



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA  
CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA  
SECCIÓN DE CONTAMINACION AMBIENTAL



Evaluación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)

en el Golfo de México

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA

Jorge David Santacruz Morhy

MÉXICO, D.F.

2006



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Jurado asignado:

Presidente	Prof. Francisco Rojo Callejas
Vocal	Prof. Josefina Elizalde Torres
Secretario	Prof. Rodolfo Sosa Echeverría
1er. Suplente	Prof. Rodolfo Torres Barrera
2º. Suplente	Prof. Alfonso Duran Moreno

**CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA. UNAM.**

**SECCIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

Nombre completo y firma del asesor del tema

**Dr. Rodolfo Sosa Echeverría**

---

Nombre completo y firma del supervisor técnico

**Dr. Humberto Bravo Álvarez**

---

Nombre completo y firma del sustentante

**Jorge David. Santacruz Morhy**

---

## DEDICATORIAS

A mi madre Olga, Rosa Morhy, Rosa Elva, por darme su apoyo siempre.

A mis tíos: Miguel, Mario, Ángel, Alejandro y Salomón por enseñarme a trabajar y siempre darme su apoyo en cualquier momento.

A mi Tía Sara Morhy donde quiera que este, estarás en nuestro corazón.

A mis Tías Gabriela Sánchez y Sara Becerril.

A mi tía Albertina y sus hijos que son muy buena onda.

A mis primos: Fabiola, Alma Esther, Juan, Jorge Alberto, Juan Manuel, Rosa Patricia.

A mis primos los más chiquitos: Belem Alejandra, Dulce Paulina, Abigail, Dante Omar, que no importa la distancia, siempre estarán en mi Universo...

A mis queridas sobrinas Ximena este es tu mundo, y Lluvia Alin mi angelito.

A Edmundo López.

A Salomón Morhy H aquí sigue el enredijo del árbol de olivo que sembraste Gracias.

A mis profesores de la Secundaria: Norma angélica Zamarripa, Silvia Martines de Geografía, al Profesor de Biología por encaminarme en esa área.

A José David García Castrejón por su gran amistad mi Hermano. A mi amigo Cuatro Vientos Juan Francisco Fonseca ser luchador de nuestra cultura Mexica. A Vicente Hernández gran amigo tu sabes mi hermano seguiremos el camino. Alfonso Enríquez. Iván Zarate, Francisco Ramírez (Paquín), Ignacio Buendía, Mario Portilla. A mis amigos del CCH; Julio Cesar, Víctor, Memo. A mis amigos de la Secundario # 64; A Benito Juárez, A Miguel Ángel Conchas. A Juan Negrete y todos los que nos reuníamos a jugar todas las tardes sin perdernos ningún partido en el refrigerio. A mis amigos de la facultad de Química.

A Verónica de la Luz mi gran amiga que nuestros camino se encontraron. A Nayelli Barrios Archundia mi querida amiga, A Brisa Rabago Paredes por su amistad donde estés. A Erika Pilar Ramos Huazo. A Martha Ibarra el paréntesis de mi vida. A Nadia Córdova Castañón, Amanda de la Cruz, Minerva Guzmán, Gabriela Escobar. A mi amiguita pero gran amiga Sandra Roció Medina Morales. Gisela Solano, Martha Rivera, Esmeralda Medina, Gisela, Pilar Mendoza.

La Lista Sigue pero el tiempo apremia. Gracias por su Amistad espero que nos volvamos a ver pronto.

También quiero dedicar esta tesis a los campesinos que nos alimentan y cuyo lugar en la escala social esta invertida.

## *AGRADECIMIENTOS*

*Al Dr. Humberto Bravo Álvarez jefe de la Sección de Contaminación Ambiental, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM por la escuela que me ha encaminado.*

*Al Dr. Rodolfo Sosa Echeverría de la Sección de Contaminación Ambiental, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, por su apoyo y su amistad.*

*A la M en I. Emma Bueno López del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA), por la realización de los análisis de COVs, por su apoyo y su amistad.*

*Al Dr. Felipe Vázquez G. del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM (ICM y L). Coordinador de las Campañas Oceanográficas.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México*

*A la Facultad de Química de la UNAM*

*Al Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Vallejo*

*No a los Edificios, si no a las personas que lo construyeron, a quienes han enseñado y aprendido dentro de ellos.*

*A la Profesora Martha Esquivel Cuéllar por su apoyo en mi comienzo en los peldaños del conocimiento y disciplina, y su gran dedicación de tratar difundir la educación.*

*A Francisco Quezada profesor del CCH por enseñarme lo de computación y además por su amistad que me brindo.*

*A Q. Graciela Fernández por enseñarme el campo de Analítica y Dr. Octavio Reyes.*

*A mis Profesores de la Facultad de Química.*

*A la profesora Josefina Elizalde Torres por su apoyo.*

*Al profesor Francisco Rojo Callejas por su apoyo.*

*Al personal de la Sección de contaminación Ambiental (SCA): Biólogo. Pablo Sánchez Álvarez, Pas .I. Q. Pedro Hernández Nieto, quienes también participaron en las campañas oceanográficas y sobre todo en los muestreos de COVs.*

*A mis demás compañeros de la SCA por su apoyo y colaboración: Ana Luisa Alarcón, Elizabeth Cruz, Ruth Hernández, Valeria Ramírez, Laura Negrete, Olga González, Gabriela Domínguez, Jenny Rojas. Dr. Rogelio Soto, Vicente Hernández, Juan Marín, Oscar, Miguel Ángel Delgadillo, Jorge García, Roberto Galicia.*

*A Dios que es el Son del Universo, A mi Familia, a mis amigos por su amistad, su afecto y los momentos que hemos compartido.*

**El Té está servido :**

**Lo místico no implica la verdad**

**pero el**

**raciocinio experimental**

**nos da herramientas**

**para interactuar Hombre y Naturaleza**

**por: DVD AFFA**

## EVALUACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVs) EN EL GOLFO DE MÉXICO.

### ÍNDICE.

INDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS .....	9
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	11
RESUMEN EJECUTIVO.....	11
1-INTRODUCCIÓN.....	13
2-ANTECEDENTES.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2.1. El Golfo de México.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2.2. Economía Humana en el Golfo.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3. Contaminación Atmosférica.....	¡Error! Marcador no definido.
2.4. El Petróleo.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5. Registro de Emisiones y transferencia de Contaminantes (RETC).....	¡Error! Marcador no definido.
2.6. Inventario de Emisiones en el norte del Golfo de México.....	¡Error! Marcador no definido.
3- CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.1. COVs Definición.....	¡Error! Marcador no definido.
3.2. COVs en la Atmósfera.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3. Fuentes de Emisión de COVs.....	¡Error! Marcador no definido.
3.4. Caracterización de COVs en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5. Toxicidad de los COVs.....	¡Error! Marcador no definido.
4-PLATAFORMAS MARINAS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.1. Plataformas en el Sur del Golfo de México.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2. Tipos de Instalaciones para la Explotación de Hidrocarburos.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3. Clasificación de las Plataformas.....	¡Error! Marcador no definido.
4.4. Plataformas como Fuentes de Emisión.....	¡Error! Marcador no definido.
5- MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE COVS EN AIRE AMBIENTE.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
5.1. Métodos para determinación de COVs.....	¡Error! Marcador no definido.
5.2. Método TO-15 de la USEPA para la determinación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en aire ambiente.....	¡Error! Marcador no definido.
5.3. Muestreo y Análisis de COVs en la Zona del Golfo de México.....	¡Error! Marcador no definido.
5.4. Diseño Experimental.....	¡Error! Marcador no definido.
5.5. Sitios de Muestreo y Número Mínimo de Muestras.....	¡Error! Marcador no definido.
5.6. Aseguramiento y Control de Calidad.....	¡Error! Marcador no definido.
6-RESULTADOS OBTENIDOS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
6.1 Número de Muestras Obtenidas.....	¡Error! Marcador no definido.
6.2. Cromatogramas Obtenidos.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
6.3. Gráficas del muestreo de las Campañas Oceanográficas en el Golfo de México.....	¡Error! Marcador no definido.
6.4 Concentración de COVs provenientes de la Chimenea.....	¡Error! Marcador no definido.

7- EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.  
7.1. Concentraciones obtenidas durante las tres Campañas Oceanográficas. ....¡Error! Marcador no definido.  
7.2. Calidad del Aire en Ozono .....¡Error! Marcador no definido.  
7.3. Sensibilidad del Método de Análisis. ....¡Error! Marcador no definido.

8- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.  
BIBLIOGRAFÍA .....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ANEXO I BITACORA DE LAS TRES CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS DE MUESTREO DE COVS EN EL GOLFO DE MÉXICO. ....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.  
ANEXO II TABLA DE LOS RESULTADOS DE LAS CONCENTRACIONES DE LAS TRES CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS EN EL GOLFO DE MÉXICO .....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.  
ANEXO III GRAFICAS DE CONCENTRACIONES COVs DE LAS TRES CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS EN EL GOLFO DE MÉXICO .....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.  
ANEXO IV CROMATOGRAMAS OBTENIDOS DURANTE EL ANÁLISIS.¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.  
ANEXO V PARTES DEL BUQUE OCEONOGRAFICO .....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.2.1. Participación de los COVs en ciclo Fotoquímico del Ozono;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura 3.2.2. Fuentes de radicales hidroxilo en atmósferas urbanas.... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura 4.1.1. Plataformas de Cantarell en el Golfo de México..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura.4.3.1. Plataforma Habitacional y Telecomunicaciones en el Sur del Golfo México;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura.4.3.2. Plataformas Petroleras Área de Bombeo en el Sur del Golfo México;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura 4.3.3. Centro de Procesamiento Akal-C.....46

Figura 5.3.1. Sistema automático para muestreo y análisis de COVs... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura 5.3.2- Diagrama de flujo del sistema y análisis de COVs TO-15 USEPA;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura 5.4.1. Detalle del equipo de muestreo de COVs mediante canisters;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura 5.5.1. Derrotero del Buque Oceanográfico durante la Campaña 2002, 2003 y 2004.....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura 5.5.2. Mapa del Complejo Cantarell.. ..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura 5.5.3. Ubicación del Canisters en el Buque "Justo Sierra" ..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura 5.5.4. Muestreo de COVs cerca de plataformas con el muestreador Weeding & Associates.¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura 5.5.5. Muestreo de COVs cerca de plataformas con controlador de flujo de orificio critico ...¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Gráficas 6.3.1.Concentraciones COVs durante las tres Campañas ..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Gráfica 6.4.1.Concentración de COVs en las emisiones de la chimenea del Buque "Justo Sierra" .¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Gráfica 7.1.1. Composición promedio de COVs Campañas Oceanográficas 2002-2004;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura 7.1.2. Concentración de COVs en el Golfo de México..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura 7.1.3. Concentraciones promedio de COVs. .... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Figura 7.1.4.COVs Promedio de las emisiones de la chimenea en el Barco de la campaña SGM-08.¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.3.1. Contaminantes Atmosféricos de importancia, según WHO .	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 2.3.2. Composición promedio de Aire Troposférico.....	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 2.4.1. Clasificación del Petróleo Internacionalmente. ....	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 3.1.1. Clasificación de los contaminantes atmosféricos peligrosos por su presión de vapor a 25 °C .	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 3.1.2. Número de contaminantes atmosféricos peligrosos conforme a su clase de volatilidad	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 3.3.1. Categorización de áreas que no cumplen con la NNCA para Ozono	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 3.5.1. Niveles Máximos Permisibles de concentración de los trece COVs en ambiente laboral	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 4.4.1. Fuentes Potenciales de Emisiones .....	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 4.4.2. Emisiones de contaminantes de plataformas petroleras en instalaciones de extracción y producción en la Sonda de Campeche. ....	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 5.1.1, Métodos utilizados para monitoreo de COV en aire ambiente	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 5.3.1. Condiciones de operación del sistema para análisis de COVs	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 5.3.2 COVs analizados en las zonas Golfo de México.....	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 5.6.1. Composición de la mezcla de gas estándar .....	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 5.6.2 Promedio y desviación estándar de la respuesta de la mezcla de gas estándar para cada COVs	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 6.1.1. Cantidad de Muestras de las Diferentes Campañas Golfo de México	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 6.4.1. Concentración promedio de COVs en la chimenea del barco "justo Sierra" .....			67
Tabla 7.1.1. Concentración Promedio de COVs (ppb) .....	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 7.1.2. Relación tolueno/benceno en el Golfo de México y otros sitios	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 7.1.3. Relación propano/butano en el Golfo de México y otros sitios	¡ERROR!	MARCADOR	NO DEFINIDO.
Tabla 7.1.4. Comparación de los resultados de la campaña SGM-08 promedio y de las emisiones de la			

Chimenea del Buque "Justo Sierra" .....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.  
Tabla 7.3.1. Límites de detección de los COVs .....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

## **Glosario de Términos**

1. CCA: Centro de Ciencias de la Atmósfera.
2. CAA: Clean Air Act
3. CENICA: Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental.
4. COVs: Compuestos Orgánicos Volátiles.
5. FID: Detector de Ionización por Flama.
6. GC: Cromatografía de Gases.
7. HC: Hidrocarburos.
8. HCNM: Hidrocarburos no Metano.
9. HAP: Hazardous Air Pollutants
10. IMADA: Investigación sobre Materia Particulada y Deterioro Atmosférico
11. IMP: Instituto Mexicano del Petróleo.
12. INE: Instituto Nacional de Ecología
13. JICA: Agencia de Cooperación Internacional de Japón.
14. MS: Espectrometría de Masas.
15. NNCA: Norma Nacional de Calidad del Aire.
16. NOx: Óxidos de Nitrógeno.
17. ppb: partes por billón. 1000 ppb= 1ppm.
18. ppm: partes por millón.
19. ppt: partes por trillón. 1000 ppt= 1 ppb.
20. PROAIRE: Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000.
21. SCA: Sección de Contaminación Ambiental.
22. SUMMA: Método de Tratamiento de Superficie Interior del Canister por Electropulido.
23. SILCO: Método de Tratamiento de Superficie Interior del Canisters por Recubrimiento de Vidrio.
24. USEPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
25. .WHO :World Health Organization
26. ZMCM: Zona Metropolitana de la Ciudad de México

## **RESUMEN EJECUTIVO.**

La importancia de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) radica en que son precursores de ozono, y varios de ellos son compuestos tóxicos. Asimismo el Golfo de México puede recibir el impacto de fuentes antropogénicas localizadas a grandes distancias, así como las distintas actividades que ahí se presentan destacando por su impacto potencial en la calidad del aire las plataformas petroleras.

Con el fin de evaluar la contaminación atmosférica en el sur del Golfo de México, se participó en las campañas Oceanográficas (sur del Golfo de México) SGM7, SGM-8 y SGM-9. Llevada a cabo del 2002 al 2004 y organizadas por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, junto con Petróleos Mexicanos.

La realización de las tres campañas oceanográficas en donde se evaluó la calidad del aire tuvo como meta: Evaluar la Concentración de COVs en la Atmósfera en varios sitios del Golfo de México.

