeochemistry. 2Ed. Elsevier, USA. 910 pp.

Licea, S., Zamudio, M.E., Moreno-Ruiz, J.L., Luna, R. 2011. A suggested local region in the Southern Gulf of Mexico using a diatom database (1979-2002) and oceanic hydrographic features. *Journal of Environmental Biology*, 32: 443-453.

Llellish, Miguel; Tarazona, J; Zavala, J. & Silva, I. 1995. Comparación de la estructura comunitaria del bentos en playas arenosas de la costa central y sur del Peru. V Reunión ICBAR -UNMSM - Fac. Ciencias biológicas.

Loman-Ramos, L. 2005. Medusas del Sur del Golfo de México: Variación espacial en la estructura comunitaria y asociaciones durante el otoño de 1999. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Yucatán, México, 100 pp.

LUMCON. (2014). Louisiana Universities Marine Consortium . Recuperado el 23 de Febrero de 2016, de Desechos marinos en el Golfo de México : <http://cwc.lumcon.edu/wp-content/uploads/2014/01/Desechos-MarinosMarine-Debris.pdf>

Magurran, A., 1988. Diversidad ecológica y su medición. Ediciones Vedra. Barcelona.

Malloy, R.J., Hurley, R. 1970. Geomorphology and geologic structure: Straits of Florida. 669 *Geological Society of America Bulletin*, 81: 1947-1972.

Manooch, S.C., Mason, D.L. 1987. Age and growth of the warsaw grouper and black grouper from the southeast region of the United States, *Northeast Gulf Science*, 9(2): 65-75.

Margalef, R. 1974. Ecología. Ediciones Omega S. A. Barcelona. España.



Marino, R.P. y Gannon, J.J., 1991. Survival of fecal coliformand fecal streptococci in storm drain sediment. *Water Research*, 25(9).

Márquez-M., R. 1996. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. Fondo de Cultura Económica, México. 197 pp.

Márquez-M., R. 2004. Las tortugas marinas del Golfo de México: Abundancia, distribución y protección. En: Caso, M., Pisanty, I., Ezcurra, E., (Comp.). Diagnóstico Ambiental del Golfo de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Harte Research Institute for the Gulf of México Studies, Vol. 1, pp. 173-197.

Matthai, C., Birch, G. 2001. Detection of Anthropogenic Cu, Pb and Zn in continental shelf sediments off Sydney Australia - a New Approach Using Normalization with Cobalt. *Marine Pollution Bulletin*, 42(11): 1055-1063.

Mazón-Suástegui J.M. et al., 2009. Estudio de la abundancia y distribución por tallas de la población, en bancos ostrícolas georeferenciados en las Lagunas Carmen, Pajonal, Machona y Redonda, en el Estado de Tabasco, México (2009). CIBNOR, S.C., Fundación Produce Tabasco, A.C. 520 p. 20 de octubre/09.

Medellín, R.A., *et al.* 2009. Conservación de especies migratorias y poblaciones transfronterizas, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 459-515.

Medina, L.R. 2006. Determinación de metales disueltos en agua de la sonda de Campeche, Golfo de México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 52 pp.

Méndez. M. Crustáceos comerciales y otras especies en el litoral Peruano. *Boletín Lima* No. 20 - Marzo 1982. Perú.

Mendoza-Díaz F. A., Cuervo-López L., López-Jiménez http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442013000300025 - 1 A., Galindo http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442013000300025 - 1 J. A. y Basañez-Muñoz A. 2013. Concentración de Hg, Pb, Cd, Cr y As en hígado de *Carcharhinus limbatus* (Carcharhiniformes: Carcharhinidae) capturado en Veracruz, México. *Rev. Biología Tropical*, Vol N° 61, N° 2.

Meneses, de Gyves, Javier. Geología de la Sonda de Campeche. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, vol. 32, n. 1. México, 1980.

Metzler, A., Rivas, M., Sealy, I., & Snyder, R. (2015). Las especies silvestres marinas y las actividades de E&P: trabajando para coexistir. *Oil Field Review*, 1-10.



Meylan, A.B. 1999. International movements of immature and adult hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*), in the Caribbean Region. *Chelonian Conservation and Biology*, 3(2): 189-194.

Middelburg, J.J., Hoede, D., Van Der Sloot, H. A., Van Der Weijden, C.H., Wijkstra, J. 1988. Arsenic, antimony and vanadium in the North Atlantic Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, (52): 2871-2878.

Mihelakakis, A.T., Yoshimatsu, T., Tsoikas, C. 2001. Spawning in captivity and early life history of culture red porgy, *Pagrus pagrus*. *Aquaculture*, 199: 333-352.

Morel, F.M.M., Reinfelder, J.R., Roberts, S.B., Chamberlain, C.P., Lee, J.G., Yee, D. 1994. Zinc and carbon co-limitation of marine phytoplankton. *Nature*, 369: 740-742.

Mota, L. 2013. Análisis y evaluación de la contaminación por metales pesados en sedimentos del río Coatzacoalcos, Veracruz, México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 109 pp.

Moulin, R.J. 1980. Observaciones hidrológicas frente al litoral de Tamaulipas en el Golfo de México. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía, México, 47 pp.

Musick, J.A., Harbin, M.M., Berkeley, S.A., Burgess, G.H., Eklund, A.M., Findley, R.G., Gilmore, R.G., Golden, J.T., Ha, D.S., Huntsman, G.R., McGovern, J.C., Sedberry, G.R., Parker, S.J., Poss, S.G., Sala, E., Schmidt, T.W., Weeks, H., Wright, S.G. 2000. Marine, estuarine, and diadromous fish stocks at risk of extinction in North America (exclusive of Pacific salmonids). *Fisheries*, 25(11): 6-30.

Muzquiz-Villalobos, M.L. 2014. Relación de variables oceanográficas con la riqueza de mamíferos marinos de México y sus implicaciones para la conservación. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 136 pp.

Navarro, A., Benítez, H. 1995. El dominio del aire. La ciencia para todos. Fondo de Cultura Económica. México. Recuperado en diciembre de 2015 del FCE: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/138/htm/dominio.htm>

Neff, J.M. 1979. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment: Sources, Fates and Biological Effects. Applied Science Publishers, London, 262 pp.

Noguez-Núñez, M. 2011. Diversidad, distribución y abundancia de los moluscos gasterópodos en la laguna La Mancha, Municipio de Actopan, Ver. (Mayo- Noviembre 2010). Tesis Profesional. Universidad Veracruzana, Xalapa, 78 pp.



NOM-059-SEMARNAT-2010. 2010. Protección Ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-Categorías de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo.
http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/pdf/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf

Norma Oficial Mexicana NOM-015-PESC-1994. Para regular la extracción de las existencias naturales de ostión en los sistemas lagunarios del Estado de Tabasco.

Norma Oficial Mexicana NOM-049-SAG/PESC-2014. Que determina el procedimiento para establecer zonas de refugio para los recursos pesqueros en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.

NOAA 2012. An Overview of Protected Species in the Gulf of Mexico NOAA Fisheries Service Southeast Regional Office Protected Resources Division

Nowlin W.D. 1971. Water masses and general circulation of the Gulf of Mexico. *Oceanology*. Contribution No. 452:173-178. Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS), Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscú. 1972. Winter circulation and property distributions. En: Contributions on the physical oceanography of the Gulf of Mexico, L.R. Capurro y J. Reis (Eds.) Gulf Publ. Co., Houston, Texas. En: Caso M.; I. Pisanty y E. Ezcurra (Eds.). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología; Instituto de Ecología, A. C. y Harte Research Institute for Gulf of México Studies. 626 p.