Para el desarrollo de las actividades relacionadas con este proyecto se requirió, el muestreo integral y puntual con canisters, los cuales fueron ubicados en la parte superior del puente, para la toma de muestras en el buque Oceanográfico "Justo Sierra" de la UNAM.

Una vez colectadas las muestras fueron analizadas en el sistema de análisis de COVs por cromatografía de gases, con detección por de ionización de flama (Método TO-15 de la EPA) en el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA) del Instituto Nacional de Ecología (INE).

El sistema consiste de un controlador de humedad, un modulo de preconcentración multiadsorbente y un cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama con dos columnas conectadas en serie, la primera de alumina PLOT ( i.d, 0.53 mm, 30 m) y la segunda de Metilsilicona (i.d, 0.5 mm, 30 m ).

Utilizando un estándar de calibración de 1 ppm para cada compuesto se determinaron tiempos de retención y concentración. Los compuestos que se determinaron fueron: etano, propano, propileno, butano, acetileno, pentano, hexano, heptano, benceno, octano, tolueno, nonano y o-xileno.

Las campañas SGM-7 tuvo lugar del 23 noviembre al 3 de diciembre de 2002 y se colectaron 28 muestras, la SGM-8 se realizo del 4 septiembre al 7 octubre del 2003 y se colectaron 32 muestras, mientras que la SGM-9 se llevo a cabo del 12 mayo al 12 de junio 2004 y se recolectaron 29 muestras, de las cuales se obtuvieron los resultados que se presentan posteriormente.

Las concentraciones fueron aumentando por campaña, para los 13 compuestos analizados. De los compuestos propano, butano, tolueno, etano y acetileno tuvieron una mayor contribución.

De los COVs estudiados el benceno es de gran importancia por su toxicidad, por lo cual las concentraciones promedio 0.2, 0.5 y 0.6 ppb por las campañas de muestreo, son indicativos de la presencia de este compuesto en la atmósfera.

Debido a la alta toxicidad del benceno como cancerígeno, se recomienda realizar un estudio de riesgo en el Golfo de México, tomando en cuenta tiempo de exposición del personal en las plataformas petroleras.

Debido a la posible variación de la concentración de COVs durante el día y la noche, se recomienda realizar muestreos tomando en cuenta estos periodos de tiempo.

Al observarse un aumento en las concentraciones de COVs, se recomienda implementar y hacer más eficiente los programas de mantenimiento tanto preventivo como correctivo en las instalaciones que son fuentes potenciales de estos contaminantes en el Golfo de México.

La importancia de este estudio consiste en que por primera vez se determino sobre la especiación de los COVs presentes en la atmósfera del Golfo de México, los cuales pueden tener un impacto en los ecosistema, además de que la información existente en esta zona es limitada o no se tiene.

## **1-INTRODUCCIÓN.**

La calidad del aire es el resultado de la presencia de contaminantes atmosféricos y su relación con las condiciones ambientales que prevalecen en la zona de estudio. El ozono troposférico es el resultado de las reacciones fotoquímicas entre los óxidos de Nitrógeno (NOx) y Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en la atmósfera por fuentes biogénicas y antropogénicas. El transporte de estas emisiones y los productos de su reacción química en la atmósfera originan además de ozono, otros oxidantes fotoquímicos tales como peroxiacil nitratos (PAN's), ácido nítrico y sulfúrico, formaldehído y otros contaminantes como partículas.

En julio de 1986, la Universidad Nacional Autónoma de México y la National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) realizaron un crucero de investigación oceanográfica en el Golfo de México. Con la colaboración de la Secretaria de Marina (SM) y su Buque Oceanográfico H-O2, se realizaron mediciones de diversos contaminantes como hidrocarburos totales, ozono y H<sub>2</sub>S (Parungo y Miller, 1988).

En la campaña 1986 en el Buque Oceanográfico H-O2 la medición de los contaminantes como hidrocarburos totales, ozono y H<sub>2</sub>S, demostró que los niveles de estos contaminantes son mayores cerca de las ciudades costeras que en altamar, lo cual refleja la influencia de las emisiones urbano-industria. A lo largo de la parte Noroeste de la cuenca del Golfo de México se registraron los mayores niveles de ozono y de hidrocarburos en el trayecto Coatzacoalcos-Progreso es decir en la Sonda de Campeche (Bravo et al 1988).

En el año 2002 se inicio la colaboración entre el laboratorio de fisicoquímica Marina (LFM) del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL) y la Sección de Contaminación Ambiental (SCA) del Centro de Ciencias de la Atmósfera, ambas instituciones de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con el fin de evaluar la contaminación atmosférica en el Golfo de México. Se participó en las campañas Oceanográfica en el Sur del Golfo de México (SGM-7) llevadas a cabo en noviembre-diciembre de 2002, la campaña (SGM-8) que se llevó a cabo en septiembre-octubre de 2003 y la campaña (SGM-9) que se llevó a cabo mayo-junio del 2004, a bordo del buque "Justo Sierra", correspondiendo a la SCA la responsabilidad de la "Evaluación de la Calidad del Aire en el Golfo de México.

La realización de las tres campañas oceanográficas en donde se evaluó la calidad del aire, resulta importante en la evaluación de concentraciones de fondo en áreas limpias o aparentemente limpias, así como evaluación del impacto de fuentes de contaminación atmosférica, localizadas tanto en el mismo océano, como en fuentes de emisión continentales en distintos a los sitios receptores.

## **1-INTRODUCCIÓN.**

La calidad del aire es el resultado de la presencia de contaminantes atmosféricos y su relación con las condiciones ambientales que prevalecen en la zona de estudio. El ozono troposférico es el resultado de las reacciones fotoquímicas entre los óxidos de Nitrógeno (NOx) y Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en la atmósfera por fuentes biogénicas y antropogénicas. El transporte de estas emisiones y los productos de su reacción química en la atmósfera originan además de ozono, otros oxidantes fotoquímicos tales como peroxiacil nitratos (PAN's), ácido nítrico y sulfúrico, formaldehído y otros contaminantes como partículas.

En julio de 1986, la Universidad Nacional Autónoma de México y la Nacional Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) realizaron un crucero de investigación oceanográfica en el Golfo de México. Con la colaboración de la Secretaria de Marina (SM) y su Buque Oceanográfico H-O2, se realizaron mediciones de diversos contaminantes como hidrocarburos totales, ozono y H<sub>2</sub>S (Parungo y Miller, 1988).

En la campaña 1986 en el Buque Oceanográfico H-O2 la medición de los contaminantes como hidrocarburos totales, ozono y H<sub>2</sub>S, demostró que los niveles de estos contaminantes son mayores cerca de las ciudades costeras que en altamar, lo cual refleja la influencia de las emisiones urbano-industria. A lo largo de la parte Noroeste de la cuenca del Golfo de México se registraron los mayores niveles de ozono y de hidrocarburos en el trayecto Coatzacoalcos-Progreso es decir en la Sonda de Campeche (Bravo et al 1988).

En el año 2002 se inicio la colaboración entre el laboratorio de fisicoquímica Marina (LFM) del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL) y la Sección de Contaminación Ambiental (SCA) del Centro de Ciencias de la Atmósfera, ambas instituciones de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con el fin de evaluar la contaminación atmosférica en el Golfo de México. Se participó en las campañas Oceanográfica en el Sur del Golfo de México (SGM-7) llevadas a cabo en noviembre-diciembre de 2002, la campaña (SGM-8) que se llevó a cabo en septiembre-octubre de 2003 y la campaña (SGM-9) que se llevó a cabo mayo-junio del 2004, a bordo del buque "Justo Sierra", correspondiendo a la SCA la responsabilidad de la "Evaluación de la Calidad del Aire en el Golfo de México.

La realización de las tres campañas oceanográficas en donde se evaluó la calidad del aire, resulta importante en la evaluación de concentraciones de fondo en áreas limpias o aparentemente limpias, así como evaluación del impacto de fuentes de contaminación atmosférica, localizadas tanto en el mismo océano, como en fuentes de emisión continentales en distintos a los sitios receptores.



## **META**

Evaluar la Concentración de COVs en la Atmósfera de varios sitios del Golfo de México.

## **OBJETIVOS.**

- Evaluación de la concentración Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en sitios del Golfo de México, durante tres campañas de medición.
- Comparar los resultados de las campañas Oceanográficas en el Golfo de México (2002-2004).
- Proponer alternativas para la prevención y control de las emisiones de COVs en la región en estudio.

## **ACTIVIDADES REALIZADAS.**

El desarrollo del trabajo se llevo a cabo conforme a las actividades que a continuación se presentan:

### **RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.**

Investigación bibliográfica, recopilación y procesamiento de información.

### **DISEÑO EXPERIMENTAL.**

Selección de sitios de muestreo y periodos de muestreo para las campañas SGM-07, SGM-08 y SGM-09.

Muestreo de COVs, preparación del equipo y realización de los muestreos durante la campaña SGM-07, SGM-08 y SGM-09.

Análisis de COVs, preparación del equipo de análisis, validación del método analítico, análisis de las muestras.

Análisis de resultados, procesamiento de resultados obtenidos.

Discusión de la información obtenida. Discusión sobre metodología y variación de las concentraciones encontradas de COVs en la zona del Golfo de México.

## **METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS.**

Para el desarrollo de las actividades relacionadas con este proyecto se requiere el muestreo Integral y puntual con Canisters Método TO-15 EPA (Agencia Protección Ambiental USA)

Las muestras fueron analizadas por cromatografía de gases (Método TO-15 EPA) con detector de ionización por flama en el Centro Nacional de Investigación y capacitación Ambiental (CENICA, INE). El sistema consiste de un controlador de Humedad (YAMATO, Mod. IJ200), un módulo de preconcentración multiadsorbente (DKK, GAS-30) y un cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama HP6890 (GC/FID) con dos columnas conectadas en serie, la primera de Alumina PLOT (i,d, 0.53mm, 30m) y la segunda Metilsilicón (i,d, 0.5 mm, 30m).

Utilizando un estándar de 1ppm de cada compuesto y los tiempos de retención se realizo la calibración del sistema de análisis y se evaluaron los contaminantes: etano, propano, propileno, butano, acetileno, pentano, hexano, heptano, benceno, octano, tolueno, nonano y o-xileno.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Conclusiones y recomendaciones sobre: la aplicación de la metodología de muestreo y análisis de COVs, a los niveles encontrados y el perfil de concentración que presentaron en las campañas oceanográficas.

## **2-ANTECEDENTES.**

### **2.1. El Golfo de México.**

Se presenta a continuación algunos aspectos ambientales importantes encontrados en el libro "Golfo de México", Contaminación e Impacto Ambiental, Diagnósticos y Tendencias ( Botello V, Alfonso 1996)

El Golfo de México es un sistema ambiental de los más diversos y ricos de la Tierra. Por sus dimensiones y características de cuenca semicerrada, es el gran mar interior del Atlántico tropical y un verdadero mediterráneo entre las América del norte y América del sur (Carson, 1980). Pocas zonas del Planeta pueden ofrecer, a distancias relativamente cortas, la gran diversidad de los ambientes costeros templados, subtropicales y tropicales que aquí encuentran sus confluencias. A lo largo de 4000 Km de litoral, entre las penínsulas de la Florida y de Yucatán; cayos, islas de barrera, dunas, playas arenosas, ríos, deltas, bahías, estuarios, lagunas costeras, humedales, manglares, arrecifes, bancos carbonatados y aguas oceánicas integran una compleja combinación de hábitat. En una cuenca de tan sólo  $1.6 \times 10^6$  Km<sup>2</sup>, que almacena cerca de " $203 \times 10^6$  Km<sup>3</sup> " de agua, se suceden una serie de procesos físicos, químicos y biológicos (corrientes oceánicas, anillos ciclónicos y anticiclónicos, tormentas tropicales, huracanes y nortes) que hacen del Golfo de México un inmenso almacén de energía del sistema océano-atmósfera (Elliot, 1982; Etter, 1983; Lewis y Hsu, 1992; Fernández et al., 1993). Su singularidad ecológica así como situación geopolítica y económica, convierten al Golfo de México en la mayor y más importante cuenca de aguas protegidas de la América Neotropical.

Geológicamente, el Golfo de México es una provincia distributiva integrada por un área sedimentaria del orden de " $5.40 \times 10^6$  Km<sup>2</sup> ", incluye 159,890 Km de ríos entre los que sobresalen los dos mayores sistemas fluviales de Norteamérica: el río Mississippi, en los Estados Unidos; y el Grijalva-Usumacinta, en México. (Antonio 1972)

"El 36% del área total de la provincia es agua y el 64% lo constituyen formaciones rocosas continentales situadas por encima del nivel del mar. Localizada en la parte central y meridional de Norteamérica. (Antonio 1972) "

El Golfo de México se divide en siete provincias geológicas: la cuenca del Golfo, la Plataformas Carbonata del Golfo nor.-oriental; la Plataforma Carbonatada del sur de la Florida, la plataforma de Yucatán y en la sonda de Campeche: la zona Ístmica; la Plataforma Oriental Mexicana; la Plataforma nor-occidental del Golfo (Antonio 1972). Los procesos geológicos que determinan la distribución y el transporte de sedimentos se encuentran estrechamente vinculados con la corriente y descargas fluviales (especialmente los Ríos Mississippi, Panuco, Papaloapan y Grijalva-Usumacinta), y con la corrientes de turbiedad asociadas a los cañones submarinos principalmente el de Soto y el de Campeche.

Las costas del Golfo de México han sido clasificadas por Carranza et al (1975) en cuatro grandes unidades morfoestructónicas continentales. 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 del mar marginal. La segunda cubre 300 Km y se extiende desde Punta Delgada hasta la desembocadura de Río Coatzacoalcos. Veracruz También se trata de una costa de mar marginal, con depositación en subáreas 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 Río Tonala, el Grijalva-Mezcalapa, el San Pablo. La cuarta y última unidad comprende 1,100 Km, desde 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 depositaciones marinas 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, se trata de una terraza casi continua que bordea sus márgenes y que se encuentra geológicamente, fisiográficamente vinculada con la masa continental, frente a las planicies costeras y relativamente estrechas a la altura de los sistemas montañosos que corren paralelos a las costas. Está constituida por numerosas depresiones, montañas, bancos coralinos. Frente a las costas de occidentales de Florida alcanza extensiones de 180 Km; frente a Louisiana-Texas de 160 Km; y hacia el territorio Mexicano gradualmente se va estrechando. alcanza 80 KM frente a la desembocadura del Río Bravo; 45 Km frente a Tampico y a la altura de la zona volcánica de los Tuxtla Veracruz, experimenta su máximo estrechamiento, de 6 a 16 Km. A partir de allí nuevamente empieza a ampliarse hasta alcanzar 130 Km frente a la isla del Carmen; 170 Km frente a Campeche y unos 260 Km en el extremo norte de la península de Yucatán (Linch, 1954; Lugo, 1985).

Entre los rasgos geomorfológicos más relevantes del Golfo de México se encuentra la extensión de sus plataformas carbonatadas. Al oeste de la península de la Florida y en la sonda de Campeche, adquieren dimensiones que las convierten en lugares apropiados para el estudio de la naturaleza, el origen y la distribución de los sedimentos lodosos, que predominan en gran parte del piso del Golfo de México.

Siete principales masas de agua se han identificado en el Golfo: Agua común del Golfo, agua subtropical subyacente, agua de los 18 °C del Mar de los Sargazos, agua Central del Atlántico Tropical, Agua Antártica Intermedia, Agua profunda del Atlántico Norte y Mezcla de Agua Intermedia del Caribe con agua Profunda del Atlántico Norte. Las cuatro primeras constituyen la capa cálida superior (0 a 500 m) y las tres restantes integran la capa fría inferior (500 a 3,650 m) (Vidal et al., 1990).

La corriente de Lazos y sus anillos ciclónicos y anticiclónicos asociados constituyen los mecanismos primarios que movilizan, distribuyen y dispersan las masas de agua en el Golfo de México. Estos flujos juegan un papel decisivo en la circulación, en la renovación y en el balance térmico y salinos de sus masas de agua superficiales; en la Climatología y en la hidrografía de una vasta porción de sus regiones orientales, central y occidental; en la dinámica de los procesos costeros; en la generación de las tormentas tropicales que se desarrollan con gran frecuencia en su extremo nor-Occidental. En suma estos factores hacen del Golfo de México un gran almacén de energía calórico crítica no solo para los balances térmicos de la cuenca sino aún del atlántico del norte.

El más prominente de estos flujos marinos, la corriente del Lazos, transporta del Caribe hacia el Golfo Oriental entre los estrechos de Yucatán y de Florida, volúmenes de aguas estimadas entre 29-33 Sv ( $1\text{Sv}=10^6\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), en tanto que los anillos ciclónicos y anticiclónicos que se desprenden de estas corrientes movilizan hacia la región occidental (norte, centro y sur) del Golfo volúmenes estimados entre 8-10 Sv.

Cuando la Corriente del Lazo penetra la región oriental del Golfo a la altura de los  $27^\circ$  N, se crean inestabilidades que terminan por formar anillos ciclónicos y anticiclónicos que se desprenden de la corriente y viajan comúnmente hacia el occidente, atravesando la región central y de aguas profundas del Golfo de México, al este de Tamaulipas, en esta zona de colisión, la circulación superficial se divide, una parte corre hacia el norte y otra hacia el sur, en paralelo hacia a la costa occidental del Golfo.

Estos Flujos, que duran generalmente de 6 a 8 meses (el tiempo total que les lleva cruzar el Golfo de México) persisten 35 meses más después de interactuar con la batimetría de la plataforma occidental del Golfo (México y Estados Unidos). Esta actividad confirma que la alta dinámica de la circulación en el Golfo occidental es el resultado de proceso generados por la corriente del lazo.

La corriente del lazo y sus anillos anticiclónicos se transforman así en una enorme y consolidada fuente de calor, de la cual las tormentas tropicales extraen gran energía, lo que convierte al Golfo de México en un mecanismo de transferencia de energía en el sistema océano-atmósfera. El estrés ejercido por estos vientos sobre las aguas superficiales del Golfo produce la mezcla de las capas superiores, y la dilución de las aguas cálidas y salinas caribeñas acarreadas por los anillos de la corriente del lazo hasta convertirlas en agua común del Golfo.

Durante el invierno la circulación de los vientos es primariamente anticiclónica, con velocidades intensas. Mientras los vientos Alisios soplan por el sur este, fuertes vientos nortees circulan por el occidente influidos por masas continentales de aire polar, de 20 a 30 nortees se manifiesta en el invierno y algunos de ellos llegan a alcanzar velocidades de 40 Km por hora (NOAA, 1983).

## **2.2. Economía Humana en el Golfo.**

La economía humana del Golfo de México esta basada en la extracción, procesamiento y distribución de Hidrocarburos; en la actividad de los complejos portuarios industriales y comerciales, las pesquerías y en las actividades agropecuarias y turísticas.

En efecto en el Golfo de México se localizan algunas de las mayores provincias petroleras en producción del hemisferio occidental: East Texas, Gulf Coast y Delta Mississippi, en Estados Unidos; reforma –Tabasco y sonda de Campeche en México. Una alta proporción de estas reservas se encuentran en estructuras cuyo desarrollo y producción dependen de factores económicos, de estrategias energéticas de largo plazo y de la recomposición del mapa geopolítico mundial del petróleo y no se contemplan, en los primeros años, ninguna clase de barrera científica o tecnológica que impida su aprovechamiento.

El Golfo de México no sólo es la región de mayor importancia en la producción y procesamiento de hidrocarburos de Estados Unidos y de México, sino que se trata de la mayor área de perforación petrolera marina en el mundo. La zona marina de Campeche, por su parte, aporta el 80% de la producción petrolera de México y cuenta con el 90% de las instalaciones para el procesamiento del petróleo crudo y el gas natural que hay en las costas del Golfo de México.

Los Impactos significativamente diferentes que las actividades petroleras han tenido en México y en Estados Unidos dependen de

- a) la evolución de la tecnología petrolera y de los conocimientos científicos sobre los efectos en los ambientes marinos tropicales de diferentes tipos de hidrocarburos.
- b) la vulnerabilidad y la sensibilidad de los recursos costeros y los ecosistemas.
- c) la evolución de la legislación en materia de protección ambiental, así como de la efectividad de su aplicación.
- d) el desarrollo de sistemas de planificación que permitan prever y controlar efectos adversos.
- e) de la capacidad del sistema social de que se trate para establecer instancias locales, federales y regionales de control de las emisiones del medio ambiente.

La realidad es que no sólo las actividades industriales, a partir de la extracción, el procesamiento y el transporte de hidrocarburos amenazan este patrimonio biológico de la humanidad sino también el desarrollo agropecuario, los procesos acelerados de urbanización, la explotación turística y la expansión de complejos portuarios comerciales son factores de tensión sobre ambiente de importancia ecológica crítica de la región.

La elevada frecuencia de las tormentas y ciclones tropicales que se presentan en el Golfo de México lo convierte en una zona de alto riesgo para la navegación comercial pero, a pesar de sus condiciones climáticas poco favorables, el movimiento portuario y el tránsito marítimo en la región son intensos debido principalmente al transporte de hidrocarburos. Los gigantescos complejos portuarios de Brownsville, Corpus Christi, Houston, Galveston y Nueva Orleans, en la costa estadounidense, y los puertos Mexicanos de Tampico-Madero, Veracruz, Coatzacoalcos-Minatitlán, dos Bocas Tabasco y Cayo Arcas, movilizan petróleo crudo, gas natural, ácidos, álcalis, glicoles, nitratos, fenoles, etileno, propileno, materias primas líquidas, azufre y fósforo. Hay un intenso tráfico marítimo entre los puertos del Golfo de México.

### **2.3. Contaminación Atmosférica.**

Debido a las actividades realizadas en el Golfo de México que están en relación con la Industria del Petróleo, es importante evaluar la contaminación atmosférica por contacto de estas actividades.

Los contaminantes Atmosféricos pueden ser emitidos en forma de gases y partículas (sólidos o líquidos) y pueden permanecer sin ser transformados o bien, ser alterados químicamente por diversos mecanismos de química atmosférica.

Algunos de estos contaminantes pueden sufrir una oxidación fotoquímica o una reducción química, dando por resultado otros compuestos que potencialmente pueden ser menos o más contaminantes, que aquellos que le dieron origen.

Un contaminante se define como; toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altera o modifique su composición y condición natural.

La contaminación se define como la impregnación del aire, el agua o el suelo con productos que afectan a la salud del hombre, la calidad de vida o el funcionamiento natural de los ecosistemas.

Las sustancias enlistadas en la Tabla 2.3.1 son consideradas como contaminantes atmosféricos importantes, en virtud de su potencial para ocasionar una alteración en las condiciones naturales de las capas inferiores de la troposfera.

**Tabla 2.3.1. Contaminantes Atmosféricos de importancia, según la WHO (World Health Organisation) 1995. [www.euro.who.int](http://www.euro.who.int) .**

Sustancias	A	B
Gases		Sí
Hidrocarburos del Petróleo	Sí	Sí
Hidrocarburos Halogenados	Sí	?
Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	No	Sí
Compuestos de azufre (SO <sub>2</sub> ,H <sub>2</sub> S)	Sí	Sí
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> =NO <sub>2</sub> +NO)	Sí	Sí
Ozono ( O <sub>3</sub> )	Participa	Sí
Monóxido de carbono ( CO)	No	Sí
Metales		
Pb	?	?
Hg, As	Sí	Sí
Se, Sb, Zn, Cd	?	?
Cu, Ni, Cr, V	No	-
Virus patógenos y bacterias	?	-

A= Sujeta a remoción por conversión gas-partículas.

B= Sujeta a transformación por reacciones fotoquímicas.

Nota: El ozono (O<sub>3</sub>) no es emitido directamente a la atmósfera. Se forma por mecanismos fotoquímicos entre hidrocarburos reactivos, óxidos de nitrógeno y radiación solar.

Varios de los compuestos citados en la Tabla 2.3.1 participan activamente en mecanismos de intercambio de flujo en la interfase aire-mar, y han sido estudiados científicamente por muchos años, ya que este conocimiento es necesario para comprender los procesos de formación, transformación y remoción de los contaminantes sobre el ambiente marino. El tiempo de residencia o el tiempo de permanencia, así como el transporte vertical y horizontal en la atmósfera de estos compuestos, no sólo afecta las propiedades químicas de cada uno de ellos, sino que también afecta su estado físico, ya que un gas puede ser absorbido y transformado por una partícula o aerosol, o por gotas de agua.



La Tabla 2.3.2. Presenta la composición promedio de aire troposférico seco "limpio ", así como el tiempo estimado de permanencia de sus componentes.

Además de los gases presentados en la Tabla 2.3.2. La atmósfera baja contiene vapor de agua en cantidades variables (en volumen) desde menos de un 0.01% en las regiones polares a un 4% en climas cálidos, su tiempo de permanencia es de unos 10 días en promedio.

**Tabla 2.3.2. Composición promedio de Aire Troposférico ( Botello V. 1996 )**

Compuesto	Tiempo Estimado de Permanencia ( años)	Abundancia (ppm)
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	2*10 <sup>7</sup>	0.781*10 <sup>6</sup>
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	4*10 <sup>3</sup>	0.209*10 <sup>6</sup>
Argón (Ar)	> 10 <sup>6</sup>	9170
Neón (Ne)	> 10 <sup>6</sup>	18.2
Helio (He)	> 10 <sup>6</sup>	5.24
Clorofluorocarburos (C <sub>x</sub> F <sub>y</sub> Cl <sub>z</sub> )	1- 100	0.003
Metano (CH <sub>4</sub> )	5	+
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	5	0.26
Bióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	3	240
Monóxido de Carbono ( CO)	0.5	0.11
Ozono (O <sub>3</sub> )	1 mes	0.01-0.05
Ácido sulfhídrico ( H <sub>2</sub> S)	Unos días	<10-4
Bióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Unos días	<10-3
Oxido de Nitrógeno ( NO)	Unos días	<10-3
Ácido Nítrico (HNO <sub>3</sub> )	Unos días	<10-3
Bióxido de Azufre ( SO <sub>2</sub> )	Unos días	<10-3
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	Unos días	<10-2

+ = continua su incremento.

## 2.4. El Petróleo

Existen varias teorías sobre la formación del petróleo. Sin embargo, la más aceptada es la teoría orgánica que supone que se originó por la descomposición de los restos de animales y algas microscópicas acumuladas en el fondo de lagunas y en el curso inferior de los ríos.

Esta materia orgánica se cubrió paulatinamente con capas cada vez más gruesas de sedimentos, al abrigo de las cuales, en determinadas condiciones de presión, temperatura y tiempo, se transforma lentamente en hidrocarburos (compuestos formados de carbono e hidrogeno) con pequeñas cantidades de azufre, oxígeno, nitrógeno, y trazas de metales como hierro, cromo, níquel y vanadio, cuya mezcla constituye el petróleo crudo.

Estas conclusiones se fundamentan en la localización de los mantos petroleros, ya que todos se encuentran en terrenos sedimentarios. Además los compuestos que forman los elementos antes mencionados son característicos de los organismos vivientes.

El principal argumento en contra, estriba en el hecho inexplicable de que si es cierto que existen más de 30,000 campos petroleros en el mundo entero, hasta ahora solo 33 de ellos constituyen grandes yacimientos. De esos grandes yacimientos 25 se encuentran en el Medio Oriente y contienen más de 60% de las reservas probadas de nuestro planeta.

Naturalmente que existen otras teorías que sostienen que el petróleo es de origen inorgánico o mineral. Los científicos soviéticos son los que más se han preocupado por probar esta hipótesis. Sin embargo estas proposiciones tampoco se han aceptado en su totalidad.

Una versión interesante de este tema la publicó Thomas Gold en 1989. Este científico europeo sostiene que el gas natural (el metano) que suele encontrarse en grandes cantidades en los yacimientos petroleros, se pudo haber generado a partir de los meteoritos que cayeron durante la formación de la tierra hace millones de años.

Los argumentos que presenta están basados en el hecho de que se han encontrado en varios meteoritos más de 40 productos químicos semejantes al Keroseno, que se supone que es el precursor del petróleo,

Como los últimos descubrimientos de la NASA han probado que las atmósferas de los otros planetas tienen un alto contenido de metano, no es de extrañar que esta teoría esté ganando cada día más adeptos.

Se puede describir el petróleo como un líquido viscoso cuyo color varía desde el amarillo y pardo oscuro hasta el negro, con reflejos verdes y con un olor característico.

Entre los constituyentes del petróleo se encuentran ceras, grasas y otras materias estables, solubles en aceite. A condiciones de alta presión y temperatura, se desprende  $\text{CO}_2$  de los compuestos con grupos carboxílicos y  $\text{H}_2\text{O}$  de los ácidos hidroxílicos y de los alcoholes, dejando un residuo bituminoso.

La continua exposición a calor y presión provoca un craqueo ligero con formación de olefinas (protopetróleo). Los compuestos no saturados, en presencia de catalizadores naturales, se polimerizan y ciclisan para dar origen a hidrocarburos de tipo nafténicos y parafínico, los aromáticos se forman, presumiblemente, por reacciones de condensación acompañando al craqueo y ciclización, o durante la descomposición de las proteínas.

Dependiendo del número de átomos de carbono y de la estructura de los hidrocarburos que integran el petróleo, se tienen diferentes propiedades que los caracterizan y determinan su comportamiento como combustibles, lubricantes, ceras o solventes.

Las cadenas lineales de carbono asociado a hidrogeno, constituyen las parafinas; cuando las cadenas son ramificadas se tienen las isoparafinas; al presentarse dobles uniones entre los átomos de carbono se forman las olefinas; las moléculas en las que se forman ciclos de carbono son los naftenos, y cuando estos ciclos presentan dobles uniones alternas (anillos bencénico) se tiene la familia de los aromáticos.

Además hay hidrocarburos con presencia de azufre, nitrógeno y oxígeno formando familias bien caracterizadas, y un contenido menor de otros elementos. Al aumentar el peso molecular de los hidrocarburos las estructuras se hacen verdaderamente complejas y difíciles de identificar químicamente con precisión. Un ejemplo son los asfaltos que forman parte de residuo de la destilación al vacío.