Núñez, N.G., O.J. Bautista & M.R. Rosiles. 1998. Concentración y distribución de mercurio en tejidos del cazón (*Rhizoprionodon terraenovae*) del Golfo de México. *Vet. Mex.* 29: 15-21. Mendóza-Díaz et al. (2013)

Olajire, A., E. Ayodele, O. Oyedirdan & E. Oluyemi. 2003. Levels and speciation of heavy metals in soils of industrial southern Nigeria. *Environ. Monit. And Assess.* 85: 135-155.

Ortega-Ortiz, J. G. 2002. Multiscale analysis of cetacean distribution in the Gulf of Mexico. Ph.D. dissertation, Texas A&M University, College

Ortega-Ortiz, J. G.; A. Delgado-Estrella y A. Ortega-Argueta. 2004. Mamíferos marinos del Golfo de México: Estado actual del conocimiento y recomendaciones para su conservación. En: Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Caso, M., Pisanty, I. y Escurra, E. (Eds.) Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México, D. F. pp. 135-160.

Station, TX. 170 pp. Ortega-Ortiz, J. G.; A. Delgado-Estrella y A. Ortega-Argueta. 2004. Mamíferos marinos del Golfo de México: Estado actual del conocimiento y



recomendaciones para su conservación. En: Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Caso, M., Pisanty, I. y Ecurra, E. (Eds.) Instituto Nacional de Ecología (INESEMARNAT), México,

D. F. pp. 135-160 Ortiz, G. 2000. Análisis de la contaminación en sedimentos y bentos en el bajo río Coatzacoalcos, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 83 pp.

Ortiz, M., Méndez, A. 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y Mar Caribe. Investigaciones Geográficas, 39: 68-81.

Ortiz-Lozano, L., Arceo-Briseño, P., Granados-Barba, A., Salas-Monreal, D., Jiménez-Badillo, L. 2010. Zona costera. En: Florescano, E., Ortiz-Escamilla, J. (Coords). Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz, Torno I: Patrimonio Natural. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana, pp. 123-146.

Pajuelo, J.G., Lorenzo, L.M. 1996. Life history of the red porgy *Pagrus pagrus* (Teleostei: Sparidae) off the Canary Islands, central east Atlantic. Fisheries Research, 28: 163-177.

Parker, R.O., Mays, R.W. 1998. Southeastern U.S. deepwater reef fish assemblages, habitat characteristics, catches, and life history summaries. NOAA Technical Report NMFS.

Peluso María Leticia (2011) Evaluación de efectos biológicos y biodisponibilidad de contaminantes en sedimentos del Río la Plata y afluentes. Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de la Plata.

PEMEX - UNAM, 2003. Campaña Oceanográfica SGM-8, 2003. Reporte Final.

PEMEX. Exploración y Producción- Universidad Nacional Autónoma de México. 2005-2008. Informe por Vázquez Gutiérrez F. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

PEMEX. Exploración y Producción (PEP). Provincia Petrolera Sureste (Salina del Istmo, Reforma Akal y Macuspana). Subdirección de Exploración. México, 2013.

PEMEX. (2014). Anuario Estadístico. México: PEMEX.

Phillips, R.C., Payne, R.J., Lambach, L.J., Farmer, H.G., Sims Jr, R.R. 1993. Georges Bank monitoring program: Hydrocarbons in bottom sediments and hydrocarbons and trace metals in tissue. Marine Environmental Research, 22: 33-74.



- Pickett-Heaps, J.D., Pickett-Heaps, J. 2011. *Diatoms: Life in glass houses*. Sinauer Associates, Sunderland, USA.
- Pielou, E. C. 1969. *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley-Interscience, Inc. New York. 286 p.
- Piercy, A.N., Carlson, J.K., Passerotti, M.S. 2010. Age and growth of the great hammerhead shark, *Sphyrnamokarran*, in the north-western Atlantic Ocean and Gulf of Mexico. *Marine and Freshwater Research*, 61: 992-998.
- Ponce, M. 1995. *Evaluación de los niveles de metales pesados e hidrocarburos aromáticos polinucleares en la zona costera del Golfo de México*. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 157 pp.
- Porcela, D.B. 1993. *Protocol for Blow Assessment of Hazardous Waste Sites*, Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency. In: Burton, G.A., Pitt, E.R., 2002. *Stormwater effect handbook: a toolbox for watershed managers, scientist, and engineers*. Lewis Publishers, 911 pp.
- Prego, R., Cobelo-García, A. 2003. Twentieth century of heavy metals in the Galician Rias (NW Iberian Peninsula). *Environmental Pollution*, 121: 425-452.
- Ramírez-Eliás Miguel A, Sabido-Pérez Mirna Y., Aguilar-Ucán Claudia A., Cerón-Bretón Rosa M., De La Cruz-González César A., Argáez-Aguilar Edwin G. (2005) *Estudios de metales pesados en sedimentos del Arroyo La Caleta, Ciudad del Carmen, Campeche*. Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR).
- RAMSAR. 2006. *The Ramsar Convention on Wetlands*. Recuperado en diciembre de 2015, del RAMSAR: <http://www.ramsar.org>
- Raymont, J. 1980. *Plankton and productivity in the oceans. I. Phytoplankton*. Oxford: Pergamon Press, USA, 488 pp.
- Reyes A. R. 2001. *Hidrología y estado trófico de la columna de agua de la zona marina costera de Sisal, Yucatán*. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Mérida, México.
- Rheinheimer, G., 1992. *Aquatic Microbiology*. J. Wiley & Sons. N.Y.
- Richards, W.J. 1999. *Preliminary guide to the identification of the early life history stages of serranid fishes of the western central Atlantic*. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-419.
- Riley, J.P., Chester, R. 1971. *Introduction to Marine Chemistry*. Academic Press, England, 465 pp.



Ríos Q., L., 1993. Evaluación de la concentraciones de metales pesados en sedimentos de la plataforma continental de los estados de Veracruz y Tabasco, México. Tesis profesional. ENEP-Zaragoza, UNAM. 93. p.

Rizzo A., Daga R.,

Arcagni http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2010000200006 - 1 M., Perez Catán S., Bubach D., Sánchez R.,

Guevara http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2010000200006 - 1 S.R. y Arribére M.A. 2010. Concentraciones de metales

pesados en distintos compartimentos de lagos andinos de Patagonia Norte. *Ecol. Austral*, Vol 20, N° 2.

Robles, L. B. (30 de Julio de 2012). La jornada ecológica. Recuperado el 19 de Febrero de 2016, de La jornada ecológica: <http://www.jornada.unam.mx/2012/07/30/eco-c.html>

Rodier, J. 1990. Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar: química, fisicoquímica, bacteriología, biología. Editorial Omega, España, 1080 pp.

Rodríguez, S. R. Transferencia de recursos alimentarios entre diferentes ambientes del ecosistema marino. *Rev. chil. hist. nat.*, mar. 2000, vol.73, no.1, p.199-207.

Rodríguez-Santiago, H., Botello, A.V. 1987. Contaminación enterobacteriana en la red de agua potable y en algunos sistemas acuáticos del sureste de México. *Contaminación Ambiental*, 3: 37-53.

Rodríguez-Zúñiga, M.T., Troche-Souza, C., Vázquez-Lule, A.D., Márquez-Mendoza, J.D., Vázquez-Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., Velázquez-Salazar, S., Cruz-López, M.I., Ressler, R., Uribe-Martínez, A., Cerdeira-Estrada, S., Acosta-Velázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Jiménez-Rosenberg, R., Fueyo-Mac Donald, L., Galindo-Leal, C. 2013. Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F., 128 pp.