Son miles los compuestos químicos que constituyen el petróleo, y, entre muchas otras propiedades, estos compuestos se diferencian por su volatilidad (dependiendo de la temperatura de ebullición) al calentarse el petróleo, se evaporan preferentemente los compuestos ligeros (estructura química sencilla y bajo peso molecular), de tal manera que conforme aumenta la temperatura, los compuestos más pesados van incorporándose al vapor.

Las curvas de destilación TBP (del Ingles "true boiling point", temperatura de ebullición real) distinguen a los diferentes tipos de petróleo y definen los rendimientos que se pueden obtener de los productos por separación directa. Por ejemplo, mientras que en el crudo Istmo se obtiene un rendimiento directo de 26% volumétrico de gasolina, en el Maya sólo se obtiene el 15.7%.

La industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica el petróleo de acuerdo a su densidad API, Tabla 2.4.1 (parámetro internacional del instituto Americano del Petróleo, que diferencia las calidades del crudo).

**Tabla 2.4.1. Clasificación del Petróleo Internacionalmente.( Instituto Mexicano del Petróleo 2005.)**

Aceite Crudo	Densidad ( g/ cm <sup>3</sup> )	Densidad grado API
Extrapesado	>1	10
Pesado	1 - 0.92	10 – 22.3
Mediano	0.92 - 0.87	22.3 – 31.1
Ligero	0.87 – 0.83	31.1 – 39
Superligero	< 0.83	> 39

Para exportaciones, en México se clasifica el petróleo en tres variedades de crudo:

Istmo. Ligero con densidad de 33.6 grados API y 1.3% de azufre en peso.

Maya. Pesado con densidad de 22 grados API y 3.3% de azufre en peso.

Olmeca. Superligero con densidad de 39.3 grados API y 0.8% de azufre en peso.

El petróleo Mexicano es materia prima de calidad que se encuentra presente en toda la industria nacional e internacional como lo es en: transporte, alimentos, fármacos, fertilizantes, pintura, textiles, etc.

### **2.5. Registro de Emisiones y transferencia de Contaminantes (RETC).**

El RETC es una base de datos nacional con información de sustancias contaminantes emitidas al ambiente: aire, agua, suelo y subsuelo o que son trasferidas en el agua residual y/o en los residuos peligrosos.

La información pública requerida por el RETC es; nombre del establecimiento, ubicación y cantidad emitida o trasferida de una lista de 104 sustancias, además de las emisiones de contaminantes criterio de las fuentes fijas, este registro emana del artículo 109 bis de la LGEEPA e integrara información de las diferentes fuentes emisoras de competencia de los tres ordenes de gobierno. La información del RETC será actualizada anualmente y estará disponible al público a partir del segundo semestre del 2006. El instrumento para recopilar la información del sector industrial de competencia federal es la Cedula de Operación Anual.

La información contenida en el RETC permitirá proponer políticas eficaces para preservar y proteger el medio ambiente; además de apoyar la evaluación de convenios internacionales. También al disponer de información de emisiones contaminantes que se generan el territorio nacional se podrá conocer con mayor certeza la

infraestructura ambiental que necesita el país. Las fuentes emisoras evaluarán su desempeño y podrán identificar sus áreas de oportunidad para la reducción de las emisiones y transferencias.

Actualmente el marco legal del RETC, hace posible su instrumentación en las entidades federativas y municipios fortaleciendo la obtención de información ambiental para el RETC. Permitiendo vincular políticas y estrategias. El RETC al nivel Nacional será integrado gradualmente conforme los estados y municipios avancen en la recopilación de la información ambiental.

## **2.6. Inventario de Emisiones en el norte del Golfo de México.**

La medida de la concentración en áreas cercanas a plataformas como Texas y Louisiana donde se excede la norma nacional de ozono. Texas y Louisiana son influidas por emisiones de plataformas petroleras del Golfo de México. "The Minerals Management Service (MMS) es el responsable en los Estados Unidos de determinar las emisiones de contaminantes en el aire (extracción de petróleo y gas natural) plataformas y otras fuentes que influyen en el Golfo de México. La MMS comenzó sus primeros estudios en 1993 para evaluar las emisiones en plataformas petroleras.

La MMS en el Golfo de México tiene una oficina regional donde se dedica a investigar diferentes grupos de contaminantes "Eastern Research Group's (ERG) para ser un inventario de emisiones en el Golfo. Tiene el objetivo de crear una base de datos sobre inventario de contaminantes para el año 2000 para las emisiones fugitivas en equipo de procesos en extracción de petróleo y de gas natural, ERG creado "Gulfwide offshore Activities data system (GOADS). El factor de emisiones fugitivas que se pueden alimentar al programa MMS se puede encontrar también en la compilación de factores de emisión de la EPA conocido como el AP-42. También se desarrollaron perfiles de emisiones de contaminantes en las zonas cercanas a plataformas en Louisiana, el igual que para barcos comerciales y helicópteros.

Los perfiles permitirán estimación de un inventario de emisiones por periodos de 24 horas o una hora como base, finalmente la agencia estatal utilizara esta información evaluar la calidad de aire y generar planes de aplicación estatal.

Los equipos que se toman en cuenta para el inventario de emisiones en plataformas petroleras: la endulzadora de gas natural, calentadores, quemadores, incineradores, tanques de almacenamiento de diesel, unidades flash, turbinas de gas, controladores de presión, bombas neumáticas, venteo, tanques de almacenamiento.

### **3- CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.**

#### **3.1. COVs Definición.**

Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) se definen como: cualquier compuesto orgánico, que cuando se libera a la atmósfera, puede permanecer el tiempo suficiente para participar en las reacciones fotoquímicas. La mayoría de los compuestos orgánicos que pueden ser considerados volátiles tienen presiones de vapor mayores a 0.1 mm Hg a 20°C y 760 mm Hg (EPA, 1992), se excluyen el monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbónico, carbonatos metálicos y carbonatos de amonio, se incluyen en forma no limitativa fracciones de petróleo, petroquímicos y solventes.

Los compuestos orgánicos volátiles conforman una clase importante de contaminantes al aire. Esta clase incluye no sólo a los hidrocarburos puros sino a los hidrocarburos parcialmente oxidados (ácidos orgánicos, aldehídos, cetonas), así como a compuestos que contengan cloro, azufre, nitrógeno u otros átomos en la molécula. Dentro de esta clase existen ciertos compuestos, cada uno con sus propias características y propiedades.

En la NOM-075-ECOL-1995, (D.O.F., 1995) se ha definido a los compuestos orgánicos volátiles como las sustancias químicas constituidas principalmente por hidrocarburos volátiles que participan en reacciones fotoquímicas en la atmósfera contribuyendo a la formación de ozono.

En los últimos tiempos ha cobrado gran importancia e interés el estudio de contaminantes atmosféricos peligrosos y en especial de los compuestos tóxicos, encontrándose dentro estos un gran número de (COVs). La importancia del estudio de los COVs consiste no solamente en el potencial de toxicidad que tienen cada compuesto dependiendo de sus características, si no además de su papel determinante como precursores de ozono.

Por lo anteriormente expuesto, se estableció la necesidad de contar con métodos de muestreo y análisis mucho más específicos para la determinación y especiación de hidrocarburos, a diferencia de cómo se venía manejando la clasificación de estos en hidrocarburos reactivos (hidrocarburos no metano) e hidrocarburos no reactivos (metano).

En los Estados Unidos existe un gran avance tanto en las metodologías de evaluación como de control de COVs, lo cual no hubiera llevado a cabo sin la aplicación de la reglamentación respectiva. En las enmiendas a la ley del Aire Limpio (Clean Air Act) de 1990, se crea el Título III, referente a Contaminantes Atmosféricos Peligrosos, destacando las siguientes acciones (Lee 1991).

a)- Se enlistan 189 Contaminantes Atmosféricos Peligrosos (Hazardous Air Pollutants HAPs), para los cuales la USEPA establecerá categorías de fuentes industriales en los próximos 10 años.

Estos compuestos se dividen en dos grandes grupos (Orgánicos e Inorgánicos) que a su vez se clasifican de acuerdo a su presión de vapor a 25°C (volatilidad) Tabla 3.1.1. En la tabla 3.1.2. Se presenta el número de contaminantes atmosféricos peligrosos de acuerdo a su clasificación por volatilidad (Winberry 1999).

**Tabla 3.1.1. Clasificación de los contaminantes atmosféricos peligrosos por su presión de vapor a 25 °C (Winberry 1999).**

Clasificación por su volatilidad	Intervalo de presión de vapor (mm Hg)
Muy volátiles	>380
Volátiles	0.1 a 380
Semi volátiles	10 <sup>-7</sup> a 0.1
No volátiles	<10 <sup>-7</sup>

**Tabla 3.1.2. Número de contaminantes atmosféricos peligrosos conforme a su clase de volatilidad (Winberry 1999).**

Clase de volatilidad	Número de contaminantes
Compuestos orgánicos muy volátiles	15
Compuestos inorgánicos muy volátiles	6
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	82
Compuestos inorgánicos volátiles	3
Compuestos orgánicos semivolátiles	64
Compuestos inorgánicos semivolátiles	2
Compuestos orgánicos no volátiles	5
Compuestos inorgánicos no volátiles	12
<b>TOTAL</b>	<b>189</b>

Los COVs representan el grupo con un mayor número de contaminantes atmosféricos peligrosos encontrándose incluidos el benceno y el tolueno, cabe mencionar que para el caso de los contaminantes atmosféricos el término peligroso, se refiere a su toxicidad, y no se deberá confundir con otras clasificaciones ambientales en donde este término es más amplio.

b)- Se requiere que todas las fuentes grandes apliquen estándares considerando la mejor Tecnología de Control existente, para reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos peligrosos.

c)- Se crea el concepto de riesgo residual, donde las instalaciones que emiten sustancias cancerígenas pueden ser sujetas a una regulación adicional si el riesgo para los individuos mayormente expuestos es superior a uno en un millón. Aún después de la aplicación de la mejor tecnología existente, sin embargo la evaluación de un nivel de riesgo de esta magnitud puede requerir de un monitoreo de concentraciones del orden de partes por billón  $1 \text{ ppb} = 10^{-9} \text{ g contaminante/ g aire (ppb)}$ . Por ejemplo en el caso del benceno se tendrán que reducir sus concentraciones a niveles menores de 7 ppt,  $7 \times 10^{-12} \text{ g contaminante / g aire}$  (Paustenbach of al 1990).

d)- Se requiere que la USEPA promulgue una lista y valores límites permisibles para al menos 100 contaminantes atmosféricos que presenten un alto riesgo por fuga accidental. Se requiere preparar e implementar planes de administración de riesgos que especifiquen procedimientos de detección en las instalaciones.

### **3.2. COVs en la Atmósfera**

La formación Natural de ozono en la troposfera se debe exclusivamente a la fotólisis del  $\text{NO}_2$ , proceso que involucra a la radiación solar en la región visible-ultravioleta cercana y a los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), en un ciclo natural autorregulado. Sin embargo, la presencia de los COVs modifica el ciclo, mediante la formación de compuestos orgánicos oxidados que dan lugar a que el ozono se acumule. En la figura 3.2.1. Se presenta el ciclo de formación del ozono y la forma en que intervienen los COVs en el mismo, se puede ver que la intervención de los COVs e hidrocarburos en general, se inicia por la presencia de radicales hidroxilo (OH).

La concentración de los radicales hidroxilo (OH) en la atmósfera es aproximadamente de  $1 \times 10^6 / \text{cm}^3$  los radicales orgánicos (R) con el oxígeno del aire dan lugar a la formación de peroxialquilos ( $\text{RO}_2$ ), que a su vez reaccionan con el óxido nitroso (NO) para formar  $\text{NO}_2$ , provocando mayor formación de  $\text{NO}_2$  y evitando la eliminación del ozono por su reacción con el  $\text{NO}^+$ .



### Ciclo de formación y destrucción del ozono



Figura 3.2.1. Participación de los COVs en ciclo Fotoquímico del Ozono (Seinfeld J.1989)

Los radicales Hidroxilo siempre están presentes en las atmósferas urbanas irradiadas por luz solar debido a tres fuentes principales: (fig 3.2.2).

- La disociación fotoquímica del ozono, ocasionada por fotones con longitudes de onda 280 y 310 nm, que generan átomos de oxígeno monoatómico excitados que al reaccionar con el vapor de agua producen los radicales hidroxilos.
- La disociación fotoquímica de compuestos carbonilos (RCHO) por fotones con longitudes de onda entre 280 y 360 nm.
- La disociación fotoquímica del ácido nitroso (HONO).

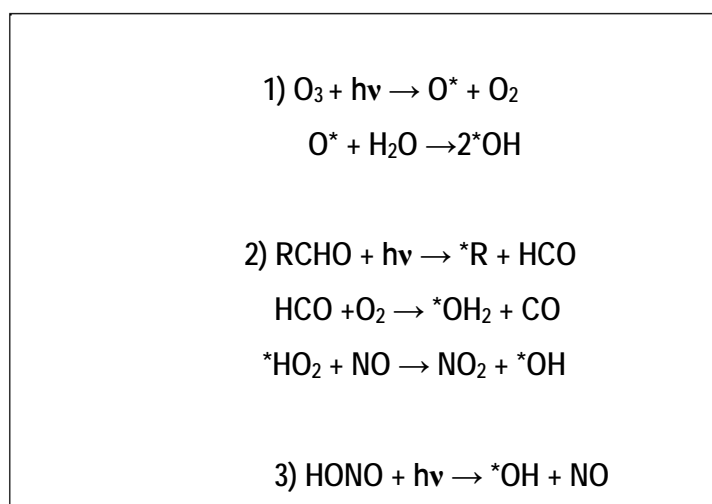


Figura 3.2.2. Fuentes de radicales hidroxilo en atmósferas urbanas (Jeffries H 1996).

La velocidad de generación del ozono se relaciona, por lo tanto, con la velocidad de producción de los radicales peroxialquilo y con la estructura química de los COVs, ya que esta última determina el número y la forma de dichos radicales y por lo tanto la cantidad de NO que se convierte en NO<sub>2</sub> a medida que se oxida el hidrocarburo. De este modo, se ha considerado la velocidad de reacción de los COVs con los radicales hidroxilos como uno de los criterios para evaluar la reactividad de dichos compuestos, es decir, la contribución efectiva de los compuestos a la formación total de ozono. ( Seinfeld J 1989, Jeffries H.1996).

El tiempo de vida media de los COVs dentro de los dos primeros kilómetros de la troposfera varía desde una hora hasta varios meses. Cientos de reacciones pueden ocurrir a partir de un solo hidrocarburo volátil en contacto con los óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, agua y otros compuestos. Estas reacciones eliminan los compuestos orgánicos volátiles de la circulación troposférica, oxidando y formando especies secundarias que pueden ser más reactivas o tóxicas que las especies primarias emitidas.(Atkinson 1990)

Atkinson revisa y evalúa los mecanismos de reacción y la cinética en fase gaseosa de los COVs con el radical hidroxilo. Se presentan las velocidades de reacción y los tiempos de vida de algunos COVs con el radical OH. Se consideran reacciones de segundo orden, con un tiempo de vida media de:  $t = 1/K$  (OH) y  $t_{1/2} = 0.693/k$  (OH), respectivamente. Es necesario aclarar que la concentración de OH varía con la intensidad de la radiación solar y el tiempo de vida varía con el lugar, estación del año y hora del día. (Atkinson 1990)

Finalmente las concentraciones de COVs pueden ser utilizadas como indicadores del potencial de formación de ozono, al actuar como trazadores de las emisiones urbanas. La abundancia relativa de los contaminantes químicos más reactivos como los carbonilos, olefinas o el xileno tienden a reducirse a lo largo del día mientras aparecen por fotólisis especies químicas menos reactivas pertenecientes a la familia de las parafinas. La relación existente entre ambos grupos permite conocer con un cierto grado de precisión la edad de la masa de contaminante presente en el punto de muestreo.

En México la norma de calidad de aire para el ozono establece una concentración horaria promedio de 0.11 ppm, que para efectos de comunicación al público corresponde a un índice de Calidad de Aire (IMECA) de 100. Debe mencionarse que en la ZMCM la norma de calidad de aire se excede la mayor parte de los días del año por horas al día como promedio y en ocasiones las concentraciones han llegado a ser tres veces más altas a la concentración correspondiente a la norma. En México se considera que hay una buena calidad de aire cuando la concentración atmosférica de ozono está por debajo de las 0.11 ppm (norma de calidad), se considera una calidad del aire no satisfactoria cuando la concentración está entre 0.11 y 0.23 ppm, la calidad del aire es mala cuando la concentración está entre 0.23 y 0.35 ppm y muy mala cuando está entre 0.35 y 0.6 ppm.

### 3.3. Fuentes de Emisión de COVs

Los COVs son emitidos por diversas fuentes por su alto grado de vaporización. Algunas plantas y procesos bacterianos en suelos emiten COVs que tienen un papel importante en la formación de ozono urbano y rural (Lamb, 1985; Corchnoy et al, 1992; Arey, 1995) otros más provienen de emisiones en la Industria petrolera, la combustión de la gasolina y la evaporación de combustibles líquidos, solventes, químicos orgánicos que son utilizados en pinturas, limpiadores, removedores de barniz, etc. (Carter, 1989, Finlayson-Pitts, 1999). En la cocción de alimentos también son emitidos COVs que contribuyen en las reacciones de producción de ozono troposférico.

En el Título 9 del Clean Air Act (USEPA), referentes a medidas para lograr o mantener las normas Nacionales de Calidad del Aire (NNCA), y específicamente en la sección correspondiente a medidas adicionales para las áreas en donde no se cumple con la NNCA para ozono es importante los siguientes aspectos.

a)- La Ley le da autoridad a la USEPA para actuar en aquellas regiones en donde no se hubiese logrado cumplir la NNCA, como en el caso del ozono, lo anterior también procede para partículas y monóxido de carbono.

b)- Se categorizan las áreas que no cumplen con la NNCA, de acuerdo con la siguiente tabla. 3.3.1

**Tabla 3.3.1. Categorización de áreas que no cumplen con la NNCA, para Ozono**  
(Título 9 del Clean Air Act)

Área	Valor de Diseño ppm	Tiempo de Cumplimiento
Marginal	de 0.121 a 0.138	3 años
Moderada	de 0.138 a 0.160	6 años
Serias	de 0.160 a 0.180	9 años
Severa	de 0.180 a 0.280	15 años
Extrema	de 0.280 y valores mayores	20 años

c)- Se clasifican las fuentes como principales, dependiendo del tipo de área en donde se encuentren. En las áreas identificadas como **extremas**, como es el caso de la ciudad de los Ángeles, se considera fuente principal aquella que emite anualmente 10 toneladas de compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno. En las regiones **Serias**, se consideran aquellas fuentes que emiten anualmente más de 50 toneladas, mientras para las áreas moderadas y marginales se tiene un valor establecido de 100 toneladas.

d)- Se requiere ampliar los sistemas de monitoreo, sobre todo en las regiones clasificadas como **serias, severas y extremas**. Se mejorará el monitoreo ambiental de ozono, compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno, así como el monitoreo de emisiones de estos dos últimos compuestos.

En el Título II correspondiente a fuentes móviles destaca el requerimiento a partir de 1995 de gasolinas reformuladas en las nuevas ciudades de los Estados Unidos con mayores problemas de contaminación atmosférica fotoquímica, tales combustibles no deberán de contener más del 1% de benceno, 25 % de aromáticos y 15 % menos de contaminantes atmosféricos tóxicos y COVs (Lee 1991).

### **3.4. Caracterización de COVs en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.**

En México existen determinaciones de hidrocarburos totales por parte de la sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM desde los años 80 (Bravo et al 1988) no obstante se señala la necesidad de llevar a cabo determinaciones sobre la especiación de este tipo de compuestos. Asimismo se estimó una emisión de 1,080 toneladas de COVs diariamente en la ZMCM (Bravo et al 1992 ).

De 1980 a 1993 se llevaron a cabo algunas campañas de monitoreo de hidrocarburos como parte del proyecto Global sobre la calidad del aire en la Ciudad de México, realizado por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y el laboratorio Nacional de los Alamos (LNLA) (Ruiz et al 1993; Ruiz et al 1996).

La primera campaña consistió en el uso de tubos de muestreo para hidrocarburos y aldehídos (tubos supelco de Carbotrap), con análisis por cromatografía de gases y espectrometría de masas para el caso de los hidrocarburos, mientras que para los aldehídos se empleo cromatografía de líquidos de alta resolución. Por presentarse, en el caso de hidrocarburos, algunos problemas con las eficiencias de desorción los resultados solamente se cubrieron el espectro cualitativo, logrando identificar alcanos desde el propano hasta C-12, compuestos aromáticos, alcoholes, cetonas y poliaromáticos. Los niveles de formaldehído encontrados para la ciudad de México estuvieron muy por arriba de los niveles encontrados en Los Ángeles CA.

En 1992 el IMP y el LNLA emplearon tubos de adsorción para el muestreo de hidrocarburos (HC) y aldehídos, así como un monitor portátil de fotoionización para la determinación de Hidrocarburos Totales (HCT). Los resultados de las mediciones de HC por tubos de adsorción fueron nuevamente cualitativos, mientras que los valores de aldehídos encontrados fueron similares a los de la campaña anterior.

En Marzo de 1992 se llevo a cabo en la Ciudad de México y como parte del proyecto Global con el Laboratorio Nacional de los Álamos (LNLA), un estudio para la especiación de hidrocarburos en la cual participaron el

Departamento del Distrito Federal (DDF), el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), La Secretaría de desarrollo social (SEDESOL), y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). En este estudio las muestras fueron colectadas en canisters y los muestreos se tomaron en 6 sitios de la ZMCM. Se consideró un periodo de muestreo del 6 al 24 marzo y de las 6 a 9 de la mañana. El análisis de más de 200 hidrocarburos fue llevado a cabo en los laboratorios de la USEPA en Estados Unidos mediante cromatografía de gases con detección por ionización de flama.

Posteriormente el mismo IMP ha continuado con el estudio de COVs en la atmósfera de la ZMCM clasificándolos por su importancia dependiendo de los niveles en que se encuentre, así como su potencial de reactividad (Arriaga et al 1996). Sin embargo se requiere considerar sobre todo un mayor número de olefinas por su alta reactividad. La evolución de los perfiles de las concentraciones de COVs debido a emisiones vehiculares en la ZMCM, han encontrado niveles promedios de benceno y tolueno de 1.8 y 4.3 ppbC, respectivamente (Mugica et al 1998 y 2001).

En estos últimos años se han llevado a cabo estudios entre la SCA del CCA y el CENICA (Bravo et al 2002 a, Sosa 2001, Bueno 2005) para analizar 13 COVs en la atmósfera de la ZMCM como son: etano, propano, propileno, butano, acetileno, pentano, hexano, heptano, benceno, octano, tolueno, nonano y o-xileno.

Otro de los factores que han influido en dar atención al control de los COVs, es la toxicidad que alguno de estos compuestos presentan, como en el caso del tolueno y los xilenos que pueden alterar el sistema nervioso e inducir trastornos en el hígado, corazón y la vista, además estos compuestos y el benceno son considerados como probables carcinogénicos.

Con relación al marco normativo, a la fecha se han publicado normas oficiales mexicanas para el control de COVs :

NOM-121-ECOL-1998, que establece los límites máximos permisibles de emisiones a la atmósfera provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple de pasajeros y utilitarios, carga y camiones ligeros y su método de medición.

NOM-123-ECOL-1998, que establece el contenido permisible de COVs en la fabricación de pintura de secado al aire base solvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de los mismos en pintura y recubrimiento.

NOM-092-ECOL-1995. Que regula la contaminación atmosférica y establece los requisitos, especificaciones y parámetros para la instalación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y autoconsumo ubicadas en el Valle de México.

NOM-093-ECOL-1995. Que establece el método de prueba para determinar las eficiencias de laboratorio de los sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y autoconsumo.

### **3.5. Toxicidad de los COVs.**

Alguno de los trece Compuestos Orgánicos Volátiles son considerados como tóxicos de acuerdo a las enmiendas a la Ley de Aire Limpio, su nivel actual (benceno, tolueno, hexano y o-xileno), la mayoría de los trece compuestos analizados no presentan potencial significativo para afectar la salud en forma adversa, sin embargo, ellos contribuyen a la formación de ozono .

Existe evidencia de ciertos COVs que son carcinogénicos y se forman durante la combustión incompleta de casi cualquier material orgánico y emisiones fugitivas en el proceso. Aunque el cuerpo Humano generalmente puede tolerar bien algunos compuestos ( no carcinogénicos ) en el aire, cuando estos se encuentran en concentraciones elevadas donde el porcentaje de oxígeno disponible es limitado, se ha visto que interfieren con la captación de oxígeno por el cuerpo.

Los contaminantes del aire son sustancias tóxicas que si se exponen a ellas, podrían aumentar las posibilidades de experimentar problemas de salud, los contaminantes tóxicos del aire también pueden causar impactos ambientales. Dentro de los estudios realizados por la EPA se encuentran 188 compuestos que están incluidos en la lista de contaminantes tóxicos del aire, de los cuales están considerados cuatro en este estudio y son los siguientes: Benceno (No.CAS 71432), Hexano (No.CAS 110543), Tolueno (No.CAS 108883), o-Xileno (No.CAS 95476).

**Tabla 3.5.1. Niveles Máximos Permisibles de concentración de los trece COVs en ambiente laboral NOM-010-STPS-1994**

CPT: Concentración Ponderada en el Tiempo (8 Horas de exposición)

CCT: Concentración para Explosión de Corto Tiempo.

P: Concentración Pico.

No.	Contaminante	CPT		CCT	
		ppm (a)	mg/ m3 (b)	ppm (a)	mg/ m3 (b)
1	Etano	C	~	~	~
2	Propano	N	N	N	N
3	Propileno	~	C	~	~
4	Butano	800	1900		
5	Acetileno	C			
6	Pentano	600	1800	760	2250
7	Hexano	100	360	~	~
8	Heptano	400	1600	500	2000
9	Benceno	10 (A.2)	30 (A.2)	25 (A.2)	75 (A.2)
10	Octano	300	1450	375	1800
11	Tolueno	100	375	150	560
12	Nonano	200	1050	250	1300
13	o-Xileno	100	435	150	655

Nota.

N: No Registrado.

A.2: Cancerígenos potenciales para el hombre. Basado en evidencias epidemiológicas e irritantes.

C: Asfixiantes puros: El contenido mínimo de oxígeno en el aire del ambiente laboral, cuando se encuentra presente alguno de los gases que se enuncian a continuación debe ser 19% en volumen bajo condiciones normales de presión (equivalente a una presión parcial de 135 mm Hg).

A continuación se presentan las características y la toxicidad específica de algunos compuestos altamente tóxicos.

**Benceno:** Las vías de ingreso más importantes son la respiración y la cutánea.

Los principales efectos tóxicos que produce son:

- Depresión del sistema Central
- Irritación Cutánea.
- Daño hematológico.

- Fatiga y Anorexia
- Leucemia
- Pérdida de conciencia y muerte.

**o-Xileno:** Las vías de ingreso más importantes son la respiración y la cutánea.

Los principales efectos tóxicos que produce son:

- Acción sobre el sistema nervioso central
- Irritación de las vías respiratorias, ojos y piel.
- Bajo una exposición prolongada causa envenenamiento.

**Tolueno:** Las vías de ingreso más importantes son la respiración y la cutánea.

Los principales efectos tóxicos que produce son:

- Es un narcótico fuerte.
- Concentraciones altas de vapores puede resultar fatal debido a que causa parálisis respiratoria.
- Produce efecto irritante en la piel humana.

Dos áreas son críticas en la metodología de derivación de los valores guía para la exposición humana a sustancias químicas en el ambiente:

***Desarrollo de una ingesta tolerable a partir de la interpretación de los datos disponibles sobre toxicidad.***

Para efectos prácticos, se considera que los efectos tóxicos pueden ser de dos tipos: el efecto umbral y el efecto no umbral. Para sustancias sobre las cuales se considera que el efecto crítico tiene un efecto umbral (incluida la carcinogénesis no genotóxica, para la cual no hay datos mecanicistas adecuados),

***Atribución de las proporciones de la ingesta tolerable a diversos medios.*** Dependiendo de la información disponible, el desarrollo de valores guía para los compuestos presentes en más de un medio ambiental requerirán la separación de las proporciones de la que se pueden atribuir a esos diversos medios (por ejemplo, el aire, los alimentos y el agua).

Las guías de calidad del aire para contaminantes no carcinogénicos solo se pueden aplicar si se especifica el tiempo de exposición promedio. El tiempo de exposición promedio relacionado con un valor guía depende del tipo de efectos que causa una exposición de corto plazo con efectos agudos o una exposición de largo plazo con



efectos crónicos. Los tiempos promedio de exposición comúnmente duran 30 minutos para los contaminantes olorosos, de 24 horas a una semana para las exposiciones agudas y un año para los efectos crónicos de salud. Para decidir sobre un tiempo promedio de exposición para un valor guía, es necesario examinar cuidadosamente los hallazgos toxicológicos y epidemiológicos y tener la experiencia requerida para evaluar los resultados. Por consiguiente, la elección del tiempo promedio de exposición puede ser subjetiva, tal como la elección de un factor de incertidumbre.

### **Higiene ocupacional.**

La Secretaria del Trabajo y Previsión Social enuncia en la norma **NOM-010-STPS-1994**. Lo relativo a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacene o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminantes en el medio ambiente laboral.

El cual tiene como objetivo: establecer medidas para prevenir y proteger la salud de los trabajadores y mejorar las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenan manejen sustancias químicas que por sus propiedades, niveles de concentración y tiempo de acción sean capaces de contaminar el medio ambiente laboral y alterar la salud de los trabajadores, así como los niveles máximos permisibles de concentración de dichas sustancias de acuerdo al tipo de exposición.

El cual enunciaremos los trece Compuestos Orgánicos Volátiles sobre su nivel máximo permisible de concentración de dichas sustancias y además su toxicidad de algunos compuestos.