Roo, F.J., Socorro, J., Izquierdo, M.S., Caballero, M.J., Hernández-Cruz, C.M., Fernández, A. 1999. Development of red porgy *Pagrus pagrus* visual system in relation with changes in the digestive tract and larval feeding habits. *Aquaculture*, 179: 499-512.

Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., Carvajal-Romero, P., Méndez-Jaime, C., Ruiz-Santoyo, M.E. 2003. Physicochemical seasonal variability of a tropical estuary: major and minor elements in water and air. *Environmental Geology*, 44(7): 790-798.

Rosas, P.I., Báez, A., Belmont, R. 1983. Oyster (*Crassostrea virginica*) as indicator of heavy metals pollution in some lagoons of the Gulf of Mexico. *Water, air and soil pollution*, 20: 127-135.



Rozbaczylo, N. & Castilla, J. 1974. La familia Nephtyidae en Chile (anelida, Polychaeta). *Studies en the Neotropical Fauna* 9, pp. 179-206. Santiago.

Rozbaczylo, N. & J. Bolados. 1980. Nereidos de Iquique, Chile. (Polychaeta: Nereidae). *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Santiago* 37: 205-224.

Ruiz, T. 2008. Estructura comunitaria de los macrocrustáceos bentónicos del suroeste del Golfo de México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 90 pp.

Ruppert, E y Barnes, R. D. 1996. *Zoología de los Invertebrados*. Quinta edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana. México. Pag, 447 y 448.

Ruppert, E. & Barnes, R. 1996. *Zoología de los Invertebrados*. Sexta edición. McGraw-Hill Interamericana. México.

Sadiq M. 1992. *Toxic metal chemistry in marine environments*. Marcel Dekker. New York, 390 pp.

Sadovy, Y., Eklud, A. 1999. *Synopsis of Biological Data on the Nassau Grouper, Epinephelus striatus (Bloch, 1792), and the Jewfish, E. itajara (Lichtenstein, 1822)*. Seattle, Washington: NOAA Technical Report NMFS 146, A Technical Report of the Fishery Bulletin FAO Fisheries Synopsis, 157 pp.

SAGARPA. (24 de agosto de 2012). *Carta Nacional Pesquera*. México: DOF.

Salfina, C. 1993. Bluefin tuna in the West Atlantic: negligent management and the making of an endangered species. *Conservation Biology*, 7(2): 229-234.

Salomon, 1996, Walker *et al.*, 1997, Landis y Yu, 1998 citados por Sánchez, 2008)

Salvador, A. 1991. (Ed.). *The gulf of Mexico basin: The Geology of North America, Vol. J: Geological Society of America, The geology of North America*.

Sánchez Y. 2008. Espejos en la llanura. *Nuestros Espejos en la Región Pampeana*. Capítulo VI: 91-98.

Sará, G., Sará, R. 2007. Feeding habits and trophic levels of bluefin tuna *Thunnus thynnus* of different size classes in the Mediterranean Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, 23: 122-127.

Schmidly, D. J. and B. Würsig. 2009. Mammals (Vertebrata: Mammalia) of the Gulf of Mexico, Pp. 1343-1352 in Felder, D.L. and D.K. Camp (eds.), *Gulf of Mexico—Origins, Waters, and Biota. Biodiversity*. Texas A&M Press, College Station, Texas.



Schreiber EA & Burger J. 2002. Seabirds in the Marine Environment; pp. 1-16 En: Schreiber EA & Burger J (eds.). *Biology of marine birds*. 1ra ed., CRC PRESS, Florida.

Secretaría de Economía. 2013. Perfil de mercado de la barita. Coordinación general de desarrollo minero. Pp 18.

SEMARNAT, 2016. Coatzacoalcos, Veracruz. Secretaria del Medioambiente y Recursos Naturales. Accedido: 23 de febrero de 2016. Obtenido de: <
<http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioCoatza.pdf>>.

SEMARNAT. (13 de 12 de 2007). Declaratoria de clasificación del Río Coatzacoalcos, sus afluentes (Río Calzadas, Arroyo Gopalapa y Arroyo Teapa) y la Laguna Pajaritos. México: DOF.

SEMARNAT. 2009. Plan de manejo tipo para el manejo, conservación y aprovechamiento sustentable de aves acuáticas y playeras.
<http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestioambiental/vidasilvestre/Documents/PMT/PMT%20Aves%20acu%C3%A1ticas%20y%20playeras.pdf>

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. DOF: 30/12/2010.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. DOF: 30/12/2010.

Serrano, A. 2002. *Marníferos Marinos en México Guía de Campo*. Ed. ASBE, Xalapa, Veracruz. 53 pp.

Sexenio, S. (30 de Abril de 2012). Sexenio Veracruz. Recuperado el 19 de Febrero de 2016, de Sexenio veracruz:
<http://www.sexenio.com.mx/veracruz/articulo.php?id=5042>

Sharma, V.K., Rhudy, K.B., Koenig, R., Vázquez, F.G. 1999. Metals in sediments of the Upper Laguna Madre. *Marine Pollution Bulletin*, 38(12): 1221-1226.

Shiller, A.M., Boyle, E.A. 1987. Dissolved vanadium in rivers and estuaries. *Earth Planetary Sciences Letters*, 86: 214-224.

Signoret, M., Built, C., Pérez, R. 1998. Patrones de distribución de clorofila a y producción primaria en aguas del Golfo de México y Mar Caribe. *Hidrobiológica*, 8(2): 81-88.



Smith, C.L. 1971. A revision of the American groupers: *Epinephelus* and Allied genera. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 146(2): 67-242.

SMN. Sistema Meteorológico Nacional. 2015. Pronóstico meteorológico para la región de Coatzacoalcos, Veracruz y Paraíso, Tabasco. Recuperado en diciembre de 2015, de SMN:

http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=262

Solis-Marín, F.A., Herrero-Perezrul, M.D., Laguarda-Figueras, A., Torres-Vega, J. 1993. Asteroideos y Equinoideos de México (Echinodermata). En: Salazar-Vallejo, S.I., González N.E. (Eds.). *Biodiversidad marina y costera de México*. CONABIO, México, pp. 91-105.

Solis-Weiss, V.A., Granados-Barba, L.V., Rodríguez-Villanueva, L.A., Miranda-Vázquez, V., Ochoa-Rivera, P., Hernández-Alcántara, P. 1995. The Lumbrineridae of the continental shelf in the Mexican portion of the Gulf of Mexico. *Mitteilungen aus dem Hamburgischen Zoologischen Museum und Institut, Germany*, 92: 61-75.

Spalding MD, Fox HE, Allen GR, Davidson N, Ferdaña ZA, Finlayson M, Halpern BS, Jorge MA, Lombana A, Lourie SA, Martin KD, McManus E, Molnar J, Recchia CA, Robertson J. (2007). *Marine Ecoregions of the World: a bioregionalization of coast and shelf areas*. *BioScience* 57: 573-583

Sprovieri, M., Feo, L., Prevedello, L., Salvagio, D., Sammartino, S., Tamburrino, S., Marsella, E. 2007. Heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in surface sediments of the Naples harbour (Southern Italy). *Chemosphere*, 67: 998-1009.

Stevens, J.D., Lyle, J.M. 1989. Biology of three hammerhead sharks (*Eusphyrna blochii*, *Sphyrna mokarran* and *S. lewini*) from Northern Australia. *Australia Journal of Marine and Freshwater Research*, 40: 129-146.

Stout, S.A., Uhler, A.D., McCarthy, K.J. 1998. PAH can provide a unique forensic fingerprint for hydrocarbons products. *Soil Ground, Cleanup*.