### **Estudios sobre los efectos de salud de los contaminantes del aire en las regiones**

Los efectos de los contaminantes del aire en la salud varían de acuerdo con diversos factores. Tales factores incluyen el nivel de exposición y la sensibilidad de la población expuesta. La sensibilidad de la población, a su vez, depende de factores como el número de niños pequeños y de ancianos y la proporción de personas que padecen de asma y de otras condiciones respiratorias crónicas. Los estudios epidemiológicos reflejan esta variación

En la sensibilidad a través de diferentes asociaciones entre los niveles de exposición y los efectos de salud para diferentes poblaciones. Además, es probable que las fuentes y modelos de exposición varían significativamente de una región a otra. Esto depende, en parte de las condiciones Meteorológicas.

## **4-PLATAFORMAS MARINAS.**

### **4.1. Plataformas en el Sur del Golfo de México.**

En México, la explotación de yacimientos de hidrocarburos costa afuera, inició en 1958 con la instalación de plataformas fijas de acero frente a la barra de Santa Ana Tabasco, en esta plataforma se utilizaron por vez primera estructuras tubulares para las columnas de soporte; su instalación se efectuó mediante una barcaza de 75 Ton de capacidad. En 1975 se llevó a cabo la perforación del primer pozo exploratorio denominado Chec-1, la actividad de explotación, así como los estudios geofísicos y la perforación de pozos han permitido confirmar la existencia de muchos yacimientos petroleros en México.

EL diseño de las plataformas se constituyó por una superestructura y subestructura tubular diseño que aún se emplea en instalaciones. En los últimos años la tecnología de desplante de plataforma en agua cada vez más profunda ha progresado en forma importante, siendo comunes las plataformas con tirantes de agua de 150 a 300 metros.

Actualmente el número de plataformas marinas instaladas asciende a más de 210, 187 instaladas en la zona de Campeche en donde conforman complejos petroleros (Fig 4.1.1).

**Figura 4.1.1. Plataformas de Cantarell en el Golfo de México (Chavarria Rios Romeo (2002))**



## **4.2. Tipos de Instalaciones para la Explotación de Hidrocarburos.**

Los sistemas estructurales utilizados para la explotación del petróleo pueden clasificarse en:

Plataformas fijas, Plataformas sumergibles, Plataformas autoelevables, Plataformas con piernas pensionadas (TLP), Plataformas tipo torre atirantada, Plataformas flexibles, Barcos de producción, almacenamiento y descarga (FPSO), sistema de producción submarinos.

### **Plataformas Fijas**

Estos sistemas se caracterizan por encontrarse asentadas sobre el suelo marino, y consiste en estructuras metálicas y de concreto, que se extienden desde el lecho marino hasta la superficie. Estas estructuras son estables en relación con el fondo marino.

En los últimos años, las plataformas fijas han representado la solución estructural más común para conjunto de producción y perforación. Sin embargo, la experiencia en trabajos de perforación en profundidades marinas de más de 300m, indica que las plataformas semifijas o flotantes pudieran ser una mejor alternativa.

Los principales sistemas fijos hasta ahora desarrollados en el ámbito son los siguientes: Plataforma convencionales de acero o tipo Jacket, y Plataformas de concreto por gravedad.

### **Plataformas Semi-sumergibles**

Estas plataformas realizan actividades relacionadas con la explotación y perforación de pozos, así como para el apoyo de operaciones de mantenimiento de instalaciones existentes. A pesar de la gran variedad de diseño de semi-sumergibles, pueden ser clasificadas en 2 grupos principales: 1) con columnas conectadas a zapatas o pontones separados, 2) con pontones gemelas. Estas columnas soportan a una sola cubierta la cual aloja el equipo e instalaciones necesarios para realizar su función. Estas plataformas cuentan con sistemas de propulsión propios ubicados en los pontones, en otras palabras son autopropulsables. Una plataforma semi-sumergible posicionada dinámicamente puede operar en aguas profundas de hasta 500 m, pero el yacimiento tendrá que ser muy productivo para justificar los gastos de combustible.

### **Plataforma Autoelevables.**

Este tipo de plataforma especial es usada para la perforación y reparación de pozos ya que tiene la capacidad de poder moverse por autopropulsión o por medio de remolcadores, de una localización a otra, una vez que la perforación de un pozo logra su objetivo, Así la perforación es su función principal ya sea de pozos exploratorios o de desarrollo.

Cuenta con la cubierta que tiene la capacidad de posicionarse a la elevación que se requiere, la cual soporta sobre sí todo el equipo necesario para lograr su objetivo, así como un módulo habitacional y un helipuerto. Esta cubierta se encuentra soportada comúnmente por tres columnas de sección triangular o círculo que tienen en su extremo inferior un sistema de zapatas aisladas para apoyarse en el lecho marino.

### **Plataformas con Piernas Tensionadas (TLP).**

La TLP ( Tension Leg Platform) o plataformas de piernas tensionadas es un sistema semejante a la semisumergible, sólo que ésta se encuentra anclada al fondo por medio de elementos verticales, los cuales se mantienen en tensión debido al exceso de flotación en plataforma.

### **Plataformas Tipo torre Atirantada (Guyed Tower).**

Las estructuras están constituidas por armaduras de piernas rectas (no con pendientes como las plataformas tipo Jacket) y un sistema de cable o tirante en la parte superior de la torre que se ancla en el fondo marino, son una alternativa a las plataformas tipo Jacket convencionales que pueden resistir las fuerzas del oleaje con mucho menos peso estructural.

Los cables disminuyen el periodo fundamental de la estructura, lo que reduce su respuesta dinámica con el oleaje. La estructura de acero de la torres atirantadas, presentan problemas semejantes a las plataformas de acero convencionales aunque de menor magnitud. Estos son principalmente fatiga en juntas, problemas de transporte y lanzamiento. Los tensores también son susceptibles al daño por fatiga, por lo que periódicamente se deben inspeccionar.

### **Plataformas Flexibles.**

Este sistema tiene la característica de resistir las fuerzas de oleaje utilizando menor peso estructural que un sistema rígido. La cubierta se apoya en una torre armado con miembros tubulares. La flotación se logra mediante tanques sumergidos localizados en la parte superior de la torre. Esta flotación es contrarrestada con lastre que se localiza en la parte inferior de la torre.

La variación de las cargas verticales se absorbe a través de un conjunto de pilotos centrales, las cargas horizontales y de tensión en la base, se transmiten en el suelo por medio de pilotos perimetrales.

### **Barco de Producción.**

Este sistema es un elemento más de la familia de sistemas flotantes y difiere del resto en una importante característica, tiene la capacidad de almacenar y exportar crudo que se extrae, todo en una sola unidad, los barcos de producción, almacenamiento y descarga no tienen la capacidad para efectuar operaciones de perforación ni de reparación de pozos.

### **Sistemas de producción submarinos.**

Estos sistemas consisten básicamente de un grupo de pozos terminados en el fondo del mar que están conectados por tuberías a un múltiple colector que a su vez está sobre una plantilla; la producción se envía a través de un arreglo tuberías ascendentes, a algunas plataformas de procesamiento en la superficie, los sistemas de producción submarina se emplean en los siguientes casos:

- En la explotación de yacimientos alejados de campos donde existe infraestructura.
- Para el aprovechamiento de la producción temprana con el apoyo de otros sistemas (como pueden ser los flotantes).
- En sistemas de inyección de agua y gas.

La fase operacional más importante en el desarrollo de sistemas submarinos es el mantenimiento, asistido, ya sea por buzos, por vehículos submarinos o por ambos. El uso de éstos, dependerá del tirante de agua que se vaya a trabajar y del tipo de trabajo que se vaya a realizar.

### **4.3. Clasificación de las Plataformas.**

De acuerdo a su función las plataformas Jacket las podemos clasificar en:

#### **Plataformas de Perforación.**

La plataforma de perforación aloja el equipo mediante el cual se perfora el pozo y tiene además como función el colocar la tubería que permitiría explotarlo e instalar el cabezal donde se emplazara la futura plataforma de producción. La cubierta consta de dos niveles, uno de producción localizado a 16 m.

Sobre el nivel del mar y otro de perforación a 22 m , esta cubierta esta soportada por 8 columnas o patas (octópodo) y se construye con trabes armadas de placas, que unidas a las columnas, aquí se localiza el equipo de perforación, los tanques de lodos, la maquinaria y el paquete habitacional.

Este tipo de plataforma dispone de 12 conductores de 30" de diámetro, hincados a 60 metros aproximadamente por debajo del lecho marino. El peso estimado de una plataforma de este tipo de 3,000 toneladas, que incluye: subestructura, superestructura y pilotes.

### **Plataformas de Producción.**

Su función consiste en separar el gas del crudo y bombear este último a tierra, esta compuesta por: Subestructura de 8 columnas, para cada en 3 o 4 niveles, según la profundidad a la que se instalen, esto varia entre 40 y 60 metros.

Superestructura en dos niveles, soportada también por 8 columnas directamente acopladas a la subestructura (a los pilotes). Las cubiertas se constituyen con viguetas de acero tipo T, apoyadas sobre marcos rígidos hechos de placa y unidos estructuralmente a las columnas.

El peso estimado total de la plataforma es de 3,600 toneladas, incluye una subestructura, la superestructura, los pilotes, el trípode del quemador y los puentes.

La plataforma de producción tiene acceso por puentes de enlace tanto a la plataforma de perforación como a la plataforma de enlace. Figura 4.3.3. Centro de Procesamiento Akal-C..

### **Plataformas de Inyección.**

La misión de estas plataformas es la de perforar pozos para inyectar agua presurizada a los estratos productores de crudo cuya producción ha sido mermada y así incrementar el rendimiento de otros pozos.

Estas plataformas tienen cubiertas y capacidades de perforación prácticamente idénticas a las de las plataformas de perforación.

### **Plataformas de Enlace.**

Para manejar la producción de las diferentes plataformas es necesario de instalar algunas de enlace, en las cuales se localizan cabezales de recepción y envío de crudo y gas. A dichas plataformas llegan las líneas que recolectan el crudo y gas de las plataformas de perforación y lo distribuyen a las plataformas de producción para su procesamiento: también unen las líneas que recolectan el crudo con los conductores que lo transportan a tierra.

### **Plataformas Habitacionales.**

Esta diseñada para proporcionar la asistencia habitacional que requieren los trabajadores de los diferentes complejos existente en el área. Estas plataformas se pueden diseñar para albergar desde 40 a 167 personas y están instaladas dentro de los complejos productores. (Figura.4.3.1).

### **Plataformas de Compresión de Gas.**

Su función es la de comprimir el gas proveniente de las plataformas productoras y enviarlo a las terminales en tierra a través de los gasoductos submarinos.

Para comprimir el gas natural se cuenta en cada plataforma con cuatro módulos de compresión. Siendo la capacidad total de compresión de 360 millones de pies cúbicos de gas al día por cada plataforma.

### **Plataformas de Rebombeo.**

Esta estructura soporta turbo bombas para impulsar el crudo a través de los oleo gasoductos submarinos y hacerlo llegar a las terminales de destino. Constan de 2 cubiertas en elevaciones de 18 y 27 m, soportadas por 8 columnas. (Figura.4.3.2).

### **Plataformas de Telecomunicaciones.**

Estas plataformas tienen como objeto el soportar la torre de comunicaciones, el módulo de telecomunicaciones, modulo de radares, y en algunos casos, modulo habitacional y helipuerto (Figura.4.3.1).

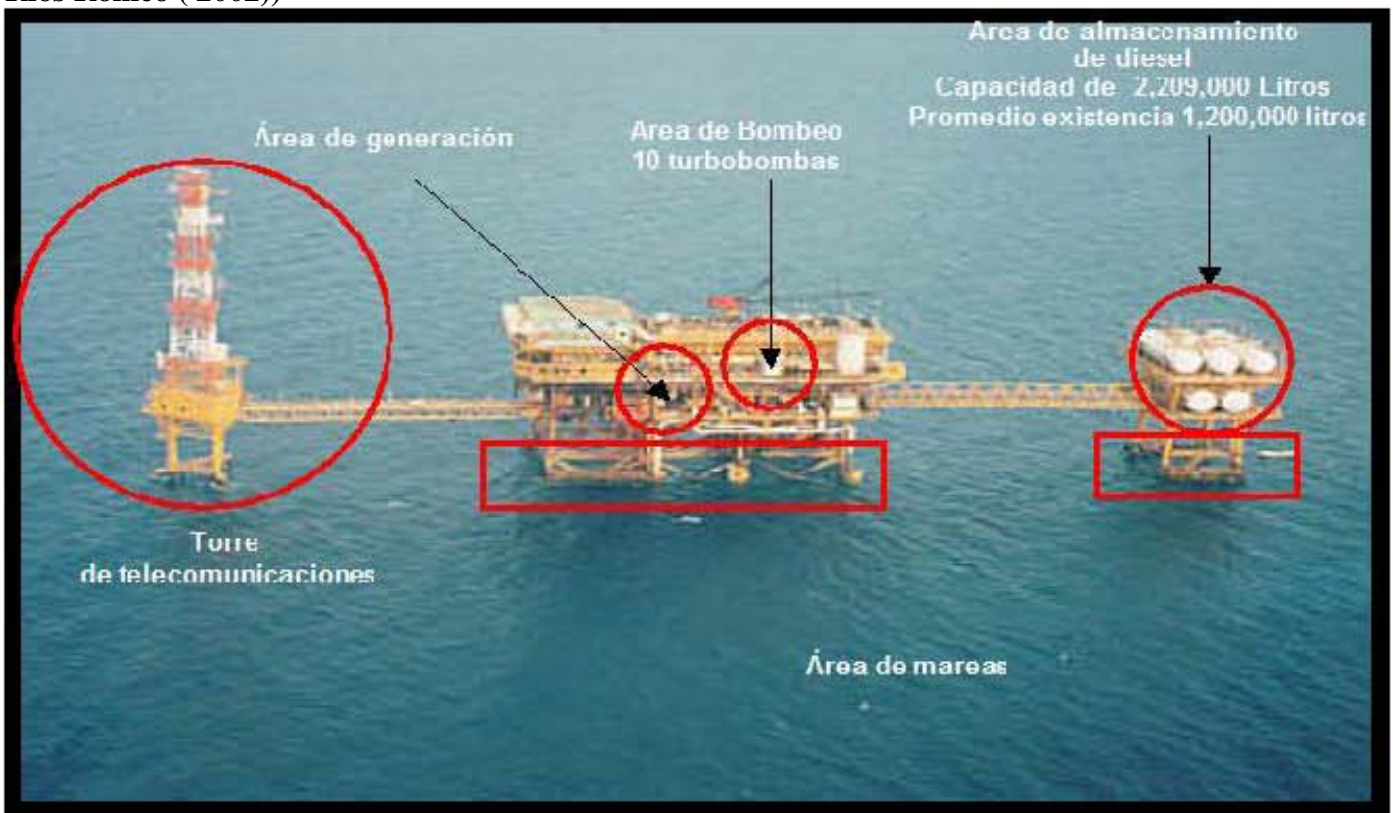
### **Plataformas Recuperadoras.**

Estas estructuras también llamadas protectoras de pozos tienen como función proteger un pozo que se ha explorado con fines exploratorios, en caso de resultar productivo dicho pozo, se procede a la instalación de esta plataforma así como la tubería ascendente y la línea submarina para el envío de los hidrocarburos y en algunas ocasiones, se adicionan más pozos. Cuando el pozo no es productivo, este se tapona y se deja abandonado.

Figura.4.3.1. Plataforma Habitacional y Telecomunicaciones en el Sur del Golfo México (Chavarria Rios Romeo ( 2002))



Figura.4.3.2. Plataformas Petroleras Área de Bombeo en el Sur del Golfo México (Chavarria Rios Romeo ( 2002))





**Figura 4.3.3. Centro de Procesamiento Akal-C (Chavarria Rios Romeo ( 2002))**



#### **4.4. Plataformas como Fuentes de Emisión.**

Dada la naturaleza volátil de los COVs, es fácil comprender que en cada punto en donde existe la posibilidad de contacto entre un compuesto orgánico en fase líquida con la atmósfera, se tendrá también la posibilidad de que una fracción de este compuesto cambie de fase al estado gaseoso.

Las fuentes potenciales de emisión, dentro de las plataformas petroleras que son fuentes de emisión de compuestos orgánicos son muy grandes, y pueden ubicarse dentro de algún descriptor genérico como el mencionado en la Tabla 4.4.1.

Aunque Darcy Wilson ubica las fuentes de emisión en; endulzadora de Gas Natural, Calentadores, Chimeneas, quemadores, equipo que funciona con diesel, Fuentes Fugitivas (válvulas, bridas), operaciones en cubierta, turbinas de gas natural, bombas neumáticas, controladores de presión, tanques de almacenamiento, venteo.

Otro tipo de fuentes de emisión diferente a las plataformas petroleras como son: biogénicas, barcos pesqueros, barcos comerciales, operaciones de la Armada Marina, transporte de personal en helicópteros, barcos cisternas, etc.

A continuación se presenta una descripción básica de las emisiones fugitivas de COVs según el tipo de fuente de emisión.

Tabla 4.4.1. Fuentes Potenciales de Emisiones (Bravo, H.; Torres R. *julio 1995*)

FUENTES POTENCIALES DE EMISION (ESPECIFICAS)			
Categoría genérica de fuente	Puntual de Proceso	Fugitiva de proceso	Fugitiva de Área (a)
Manejo y almacenamiento		A	B, C, D
Reactores de Proceso	E,F	G	C, D, H, I, J, K
Procesos de separación	F,L	G, M, N	K
Fugitivas.		G, M, N	B, C, D, H, I, J, K, M, N, O, P

Claves:

A- Almacenamiento, transferencia y manejo.

B- Derrames.

C- Válvulas.

D-Bridas.

E- Reactores.

F- Sistema de recuperación de productos (absorbedores, condensadores).

G- Drenes de proceso

H- Bombas.

I- Compresores.

J- Líneas de muestreo.

K- Dispositivos de Alivio de Presión.

L- Sistemas de Separación (columnas de destilación, absorbedores, cristalizadores, secadores, etc.)

M- Pozos calientes.

N- Tanques acumuladores.

O- Torres de enfriamiento.

P- Plantas de tratamiento de agua residual, separadores de aceites.

(a) Los grupos de fuentes pequeñas como válvula, compresores, bombas, etc., son considerados como fuentes fugitivas de área.

La industria petrolera Mexicana el 80% de producción nacional es por plataformas petroleras en el mar, aparte de la producción pesquera, esto desde 1976.

Ciudad del Carmen es un centro urbano, localizado a lo largo de la orilla de la Laguna de Términos donde se conecta con el Golfo de México, costa afuera se encuentra el área de plataformas petroleras.

Dos importantes procesadoras de petróleo terrestre es el área de compresión de gas Atasta en Campeche y Dos Bocas en playa Paraíso Tabasco.

Entre las más importante fuentes de emisión de plataformas petroleras son los quemadores, descargas al mar de las actividades de perforación y derrames del petróleo crudo.

Los quemadores descargan el 82% de todos los contaminantes en el aire de esta región, análisis químicos que se hicieron en los efluentes de las salidas de los quemadores se encontró, hidrocarburos

(HC), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO), sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S) y partículas (PM). Recientes reportes indican que el SO<sub>2</sub> es el segundo contaminante más importante emitido después de los hidrocarburos (PEMEX, 2001).

En estudios sobre contribución en las concentraciones de (SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>) estas contribuyen a la deposición seca y húmeda de compuestos químicos, las cuales aceleran la corrosión (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) de construcciones, afectan la agricultura en la zona de Tabasco y Campeche.

Los factores de emisión para quemadores, estaciones de equipo de proceso, equipo de combustión interna, se tomaron como fuentes de información dos principales documentos el AP-42, (compilación de factores de emisión de contaminantes en el aire (USEPA, 2001)) y el (2) inventario para las emisiones atmosféricas de la industria petrolera (ARPEL 1998). En la Tabla 4.4.2. se muestra la cantidad de contaminantes emitidos por región Suroeste y Noreste además por trafico marítimo, Aéreo y perforación etc.

**Tabla 4.4.2. Emisiones de contaminantes de plataformas petroleras en instalaciones de extracción y producción en la Sonda de Campeche. (R. Villaseñor et al. Atmospheric Environment 37, 2003)**

Region	No <sub>x</sub>		So <sub>x</sub>		H <sub>2</sub> S		CO	
	miles ton/año	%No <sub>x</sub>	miles ton/año	%So <sub>x</sub>	miles ton/año	%H <sub>2</sub> S	miles ton/año	%CO
Plataforma marina Noreste	19.109	46.43	165.845	91.63	1.028	93.38	115.67	79.5
Plataforma marina Suroeste	15.748	38.26	10.249	5.662	0.073	6.62	28.848	19.83
Trafico Marino y Aéreo	6.032	14.66	4.905	2.71	0	0	0.917	0.63
Perforación	0.268	0.65	0.004	0	0	0	0.07	0.05
Total	41.158	100	181.002	100	1.101	100	145.505	100

**Continuación de la Tabla 4.4.2.**

Región	NMCH		PM <sub>10</sub>		Total	
	miles ton/año	%NMC H	miles ton/año	%PM <sub>10</sub>	miles ton año	%Total
Plataforma marina Noreste	251.879	90.98	11.31	78.38	563.81	85.56
Plataforma marina Suroeste	24.171	8.73	28.14	19.5	81.831	12.42
Trafico Marino y Aéreo	0.767	0.28	0.297	2.06	12.917	1.96
Perforación	0.02	0.01	0.009	0.06	0.373	0.06
Total	276.839	100	14.431	100	658.935	100

## **5- MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE COVs EN AIRE AMBIENTE.**

### **5.1. Métodos para determinación de COVs.**

Para evaluar los COVs de una manera precisa y exacta se a implementado métodos de muestreo y análisis. Las diferentes fuentes de emisión de dichos compuestos también han originado el desarrollo de nuevos métodos para satisfacer requerimientos específicos debido a las condiciones de los sitios a muestrear (Cardin y Deschenes 1993). Como ejemplo se puede citar aire ambiente, ambiente laboral, emisiones fugitivas , suelos contaminados, áreas inaccesibles o peligrosas de muestreo, etc.

Para el caso específico del aire ambiente (Maeda et al 1995), los COVs se clasifican en:

1. COVs con alto potencial de formación de ozono y de peroxiacetil nitrato.
2. COVs que se conoce que son tóxicos, formando parte de los contaminantes atmosféricos peligrosos.
3. COVs con alto potencial de destrucción de la capa de ozono.
4. COVs que contribuyen al efecto de invernadero.
5. COVs como contaminante secundario, esto es, formados en la atmósfera a partir de la oxidación fotoquímica de hidrocarburos.

Una de las Instituciones que más ha estudiado estos compuestos, así como generado varios métodos de muestreo y análisis es la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en ingles). los métodos han sido identificados como TO (Toxic Organic), y a la fecha existen 17 métodos que se aplican al aire ambiente (Tabla 5.1.1).

**Tabla 5.1.1, Métodos utilizados para monitoreo de COVs en aire ambiente (USEPA, 1998)**

MÉTODO	TÉCNICA UTILIZADA	TIPO DE COMPUESTOS
TO-1	Adsorción en TENAX y análisis por cromatografía de gases (GC) con espectrometría de masas (MS)	Volátiles orgánicos con puntos de ebullición entre 80°C y 200°C
TO-2	Adsorción en carbón y análisis por GC/MS	Volátiles orgánicos con puntos de ebullición entre -15°C y 120°C
TO-3	Trampa criogénica y análisis por GC con detector por ionización con flama (FID) o captura de electrones (ECD)	Volátiles orgánicos con puntos de ebullición entre -10°C y 200°C
TO-4	Muestreo de altos volúmenes PUF y análisis por GC/ECD	Plaguicidas organoclorados y PCBs
TO-5	Muestreo con burbujeador (dinitrofenil-hidrazina) y análisis por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y detector ultravioleta (UV)	Aldehídos y cetonas
TO-6	HPLC	Fosgeno
TO-7	Adsorción en termosorb/N	N-Nitrosodimetilamina
TO-8	Muestreo con burbujeador (hidróxido de sodio) y análisis por HPLC	Cresol/Fenol
TO-9A	Muestreo de altos volúmenes (PUF) y análisis por cromatografía de gases de alta resolución (HRGC) con espectrometría de masas de alta resolución (HRMS)	Dioxinas y Furanos
TO-10A	Muestreo de altos volúmenes (PUF) y análisis por GC/ECD	Plaguicidas
TO-11A	Adsorción en cartucho y análisis por HPLC	Formaldehído
TO-12	Preconcentración criogénica y análisis por GC/FID	Compuestos orgánicos No-metano
TO-13A	Adsorción en PUF/XAD-2 y análisis por GC o HPLC	Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs)
TO-14A	Muestreo con canisters y análisis por GC con detectores variables o MS. Trampa criogénica.	Compuestos orgánicos volátiles (COV)
TO-15	Muestreo con canisters y análisis por GC/MS. Trampa multiadsorbente.	COV
TO-16	Monitoreo de trayectoria abierta por Infrarrojo y Transformada de Fourier (FTIR)	COV
TO-17	Muestreo con tubos adsorbentes y análisis por GC/MS	COV

## **5.2. Método TO-15 de la USEPA para la determinación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en aire ambiente.**

El método contiene procedimientos de muestreo y análisis de 97 COVs que están incluidos en los 189 contaminantes peligrosos del aire (HAPs) enlistados en el Título III de las enmiendas del acta del aire limpio de 1990. Los COVs están definidos aquí como compuestos orgánicos que tienen una presión de vapor mayor que  $10^{-1}$  Torr a 25 °C y 760 mmHg.

La muestra es colectada en dispositivos esféricos de acero inoxidable denominados "canisters", cuya utilización a cobrado gran auge en los últimos años además de estar fundamentado su uso en una estricta investigación (McClenny et al 1991). La parte interior del canister se prepara mediante el proceso de electropulido "SUMMA" o equivalente con el fin de limpiar la superficie y reducir el número de sitios activos de adsorción. El canister se pone al vacío para que de esta manera se pueda llenar con aire ambiente una vez que se lleva al campo para su muestreo. Asimismo, se puede tener una bomba para presurizar el canister con aire ambiente. El muestreo puede ser instantáneo (grab) o integrado para periodos de tiempo específicos ( 1 hora, 3 horas, 24 horas, etc.) al final del muestreo la válvula del canister se cierra y este se transporta al laboratorio para el análisis de COVs . Estos compuestos han sido almacenados exitosamente en canisters durante varios días, y determinados en niveles de partes por billón. Las concentraciones de los COVs dentro de los canisters pueden mantenerse constantes con tiempos de almacenamiento mayores a 30 días.

Las pérdidas de COVs debido a la absorción generalmente se consideran pequeñas (ejemplo, pérdidas que ocurren en minutos u horas). Las perdidas debidas a reacciones químicas de los COVs con el ozono u otras especies en la fase gaseosa, también se consideran pequeñas.

El método TO-15 se utiliza para el análisis de muestras con concentraciones de COVs en el ambiente arriba de 0.5 ppbv y generalmente requiere la concentración de un volumen mayor a 1 litro. La estabilidad de los compuestos depende de las condiciones del aire ambiente en que fueron tomados. Por ejemplo, condiciones de baja humedad en la muestra pueden provocar pérdida de ciertos COVs en las paredes del canister; altas concentraciones de humedad pueden provocar pérdida de compuestos solubles en ella. Si los canister son presurizados, el agua se condensa en las muestras con mucha humedad.

Una alícuota de la muestra se pasa directamente del canister a un concentrador sólido multiadsorbente. Una porción de vapor de agua de la muestra pasa al concentrador durante el muestreo, la cantidad depende de la composición del multiadsorbente, duración del muestreo y otros factores. El contenido de agua de la muestra puede reducirse por la purga en seco del concentrador con helio mientras retiene los compuestos. Después de la

concentración y el secado, los COVs son desorbidos térmicamente con una corriente de gas acarreador y concentrado en un volumen pequeño para ser atrapados a temperaturas reducidas en una trampa con volúmenes pequeños de multiadsorbentes. La muestra es entonces liberada por desorción térmica y llevada a la columna del GC.

La estrategia analítica del TO-15 involucra el uso de un cromatógrafo de alta resolución (GC) con detector de ionización por flama. El espectrómetro de masas cuadrupolo opera en el modo de Monitoreo de ion selectivo (SIM) o SCAN, o el detector de trampa de iones.

### **5.3. Muestreo y Análisis de COVs en la Zona del Golfo de México.**

En este trabajo fueron realizados muestreos de aire ambiente en canisters para la evaluación de la concentración de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en la zona del Golfo de México.

El tipo de canisters utilizado fueron SUMMA y Silco. Los SUMMA tienen la superficie electropulido, mientras que los Silco tienen recubrimiento interior de vidrio. Una vez muestreados los canisters, estos fueron llevados al laboratorio para su análisis mediante un sistema de preconcentración multiadsorbente diseñado por Maeda (1998) de la compañía DKK Corporation System. En la figura 5.3.2 se presenta un diagrama de flujo del sistema de análisis de COVs. Este método es equivalente al método TO-15 (USEPA, 1999) y utiliza un controlador de humedad a 25°C, un concentrador de muestra y un cromatógrafo de gases (GC) con detector de ionización por flama (FID).

El sistema fue alimentado con un flujo de muestreo de 21 ml/min durante 4 min. Antes de introducir la muestra al GC, ésta recibe un pretratamiento de concentración a 10°C en una trampa que está empacada con 3 tipos de adsorbentes: alúmina, tenax y carbón activado. Para disminuir la temperatura de la trampa el equipo utiliza un sistema de inyección de bióxido de carbono líquido con pureza grado industrial. La introducción de la muestra al sistema fue realizada por medio de una bomba con un flujo de 21 ml/min por un tiempo total de 4 min. Después de que los COVs han sido concentrados en la trampa, éstos son desorbidos térmicamente a 250°C con un flujo de Helio 5.0 UAP (99.999% ultra alta pureza) como gas acarreador a 6 ml/min para transportarlos al GC. El GC separa los compuestos por medio de dos columnas conectadas en serie; la primera de ellas es Alumina Plot (i.d. 0.53 mm, 30m) y la segunda de Metilsilicona (i.d. 0.5 mm, 1.5  $\mu$ m, 30m).