Suchil, M.A. 1990. Determinación de la variación estacional de fitoplancton, y su relación con los parámetros físicos y químicos de las lagunas de: Sontecomapan y del Ostión/Ver. para el año de 1985. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales - Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México.

Suess, E. 1980. Particulate organic carbon flux in the oceans - surface productivity and oxygen utilization. *Nature*, 288: 260-263.

Suess, M.J. 1976. The environmental load and cycle of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Science of the Total Environment*, 6: 239-250.



Summary of Water Quality Guidelines for Turbidity, Suspended and Benthic Sediments. 2001. Ministry of Environment, Lands and Parks. British Columbia, Canada.

Szefer, P., Glasby, G. P., Penepkowiak, J., Kaliszan, R. 1995. Extraction Studies of Heavy Metals Pollutants in Superficial Sediments from the Southern Baltic Sea off Poland. *Chemical Geology* 120: 111-126.

Tarazona, J.; Paredes, C.; Canahuire, E.; Romero, L.; Hoyos, L.; Takeshi, M.; Cornejo, O. 1989. Mecanismos y Procesos en la dinámica de las comunidades y poblaciones bentónicas. UNMSM - Fac. Ciencias Biológicas. Perú.

Thiel, M.; Guerra-García, J. M., Lancelotti, D. A. The distribution of littoral caprellids (Crustacea: Amphipoda: Caprellidea) along the Pacific coast of continental Chile. *Rev. chil. hist. nat.*, jun. 2003, vol.76, no.2, p.297-312.

Toledo Ocampo, A., 2005. Marco conceptual: caracterización ambiental del Golfo de México, p. 25-52. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Torres A., C. Esquivel & G. Ceballos. 1995. Diversidad y Conservación de los Mamíferos Marinos de México. *Revista de Maasto zoología* I: 22-43, 1995.

Torruco, D. y A. González. 1994. "Estructura trófica de la comunidad de peces en el litoral frente a Laguna Verde, Veracruz, México", *Avicenia* (2): 33-46.

Tucker, R. & Peter, S. 1998. *Compendium of seashells*. Odyssey Publishing. Printed in China.

UNESCO. (1976). *Guide to operational procedures for the IGOSS Pilot Project on marine pollution (Petroleum) Monitoring*. Hemmerlé: UNESCO.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza - UICN. 2015. Lista de especies amenazadas. 2015. <http://www.iucnredlist.org/details/22694455/0>

Vargas-Hernández, J.M., Hernández-Gutiérrez, A., Carrera-Parra, L.F. 1993. Sistema Arrecifal Veracruzano. En: Salazar-Vallejo, S.I., González, N.E. (Eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO y CIQRO, México, pp. 559-575

Vázquez, G.F., Tapia, G.M., Moreno, J.L, Alexander, V.H., Pérez, B.R., Fuentes, V.J., Frausto, C.A. 1998. Evaluación Prospectiva para el Programa de Monitoreo Continuo del Efecto Ambiental de la Actividad Petrolera en el Golfo de México. *Convenio*



PEMEX-Universidad Nacional Autónoma de México - RMSO: 007/98 (Informe final).

Vázquez-Botello, A., Ponce-Vélez, G. y Díaz-Gonzalez, G. 1993. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH's) en Áreas Costeras del Golfo de México. Hidrobiológica Vol.3 (1-2). México.

Vázquez-Botello Alfonso, Villanueva-Fragosos Susana y Rosales-Hoz Leticia (2004) Distribución y contaminación de metales en el Golfo de México. Diagnóstico Ambiental del Golfo de México, Vol 2: pp. 681-710.

Vázquez, F., Alexander, H. y Frausto, A. 2006. Metales Pesados (Cadmio, Cromo, Níquel y Vanadio) Adsorbidos en Sedimentos de la Sonda de Campeche. Campaña Oceanográfica SGM-9. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

Vega-Cendejas, M.E., de Santillana, M.H., Agüero, G.C. 1997. Los peces de la Reserva de Celestún. Mérida: Pronatura.

Vela, J. 2005. Evaluación de los parámetros bromatológicos en sedimentos del Sur del Golfo de México en 2006. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 67 pp.

Veliz, D. & Vasquez, J. La Familia Trochidae (Mollusca: Gastropoda) en el norte de Chile: consideraciones ecológicas y taxonómicas. Rev. chil. hist. nat., dic. 2000, vol.73, no.4, p.757-769.

Vera-Mendoza, R.R., Salas-de-León, D.A. 2014. Effect of Environmental Factors on Zooplankton Abundance and Distribution in River Discharge Influence Areas in the Southern Gulf of Mexico. En: Amezcua, F., Bellgraph, B. (Eds.). Fisheries Management of Mexican and Central American Estuaries of the World. Springer Sciences, USA, pp. 93-112.

Vidal, V.M.V., F.V. Vidal, A.F. Hernández, E. Meza, J.M. Pérez-Molero 1994 b. Baroclinic flows, transports, and kinematic properties in a cyclonic-anticyclonic-cyclonic ring triad in the Gulf of Mexico. Journal of Geophysical Research, 99: 7571-7597. American Geophysical Union. Washington, D.C. En: Caso M.; I. Pisanty y E. Ezcurra (Eds.). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología; Instituto de Ecología, A. C. y Harte Research Institute for Gulf of México Studies. 626 p.

Vidal, V.M.V., F.V. Vidal, J.M. Pérez-Molero 1992. Collision of a Loop Current anticyclonic ring against the continental shelf slope of the western Gulf of Mexico. Journal of Geophysical Research, 97: 2155-2172. American Geophysical Union. Washington, D.C. En: Caso M.; I. Pisanty y E. Ezcurra (Eds.). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto



Nacional de Ecología; Instituto de Ecología, A. C. y Harte Research Institute for Gulf of México Studies. 626 p.

Vidal, V.M.V., Vidal, F.V., Hernández, A.F. 1990. Atlas Oceanográfico del Golfo de México, Vol. III, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Grupo de Estudios Oceanográficos, Cuernavaca, Morelos.

Villanueva, F.S. 1987. Evaluación de metales pesados en sedimentos y organismos del río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, Veracruz, México. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 82 pp.

Villanueva, S., & Botello, A. (1992). Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión. *Rev. Int. Ambient.*, 8(1), 47- 61.

Villanueva, F.S., Páez-Osuna, F. 1996. Niveles de metales en el Golfo de México: Agua sedimentos y organismos. En: Botello, A.V., Rojas-Galaviz, J.L., Benitez, J.A., Zárate-Lomeli, D. (Eds.). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche, Serie Científica, 5, pp. 309-347.

Villanueva, S., & Botello, A. (1992). Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión. *Rev. Int. Ambient.*, 8(1), 47- 61.

Waring GT, Quintal JM, Swartz SL, Editors. 2000. US Atlantic and Gulf of Mexico marine mammal stock assessments -- 2000. US Dep Commer, NOAA Tech Memo NMFS NE 162; 298 p.

Wennemer J, Gagnon C, Boye D, Gong G. 1998. Summary of Marine mammal and turtle observation during the 1997 nearfield water quality surveys. Boston: Massachusetts Water Resources Authority. Report ENQUAD 98-03.17p.

Wiseman, W.J., Sturges, W. 1999. Physical oceanography of the Gulf of Mexico: Processes that regulate its biology. In: Kumpf H., Steidinger, K., Sherman, K. (Eds.). The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, sustainability and management. Blackwell Science, USA, pp. 77-92.

Würsing, B., Jefferson, T.A., Schmidly, D.J. 2000. The marine mammals of the Gulf of Mexico. Texas, USA, Texas A&M University Press.

Yáñez-Correa, Amado. Procesos costeros y sedimentos recientes de la plataforma continental al sur de la bahía de Campeche. *Boletín Sociedad Geológica Mexicana*; vol. 32, n. 2, p 75-115. México, 1971.



Zhang, H.-M., R.W. Reynolds, and J.J. Bates. 2006. "Blended and Gridded High Resolution Global Sea Surface Wind Speed and Climatology from Multiple Satellites: 1987 - Present". American Meteorological Society 2006 Annual Meeting, Paper #P2.23, Atlanta, GA, 29 de enero - 2 de marzo, 2006.



8. Lista de tablas

Tabla 2.1	Ubicación geográfica del Área Contractual 4	2-3
Tabla 2.2	Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo definidas en el Área Contractual 4.....	2-4
Tabla 4.1	Relación de profesionales y técnicos participantes	4-8
Tabla 4.2	Características técnicas del buque “Riviera Maya”	4-9
Tabla 4.3	Características técnicas de las embarcaciones menores empleadas para la evaluación de pesca exploratoria en el Area Contractual 4	4-10
Tabla 5.1	Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo definidas	5-15
Tabla 5.2	Parámetros analíticos de calidad de agua de mar.....	5-20
Tabla 5.3	Parámetros analíticos de calidad del sedimento marino.....	5-23
Tabla 5.4	Relación de muestras de fitoplancton de red colectadas en el Área Contractual 4	5-25
Tabla 5.5	Relación de muestras de fitoplancton de botella colectadas en el Área Contractual	45-26
Tabla 5.6	Relación de muestras de zooplancton e ictioplancton colectadas en el Área Contractual 4	5-27
Tabla 5.7	Relación de muestras de macrobentos colectadas en el Área Contractual 4	5-28
Tabla 5.8	Metodologías para la evaluación de aves marinas - Observación directa en transectos en Línea	5-31
Tabla 5.9	Metodología para la evaluación de Mamíferos y Tortugas Marinas.....	5-33
Tabla 5.10	Características de las redes agalleras empleadas en la pesca exploratoria.....	5-34
Tabla 5.11	Parámetros de evaluación de la pesca exploratoria en el Área Contractual 4.....	5-35
Tabla 6.1	Criterios de Regulación Ecológica.....	6-39
Tabla 6.2	Columna estratigráfica local	6-50
Tabla 6.3	Temperatura máxima, estación meteorológica Frontera - A. Obregón.....	6-52
Tabla 6.4	Temperatura media mensual y anual (periodo 1951-2010) Estación meteorológica Frontera- A. Obregón.....	6-56
Tabla 6.5	Valores de precipitación media anual y mensual estación meteorológica Frontera- A.Obregón	6-60
Tabla 6.6	Promedios mensuales climatológicos	6-61
Tabla 6.7	Evaporación mensual registrada para el estado de Campeche en el periodo comprendido entre 1986 y 2007 según la estación meteorológica El Carmen.....	6-65
Tabla 6.8	Evaporación mensual y promedio anual en la estación meteorológica El Carmen.....	6-66
Tabla 6.9	Eventos extremos reportados para la zona del Área Contractual 4 en el periodo 1978-2014.....	6-68
Tabla 6.10	Resumen de las corrientes y olas en el Área Contractual 4.....	6-74



Tabla 6.11	Presión atmosférica registrada en el área de estudio cada 30 min (diciembre de 2015)	6-85
Tabla 6.12	Características de las mareas de la estación Frontera, Tabasco (fuente: SEMAR, 2012)	6-88
Tabla 6.13	Partículas elementales de las muestras de sedimentos recolectadas el 13 de abril del 2016 en el Área Contractual 4	6-92
Tabla 6.14	Tasas de transporte de sedimentos (m ³ /mes) para el Área Contractual 4	6-93
Tabla 6.15	Registro de parámetros básicos de calidad de agua de mar	6-95
Tabla 6.16	Iones en el agua de mar	6-98
Tabla 6.17	Registros de materia orgánica en sedimento marino	6-175
Tabla 6.18	Determinación semicuantitativa (%) de fitoplancton en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4	6-178
Tabla 6.19	Determinación cuantitativa (N° Cel / L) del fitoplancton superficial en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4	6-183
Tabla 6.20	Determinación cuantitativa (N° Cel / L) del fitoplancton de fondo en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4	6-192
Tabla 6.21	Índices de estructura comunitaria del fitoplancton en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4	6-201
Tabla 6.22	Registro de especies de microalgas potencialmente tóxicas y asociadas a eventos de "marea roja"	6-202
Tabla 6.23	Composición y abundancia (organismos / 100 m ³) del zooplancton en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4	6-207
Tabla 6.24	Índices de estructura comunitaria del zooplancton en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4	6-209
Tabla 6.25	Composición y abundancia (organismos / 100 m ³) del ictioplancton en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4	6-211
Tabla 6.26	Índices de estructura comunitaria del ictioplancton en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4	213
Tabla 6.27	Parámetros biológicos estimados de los grupos taxonómicos de macrobentos registrados en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4	6-215
Tabla 6.28	Parámetros biológicos del macrobentos en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4	6-217
Tabla 6.29	Índices de diversidad de las estaciones de muestreo de macrobentos del Área Contractual 4	6-218
Tabla 6.30	Datos generales de la pesca exploratoria en la estación PC-1 del Área Contractual 4	6-226
Tabla 6.31	Especies de ictiofauna registradas en la estación PC-1 del Área Contractual 4	6-227
Tabla 6.32	Datos generales de la pesca exploratoria en la estación IC -1 del Área Contractual 4	6-229
Tabla 6.33	Especies de ictiofauna registradas en la estación IC -1 del Área Contractual 4	6-229



Tabla 6.34	Parámetros de caracterización de fauna íctica reportados en el Área Contractual 4	6-231
Tabla 6.35	Especies de aves registradas en en el Área Contractual 4	6-237
Tabla 6.36	Aves registradas y su hábitat de uso en el Golfo de México	6-238
Tabla 6.37	Categoría de Conservación de las aves registradas en el Área Contractual 4	6-240
Tabla 6.38	Mamíferos Marinos registrados en el Área Contractual 4	6-242
Tabla 6.39	Categoría de Conservación de los mamíferos marinos registrados en en el Área Contractual 4	6-244
Tabla 6.40	Tortugas que ocurren en el Golfo de México	6-246
Tabla 6.41	Categoría de Conservación de las tortugas marinas que ocurren en el Golfo de México	6-247
Tabla 6.42	Análisis de concentración de metales en sedimentos	6-254
Tabla 6.43	Efectos de la concentración de cadmio sobre especies acuáticas	6-256
Tabla 6.44	Análisis de la concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en sedimentos	6-260
Tabla 6.45	Características de la captura de las principales especies comerciales de peces	6-275
Tabla 6.46	Vedas establecidas para las principales especies comerciales en el Área Contractual 4	6-280
Tabla 6.47	Determinación de códigos de atributos de daños ambientales	6-288
Tabla 6.48	Categoría de significancia de daños ambientales	6-289
Tabla 6.49	Cálculo del índice de incidencia y categorización de los daños ambientales en el Área Contractual 4	6-290
Tabla 6.50	Componente ambiental por incidencia	6-298
Tabla 6.51	Localización de pozos de exploración existentes en el Área Contractual 4	6-299
Tabla 6.52	Localización de pozos de exploración cercanos a los campos del Área Contractual 4	6-300
Tabla 6.53	Localización de ductos cercanos a los campos del Área Contractual 4	6-300
Tabla 6.54	Resumen de hallazgos de la inspección de los sistemas MLS de los pozos Ichalkil-1, Ichalkil-1DL y Pokoch-1	6-302
Tabla 6.55	Criterios empleados para la inspección de los MLS de los pozos Ichalkil-1, Ichalkil 1-DL y Pokoch-1	6-302
Tabla 6.56	Resultados analíticos de calidad de sedimento marino en las muestras colectadas en el Área Contractual 4	6-309



9. Lista de figuras

Figura 4.1	Vista del buque "Riviera Maya".....	4-9
Figura 4.2	Vista de embarcación menor empleada en la evaluación de pesca exploratoria.....	4-10
Figura 5.1	Ubicación geográfica del Área Contractual 4 en el Golfo de México	5-14
Figura 5.2	Ubicación de las estaciones de muestreo propuestas	5-16
Figura 5.3	Distribución de Zonas Pesqueras en México	5-17
Figura 5.4	Profundidades en metros del Golfo de México versión GOMIO.04_72.....	5-18
Figura 5.5	Roseta de botellas Niskin utilizada en el muestreo de agua.....	5-19
Figura 5.6	Boxcore de corte cuadrado utilizado en el muestreo de sedimento	5-22
Figura 5.7	Red estándar de 20 μ m empleada para la colecta de muestras de fitoplancton.....	5-24
Figura 5.8	Derrotero de evaluación de fauna marina: Aves, mamíferos y tortugas	5-32
Figura 5.9	Metodología de Pesca Exploratoria en el Área Contractual 4	5-34
Figura 6.1	Área contractual y área de estudio.....	6-40
Figura 6.2	Ubicación del Área Contractual 4 dentro del sistema geológico de la provincia conocida como Área de Aguas Someras de las Cuencas del Sureste	6-41
Figura 6.3	Geología estructural regional de la provincia conocida como Área de Aguas Someras de las Cuencas del Sureste.....	6-45
Figura 6.4	Columna estratigráfica regional de la provincia conocida como Área de Aguas Someras de las Cuencas del Sureste.....	6-46
Figura 6.5	Meteograma de Frontera	6-54
Figura 6.6	Meteorograma de humedad relativa contra presión atmosférica.....	6-55
Figura 6.7	Temperatura superficial (°C): a) enero, b) febrero, c) marzo, d) abril	6-57
Figura 6.8	Temperatura superficial (°C): e) mayo, f) junio, g) julio, h) agosto.....	6-58
Figura 6.9	Temperatura superficial (°C) i) septiembre, j) octubre, k) noviembre, l) diciembre....	6-58
Figura 6.10	Ejemplo de perfil térmico para el Área Contractual 4 generado del modelo HYCOM	6-59
Figura 6.11	Precipitación anual promedio (mm) durante el 2014 a nivel nacional	6-60
Figura 6.12	División de México, según los valores anuales de la humedad relativa. Período: 1941-1970. Se distinguen 3 tipos: 1) tipo húmedo (F), con valores superiores al 70%; 2) tipo medio (M), con valores entre 65 y 70%; 3) tipo seco (T), con valores inferiores al 65%	6-62
Figura 6.13	Valores de humedad relativa en la estación meteorológica automática "Pantanos de Centla", Tabasco	6-63
Figura 6.14	Promedio de la nubosidad diaria en el mes de diciembre (2015) para el área circundante al Área Contractual.....	6-67



Figura 6.15	Ciclones tropicales en las costas del Mar Caribe y océano Atlántico 2010-2015. Fuente: NOAA, 2015	6-70
Figura 6.16	Patrón de circulación de corrientes superficiales ($m s^{-1}$) en el sector del Golfo de México donde se ubica el Área Contractual 4.....	6-72
Figura 6.17	Profundidades (en metros) usadas por HYCOM del Golfo de México en la versión GOM10.04_72 (fuente: HYCOM, 2016)	6-73
Figura 6.18	Diagrama de rosa de corrientes para el sitio en donde se ubica el Área Contractual 4 para el periodo 2009-2014 (fuente: HYCOM, 2016).....	6-74
Figura 6.19	Ejemplo de corrientes superficiales marinas (enero-junio) en el Golfo de México obtenidas del modelo HYCOM (fuente: HYCOM, 2016).....	6-75
Figura 6.20	Ejemplo de corrientes superficiales marinas (julio-diciembre) en el Golfo de México obtenidas del modelo HYCOM (fuente: HYCOM, 2016).....	6-76
Figura 6.21	Ejemplo de perfil de salinidad para el sitio en donde se ubica el Área Contractual 4 generada del modelo HYCOM (fuente: HYCOM, 2016).....	6-77
Figura 6.22	Ejemplo perfil térmico para el sitio en donde se ubica el Área Contractual 4 generada del modelo HYCOM (fuente: Ajustado de HYCOM, 2016).....	6-78
Figura 6.23	Diagramas de rosa de vientos por mes (enero a junio) para el periodo 2009-2014 del sitio cercano al Área Contractual 4 (longitud -92.5° y latitud 19.0°).....	6-80
Figura 6.24	Diagramas de rosa de vientos por mes (julio-diciembre) para el periodo 2009-2014 del sitio cercano al Área Contractual 4 (longitud -92.5° y latitud 19.0°).....	6-81
Figura 6.25	Diagramas de rosa de vientos por mes del sitio cercano al Área Contractual 4 (longitud -92.5° y latitud 19.0°).....	6-82
Figura 6.26	Viento promedio a 10 m de la superficie en el periodo de lluvias (julio) del año 2015	6-83
Figura 6.27	Viento promedio a 10 m de la superficie en el periodo de Nortes (diciembre) del año 2015.....	6-83
Figura 6.28	Presión atmosférica registrada en el Área Contractual 4 en diciembre de 2015	6-84
Figura 6.29	Altura del oleaje y dirección simulada en el Golfo de México en el periodo de lluvias (julio) de 2015	6-87
Figura 6.30	Altura del oleaje y dirección simulada en el Golfo de México en el periodo de Nortes (diciembre) de 2015	6-87
Figura 6.31	Representación gráfica del régimen de mareas de la estación Frontera Tabasco (fuente: Adaptado de CICESE, 2016)	6-88
Figura 6.32	Batimetría del sector del Golfo de México donde se ubica el Área Contractual 4	6-89
Figura 6.33	Patrones generales de la dinámica de los sedimentos suspendidos en el Área Contractual 4 (fuente: Adaptado de Martínez-López y Pares-Sierra, 1998).....	6-90
Figura 6.34	Concentración de HTP en áreas circundantes al Área Contractual 4	6-138
Figura 6.35	Concentración de HAP en áreas circundantes al Área Contractual 4	6-139
Figura 6.36	Concentración de Hierro en áreas circundantes al Área Contractual 4	6-146
Figura 6.37	Concentración de Cadmio en áreas circundantes al Área Contractual 4	6-149



Figura 6.38	Concentración de Plomo en áreas circundantes al Área Contractual 4.....	6-150
Figura 6.39	Concentración de Cobre en áreas circundantes al Área Contractual 4.....	6-151
Figura 6.40	Concentración de Cromo en áreas circundantes al Área Contractual 4.....	6-152
Figura 6.41	Concentración de Níquel en áreas circundantes al Área Contractual 4.....	6-154
Figura 6.42	Concentración de Vanadio en áreas circundantes al Área Contractual 4.....	6-155
Figura 6.43	Concentración de Bario en áreas circundantes al Área Contractual 4.....	6-157
Figura 6.44	Variación espacial de la abundancia del fitoplancton superficial entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-188
Figura 6.45	Variación espacial de la abundancia de diatomeas –estrato superficial entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-189
Figura 6.46	Variación espacial de la abundancia de dinoflagelados –estrato superficial entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-190
Figura 6.47	Variación espacial de la abundancia del fitoplancton de fondo entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-198
Figura 6.48	Variación espacial de la abundancia de diatomeas –estrato de fondo entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-199
Figura 6.49	Variación espacial de la abundancia de dinoflagelados –estrato de fondo entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-200
Figura 6.50	Variación espacial de la abundancia de zooplancton entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-204
Figura 6.51	Variación espacial de la biomasa de zooplancton entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-205
Figura 6.52	Variación espacial de la abundancia de copépodos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-206
Figura 6.53	Variación espacial de la abundancia de ictioplancton entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	214
Figura 6.54	Variación espacial de la abundancia de macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-221
Figura 6.55	Variación espacial de la biomasa de macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-222
Figura 6.56	Pesca exploratoria y ubicación de la zona de pesca artesanal en el Área Contractual 4.....	6-235
Figura 6.57	Proporción de las familias de aves registradas en el Área Contractual 4.....	6-238
Figura 6.58	Distribución espacial de especies de fauna marina registradas en el Área Contractual 4.....	6-239
Figura 6.59	Riqueza de mamíferos marinos en la Zona Económica Exclusiva de México.....	6-243
Figura 6.60	Arrecifes coralinos en el Golfo de México y su distancia respecto al Área Contractual 4.....	6-263
Figura 6.61	Regiones Marinas Prioritarias en el Área Contractual 4.....	6-265



Figura 6.62	Sitios Marinos Prioritarios en el Área Contractual 4	6-266
Figura 6.63	Ubicación de las Áreas Naturales Protegidas y su distancia respecto al Área Contractual 4	6-267
Figura 6.64	Principales rutas migratorias de aves en Norteamérica: la ruta del Pacífico (azul), la ruta del Centro (verde), la ruta del Golfo (rosa) y la ruta del Atlántico (rojo)	6-268
Figura 6.65	Rutas migratorias de las aves durante primavera - Otoño	6-269
Figura 6.66	Distribución espacial de la pesca artesanal en el sector del Golfo de México donde se ubica el Área Contractual 4	6-272
Figura 6.67	Zonas de pesca por recursos hidrobiológicos próximas al Área Contractual 4	6-276
Figura 6.68	Embarcaciones utilizadas para la pesca artesanal	6-277
Figura 6.69	Ubicación de naufragios en el Golfo de México y su distancia respecto al Área Contractual 4	6-281
Figura 6.70	Mapa de daños ambientales identificados en el Área Contractual 4	6-294
Figura 6.71	Ubicación de la infraestructura petrolera existente en el Área Contractual 4 y sus inmediaciones	6-301



10. Lista de gráficas

Gráfica 6.1	Clasificación de sedimentos en las estaciones de muestreo del Área Contractual 4 ...	6-50
Gráfica 6.2	Climograma del periodo 1951-2010. Estación meteorológica Frontera-A. Obregón ...	6-53
Gráfica 6.3	Variación mensual del promedio de temperatura superficial del océano (°C).....	6-57
Gráfica 6.4	Comportamiento de la salinidad en el Área Contractual 4.....	6-99
Gráfica 6.5	Comportamiento de la salinidad en el campo Pokoch.....	6-99
Gráfica 6.6	Comportamiento de la salinidad en el campo Ichalkil.....	6-100
Gráfica 6.7	Comportamiento de la temperatura en el Área Contractual 4.....	6-101
Gráfica 6.8	Comportamiento de la temperatura en el campo Pokoch.....	6-101
Gráfica 6.9	Comportamiento de la temperatura en el campo Ichalkil.....	6-101
Gráfica 6.10	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en P1 del campo Pokoch.....	6-102
Gráfica 6.11	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en P2 del campo Pokoch.....	6-103
Gráfica 6.12	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en P3 del campo Pokoch.....	6-104
Gráfica 6.13	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en PC1 del campo Pokoch.....	6-105
Gráfica 6.14	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en I1 del campo Ichalkil.....	6-106
Gráfica 6.15	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en I2 del campo Ichalkil.....	6-107
Gráfica 6.16	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en I3 del campo Ichalkil.....	6-108
Gráfica 6.17	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en I4 del campo Ichalkil.....	6-109
Gráfica 6.18	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en I5 del campo Ichalkil.....	6-109
Gráfica 6.19	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en IC1 del campo Ichalkil.....	6-110
Gráfica 6.20	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en IC2 del campo Ichalkil.....	6-111
Gráfica 6.21	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en el punto de muestreo D1.....	6-112
Gráfica 6.22	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en el punto de muestreo D2.....	6-112
Gráfica 6.23	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en el punto de muestreo D3.....	6-113
Gráfica 6.24	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en el punto de muestreo D4.....	6-113
Gráfica 6.25	Comportamiento de la Temperatura vs. Salinidad en el punto de muestreo D5.....	6-114
Gráfica 6.26	Comportamiento del pH en el Área Contractual 4.....	6-115
Gráfica 6.27	Comportamiento del pH en el campo Pokoch.....	6-116
Gráfica 6.28	Comportamiento del pH en el campo Ichalkil.....	6-116
Gráfica 6.29	Comportamiento del oxígeno disuelto en el Área Contractual 4.....	6-118
Gráfica 6.30	Comportamiento del oxígeno disuelto en el campo Pokoch.....	6-118



Gráfica 6.31	Comportamiento del oxígeno disuelto en el campo Ichalkil	6-119
Gráfica 6.32	Comportamiento de la turbidez en el Área Contractual 4	6-120
Gráfica 6.33	Comportamiento de la turbidez en el campo Pokoch	6-120
Gráfica 6.34	Comportamiento de la turbidez en el campo Ichalkil	6-121
Gráfica 6.35	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en P1 del campo Pokoch	6-122
Gráfica 6.36	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en P2 del campo Pokoch	6-122
Gráfica 6.37	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en P3 del campo Pokoch	6-123
Gráfica 6.38	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en PC1 del campo Pokoch.....	6-123
Gráfica 6.39	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en I1 del campo Ichalkil	6-124
Gráfica 6.40	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en I2 del campo Ichalkil	6-125
Gráfica 6.41	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en I3 del campo Ichalkil	6-125
Gráfica 6.42	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en I4 del campo Ichalkil	6-126
Gráfica 6.43	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en I5 del campo Ichalkil	6-126
Gráfica 6.44	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en IC1 del campo Ichalkil.....	6-127
Gráfica 6.45	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en IC2 del campo Ichalkil.....	6-127
Gráfica 6.46	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en el punto de muestreo D1.....	6-128
Gráfica 6.47	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en el punto de muestreo D2.....	6-129
Gráfica 6.48	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en el punto de muestreo D3.....	6-130
Gráfica 6.49	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en el punto de muestreo D4.....	6-130
Gráfica 6.50	Comportamiento de la Turbidez vs. OD en el punto de muestreo D5.....	6-131
Gráfica 6.51	Comportamiento de la fluorescencia en el Área Contractual 4.....	6-132
Gráfica 6.52	Comportamiento de la fluorescencia en el campo Pokoch	6-132
Gráfica 6.53	Comportamiento de la fluorescencia en el campo Ichalkil	6-133
Gráfica 6.54	Concentración de Clorofila a en agua marina	6-135
Gráfica 6.55	Concentración de Sólidos Suspendidos Totales en agua marina	6-136
Gráfica 6.56	Concentración de Hidrocarburos Totales de Pétroleo – Fracción Media en agua marina	6-137
Gráfica 6.57	Concentración de Hidrocarburos Totales de Pétroleo – Fracción Pesada en agua marina	6-138
Gráfica 6.58	Concentración de Nitritos en agua marina	6-141
Gráfica 6.59	Concentración de Nitratos en agua marina	6-142
Gráfica 6.60	Concentración de Fosfatos en agua marina	6-143
Gráfica 6.61	Concentración de Sílice en agua marina.....	6-144
Gráfica 6.62	Concentración de Silicio en agua marina	6-144
Gráfica 6.63	Concentración de Hierro en agua marina	6-147



Gráfica 6.64	Concentración de Zinc en agua marina	6-148
Gráfica 6.65	Concentración de Cromo Total en agua marina.....	6-153
Gráfica 6.66	Concentración de Vanadio en agua marina	6-156
Gráfica 6.67	Concentración de Bario en agua marina.....	6-158
Gráfica 6.68	Concentración de HTP en sedimento marino.....	6-160
Gráfica 6.69	Concentración de Hierro en sedimento marino	6-162
Gráfica 6.70	Concentración de Zinc en sedimento marino	6-163
Gráfica 6.71	Concentración de Cadmio en sedimento marino	6-164
Gráfica 6.72	Concentración de Plomo en sedimento marino.....	6-165
Gráfica 6.73	Concentración de Cobre en sedimento marino	6-166
Gráfica 6.74	Concentración de Mercurio en sedimento marino.....	6-167
Gráfica 6.75	Concentración de Níquel en sedimento marino.....	6-168
Gráfica 6.76	Concentración de Vanadio en sedimento marino	6-169
Gráfica 6.77	Concentración de Bario en sedimento marino.....	6-170
Gráfica 6.78	Concentración de Litio en sedimento marino.....	6-171
Gráfica 6.79	Concentración de Manganeso en sedimento marino.....	6-172
Gráfica 6.80	Concentración de Molibdeno en sedimento marino.....	6-173
Gráfica 6.81	Composición porcentual por niveles de abundancia de los grupos taxonómicos del macrobentos	6-215
Gráfica 6.82	Composición porcentual por niveles de biomasa de los grupos taxonómicos del macrobentos	6-216
Gráfica 6.83	Variación espacial de la riqueza de especies de macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-218
Gráfica 6.84	Variación espacial de la densidad de macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-220
Gráfica 6.85	Variación espacial de la biomasa de macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-220
Gráfica 6.86	Variación espacial de la riqueza de especies por grupo taxonómico del macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-222
Gráfica 6.87	Variación espacial de la riqueza de la abundancia por grupo taxonómico del macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4	6-223
Gráfica 6.88	Variación espacial de la biomasa por grupo taxonómico del macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4.....	6-223
Gráfica 6.89	Dendrograma del Índice de Similitud de Bray –Curtis del Área Contractual 4	6-224
Gráfica 6.90	Composición porcentual por especie de las capturas en la estación PC-1.....	6-227
Gráfica 6.91	Composición porcentual por especie de las capturas en la estación IC-1.....	6-230



Gráfica 6.92 Valor por localidad de la pesca reportada en la región del proyecto	6-274
Gráfica 6.93 Valor por especie de la pesca reportada en la región del Proyecto	6-275



11. Anexos

- Anexo 5.1 Bitácora general de actividades de campo
- Anexo 5.2 Acreditaciones y certificaciones del laboratorio analítico Intertek
- Anexo 5.3 Certificado de calibración del equipo multiparamétrico
- Anexo 5.4 Informes de ensayo del laboratorio analítico Intertek
- Anexo 5.5 Informes de Ensayo del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México
- Anexo 5.6 Informes de Ensayo del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
- Anexo 6.1 Reportes de inspección de los pozos Ichalkil-1, Ichalkil-1DL y Pokoch-1



12. Apéndices

Apéndice 6.1	Resultados analíticos de agua marina en el Área Contractual 4
Apéndice 6.2	Resultados analíticos de agua marina - Clorofila a
Apéndice 6.3	Resultados analíticos de agua marina - SST
Apéndice 6.4	Resultados analíticos de agua marina - HTP
Apéndice 6.5	Resultados analíticos de agua marina - HAP
Apéndice 6.6	Resultados analíticos de agua marina - BTEX
Apéndice 6.7	Resultados analíticos de agua marina - Nutrientes
Apéndice 6.8	Resultados analíticos de agua marina - Metales
Apéndice 6.9	Resumen de análisis y muestreo de sedimento
Apéndice 6.10	Resultados analíticos de sedimento - HTP
Apéndice 6.11	Resultados analíticos de sedimento - HAP
Apéndice 6.12	Resultados analíticos de sedimento - Metales
Apéndice 6.13	Resultados analíticos de sedimento - Propiedades físicas
Apéndice 6.14	Resultados analíticos de sedimento - Granulometría
Apéndice 6.15	Resultados analíticos de sedimento - Propiedades químicas
Apéndice 6.16	Listado de organismos del fitoplancton con presencia potencial en el Área Contractual 4 y sus inmediaciones
Apéndice 6.17	Listado de organismos del zooplancton con presencia potencial en el Área Contractual 4 y sus inmediaciones
Apéndice 6.18	Listado de organismos del macrobentos con presencia potencial en el Área Contractual 4 y sus inmediaciones
Apéndice 6.19	Evaluación de pesca embarcada exploratoria en el Área Contractual 4
Apéndice 6.20	Evaluación de avifauna marina en el Área Contractual 4
Apéndice 6.21	Relación de especies de mamíferos marinos reportados en México
Apéndice 6.22	Características de las tortugas marinas reportadas en el Golfo de México



13. Cartografía

Mapa 1	Ubicación geográfica del Área Contractual 4 en el Golfo de México
Mapa 2	Ubicación de las estaciones de muestreo propuestas
Mapa 3	Pesca exploratoria y ubicación de la zona de pesca artesanal en el Área Contractual 4
Mapa 4	Derrotero de la evaluación de fauna marina
Mapa 5	Patrón de circulación de las corrientes superficiales en el sector del Golfo de México donde se ubica el Área Contractual 4
Mapa 6	Batimetría en el sector del Golfo de México donde se ubica el Área Contractual 4
Mapa 7	Variación espacial de la abundancia del fitoplancton superficial entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4
Mapa 8	Variación espacial de la abundancia de diatomeas – estrato superficial entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4
Mapa 9	Variación espacial de la abundancia de dinoflagelados – estrato superficial entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4
Mapa 10	Variación espacial de la abundancia del fitoplancton de fondo entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4
Mapa 11	Variación espacial de la abundancia de diatomeas – estrato de fondo entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4
Mapa 12	Variación espacial de la abundancia de dinoflagelados – estrato de fondo entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4
Mapa 13	Variación espacial de la abundancia de zooplancton entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4
Mapa 14	Variación espacial de la biomasa de zooplancton entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4
Mapa 15	Variación espacial de la abundancia de copépodos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4
Mapa 16	Variación espacial de la abundancia de ictioplancton entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4
Mapa 17	Variación espacial de la abundancia de macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4
Mapa 18	Variación espacial de la biomasa de macrobentos entre las estaciones de muestreo del Área Contractual 4
Mapa 19	Distribución espacial de especies de fauna marina registradas en el Área Contractual 4



Mapa 20	Ubicación de arrecifes coralinos en el Golfo de México y su distancia respecto al Área Contractual 4
Mapa 21	Regiones Marinas Prioritarias en el Área Contractual 4
Mapa 22	Sitios Marinos Prioritarios en el Área Contractual 4
Mapa 23	Ubicación de las Áreas Naturales Protegidas y su distancia respecto al Área Contractual 4
Mapa 24	Zonas de pesca por recursos hidrobiológicos próximas al Área Contractual 4
Mapa 25	Ubicación de naufragios en el Golfo de México y su distancia respecto al Área Contractual 4
Mapa 26	Ubicación de daños ambientales identificados en el Área Contractual 4