Para realizar eficientemente la separación de los analitos se utilizó un programa de temperatura en el horno del cromatógrafo de gases con las condiciones que se presentan en la Tabla 5.3.1.



**Tabla 5.3.1. Condiciones de operación del sistema para análisis de COVs**

PARÁMETRO	CONDICIONES
Temperatura inicial	40°C
Tiempo de permanencia	4 min
Rampa 1 de temperatura	8°C/min
Temperatura final	100°C
Rampa 2 de temperatura	6°C/min
Temperatura final	240°C
Tiempo de permanencia	10 min

En la Tabla 5.3.2. Están señalados los compuestos de interés o analitos que fueron identificados y cuantificados por ser precursores de ozono y se presentan en altas concentraciones en la atmósfera de la Ciudad de México (Arriaga, 1996); otros más, como el benceno, tolueno y o-xileno, presentan características de toxicidad al humano (OSHA) además de intervenir en la formación de ozono, por lo cual es importante obtener datos de concentración y su variación en la atmósfera.

La identificación y cuantificación de los analitos fue realizada por comparación de los tiempos de retención y áreas de cada uno de los compuestos contenidos en una mezcla de calibración estándar (SAAN, Co.) con una concentración de 1ppm para cada sustancia. Los niveles de concentración utilizados en la curva estándar fueron obtenidos por medio de un sistema de dilución dinámica incluido en el equipo para análisis.



Figura 5.3.1. Sistema automático para muestreo y análisis de COVs en aire ambiente. (a- bomba de succión, b- controlador de humedad, c- sistema de preconcentración de muestra, d- Cromatógrafo de gases para análisis, e- Sistema de dilución y calibración, f- Rack para 9 canisters).

Las muestras de aire ambiente del Golfo de México fueron obtenidas en canisters de 6 litros y fueron limpiados con nitrógeno humidificado ultrapuro (99.999%) a  $94^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  con 4 ciclos de 15 minutos cada uno. Finalmente, la presión de los canisters se lleva a 160 mm de Hg con una bomba de vacío para coleccionar las muestras ambientales y analizarlas con la metodología utilizada para la determinación de COVs.

**Tabla 5.3.2 COVs analizados en las zonas Golfo de México**

PARAFINAS	Etano ( $\text{C}_2$ ), propano ( $\text{C}_3$ ), butano ( $\text{C}_4$ ), pentano ( $\text{C}_5$ ), hexano ( $\text{C}_6$ ), heptano ( $\text{C}_7$ ), octano ( $\text{C}_8$ ) y nonano ( $\text{C}_9$ ).
OLEFINAS	Propileno ( $\text{C}_3\text{H}_6$ )
ALQUINOS.	Acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ )
AROMÁTICOS	Benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), tolueno ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ), o-xileno ( $\text{C}_8\text{H}_{10}$ )

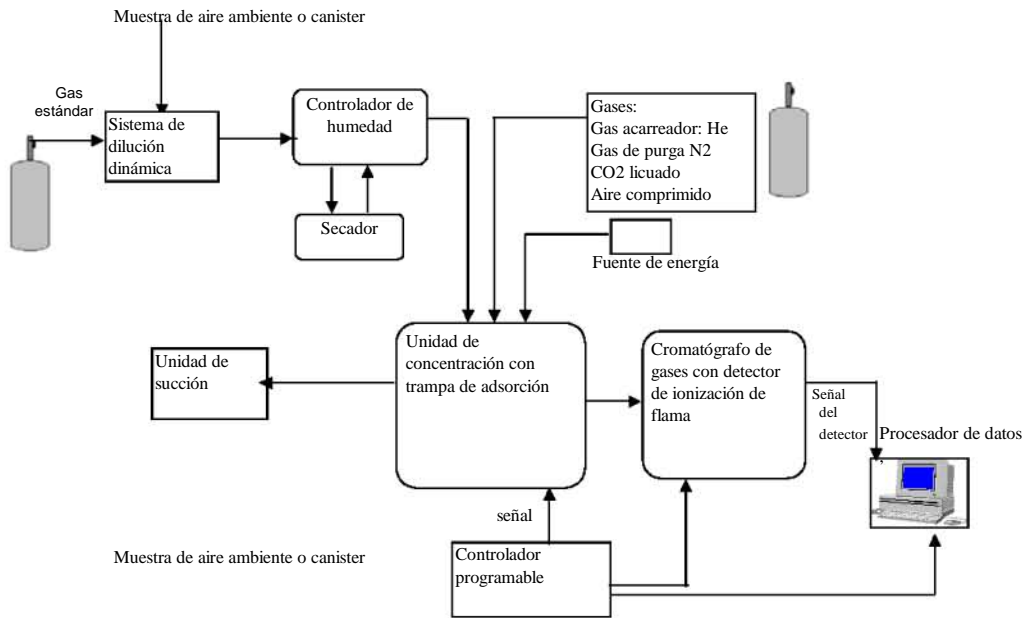


Figura 5.3.2- Diagrama de flujo del sistema y análisis de COVs TO-15 USEPA. (Sosa 2001)

#### 5.4. Diseño Experimental.

Sitios de muestreo y número mínimo de muestras.

El Centro de Ciencias de la Atmósfera, Sección de Contaminación Ambiental cuenta con equipo de muestreo canisters y muestreador integrado (Weeding & Associates) equipo figura 5.4.1.



Figura 5.4.1. Detalle del equipo de muestreo de COVs mediante canisters

Desde el año 2002 se inicio la colaboración entre el laboratorio de fisicoquímica Marina (LFM) del –Instituto de Ciencias del Mar y Limnologías (ICMyL) y la sección de Contaminación Ambiental (SCA) del Centro de Ciencias de la Atmósfera ambas instituciones de la UNAM, con el fin de evaluar la contaminación atmosférica en el Golfo de México inicialmente se participo en la campaña oceanográfica en el sur Golfo de México SGM-07 llevado a cabo en Noviembre y Diciembre del 2002, SGM-8 que se llevo a cabo Septiembre y Octubre 2003, SGM-9 llevada a cabo Mayo y Junio del 2004, a bordo del buque “Justo Sierra “ de la UNAM, correspondió a la SCA, la responsabilidad de la “Evaluación de la Contaminación Atmosférica en el Golfo de México.

Como parte del aseguramiento de calidad utilizado se manejaron las muestras en canisters con cadenas de custodia el tiempo entre el muestreo y análisis.

### 5.5. Sitios de Muestreo y Número Mínimo de Muestras

La partida del Buque “Justo Sierra “durante las campañas Oceanográficas fue en Tuxpan, Veracruz y el arribo en el mismo lugar de origen.

El área de estudio durante las campañas es representada en el mapa del derrotero presente en la figura 5.5.1.

Además fueron realizadas cerca de

las plataformas que a continuación se indica: Pol-Alfa, Abkatun-Alfa, Akal-j, Akal-C, Nohoch-Alfa figura 5.5.2.



Figura 5.5.1. Derrotero del Buque Oceanográfico durante las Campañas 2002, 2003 y 2004

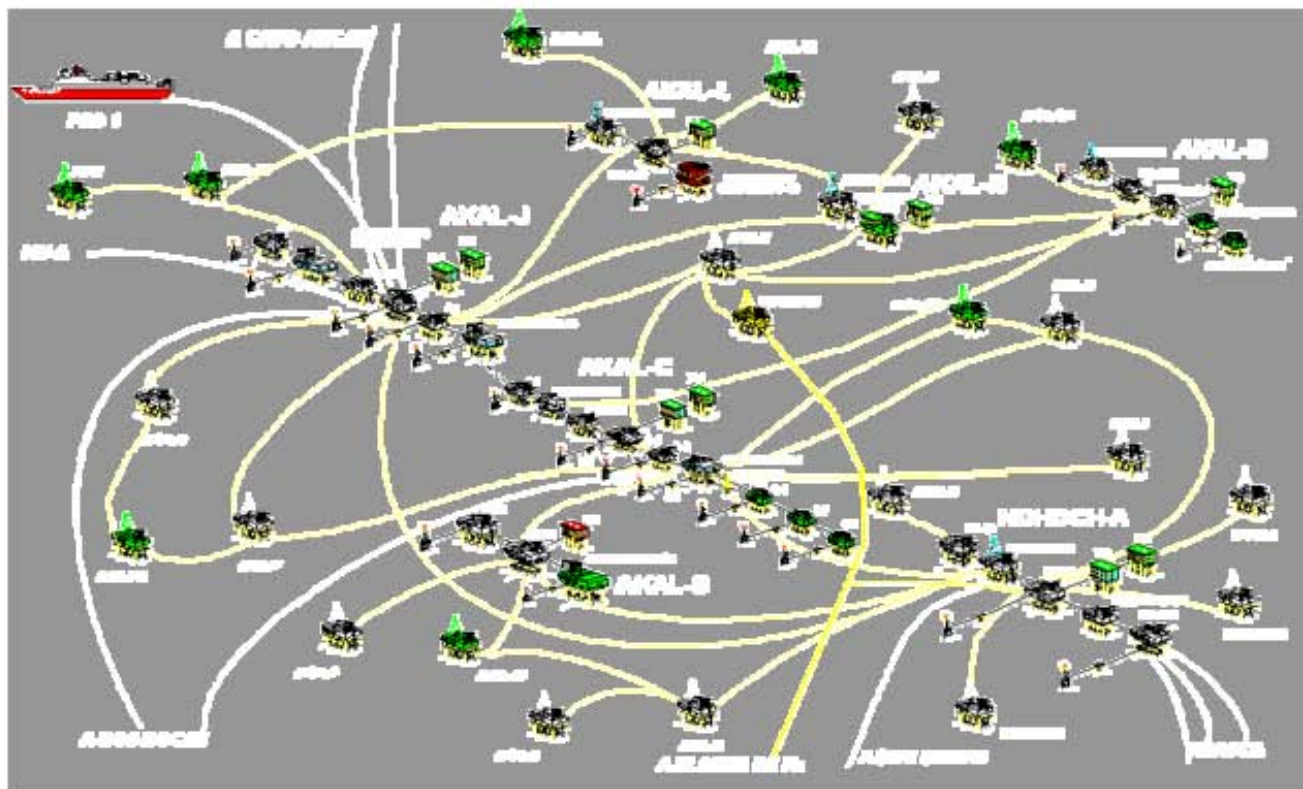


Figura 5.5.2. Mapa del Complejo Cantarell. (Presentación Ing. Romeo Chavarria Rios PEMEX Exploración y producción).

El procedimiento para la toma de muestra con Canisters SUMMA y Silco método TO-15 USEPA, a continuación se describe:

- El muestreo de canisters uno diario, se llevo a cabo desde que el buque partió del puerto hasta el termino de la campaña oceanográfica.
- Se mide la presión de cada canisters que se utilizara durante el muestreo.
- Llevar el canisters a la parte superior del barco, tomando en cuenta que no peguen los gases de la chimenea del Buque, se observa en la figura 5.5.3.
- El tiempo de Muestreo integrado (weeding & associates) de 20 horas. figura 5.5.4.
- El tiempo de muestreo para controlador de flujo con orificio crítico fue alrededor de 16 horas. figura 5.5.5.
- Se tomo muestras instantáneas cuando se acercaba el buque a la pluma de las plataformas.
- Al terminar el muestreo se anoto los datos del canisters y se guardo en una caja, para su posterior análisis.



**Figura 5.5.3. Ubicación del Canisters en el Buque “Justo Sierra”**



**Figura 5.5.4. Muestreo de COVs cerca de plataformas con el muestreador Weeding & Associates**



**Figura 5.5.5. Muestreo de COVs cerca de plataformas con controlador de flujo de orificio crítico**

## 5.6. Aseguramiento y Control de Calidad.

Para asegurar la calidad de los datos obtenidos durante el muestreo y análisis fueron aplicados varios procedimientos de control:

- i. Calibración del equipo para determinar el intervalo de concentración en el que se obtiene una respuesta lineal utilizando 5 diluciones del gas estándar para los 13 compuestos (SAAN Co.) cuya composición se presenta en la tabla 5.6.1.
- ii. Verificación de la calibración cada semana analizando la mezcla de gas estándar a una concentración de 100 ppb. Con esta información fue determinada la variación de los tiempos de retención y la respuesta para cada compuesto en cuentas de área; asimismo, fueron determinados los límites de detección Tabla 5.6.2.
- iii. Análisis de blancos electrónicos (para verificar el ruido electrónico del equipo) y blancos de gas acarreador (en este caso es Helio) y gas de dilución (Nitrógeno) en donde las concentraciones de los 13 compuestos fueron menores a los límites de detección.
- iv. En el caso de la utilización de canisters fue verificada su limpieza antes de utilizarlos para el muestreo, analizando el nitrógeno contenido en el último ciclo del procedimiento de eliminación de contaminantes. Nuevamente, las señales del detector para cada uno de los COVs fueron menores al límite de detección.
- v. En todo momento se llevo el control de la información en bitácora y se mantuvo la cadena de custodia desde el muestreo hasta el reporte de los resultados del análisis de COVs.

**Tabla 5.6.1. Composición de la mezcla de gas estándar**

<b>COMPUESTO</b>	<b>CONCENTRACIÓN (ppm)</b>
Etano	1.015
Propano	1.003
Propileno	1.016
Butano	1.007
Acetileno	1.006
Pentano	1.010
Hexano	1.007
Heptano	1.004
Benceno	1.007
Octano	1.011
Tolueno	0.9999
Nonano	1.014
o-Xileno	1.015



**Tabla 5.6.2 Promedio y desviación estándar de la respuesta de la mezcla de gas estándar para cada COVs (Bueno, 2005).**

<i>Compuesto</i>	<b>Tiempo de Retención</b>		<b>Cuentas de Área</b>	
	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Etano	3.5	0.0	87258.1	3116.2
Propano	5.6	0.1	151269.9	5965.5
Propileno	10.3	0.1	149954.2	6456.3
Butano	10.6	0.1	223310.3	9713.3
Acetileno	12.2	0.1	132052.1	6703.8
Pentano	15.6	0.1	242522.7	8615.6
Hexano	20.5	0.2	209180.5	32600.3
Heptano	25.2	0.2	224844.5	29550.1
Benceno	27.6	0.3	201266.6	37667.1
Octano	29.6	0.3	268320.4	27794.0
Tolueno	32.3	0.4	226050.4	26082.3
Nonano	33.8	0.4	272180.0	10763.4
o-Xileno	36.9	0.7	212728.0	10509.4

## 6-RESULTADOS OBTENIDOS.

### 6.1 Número de Muestras Obtenidas.

En la Tabla 6.1.1. Se muestran el número de muestras recogidas en recipientes canisters y el periodo de muestreo de cada campaña.

**Tabla 6.1.1.Cantidad de Muestras de las Diferentes Campañas Golfo de México**

Campaña	Fecha	Muestreo Integrado	Muestreo Instantáneo	Total
SGM-7	23 noviembre-13 Diciembre 2002	26	2	28
SGM-8	4 Septiembre-7 Octubre 2003	29	3	32
SGM-9	12 Mayo-12 Junio 2004	28	1	29
				89

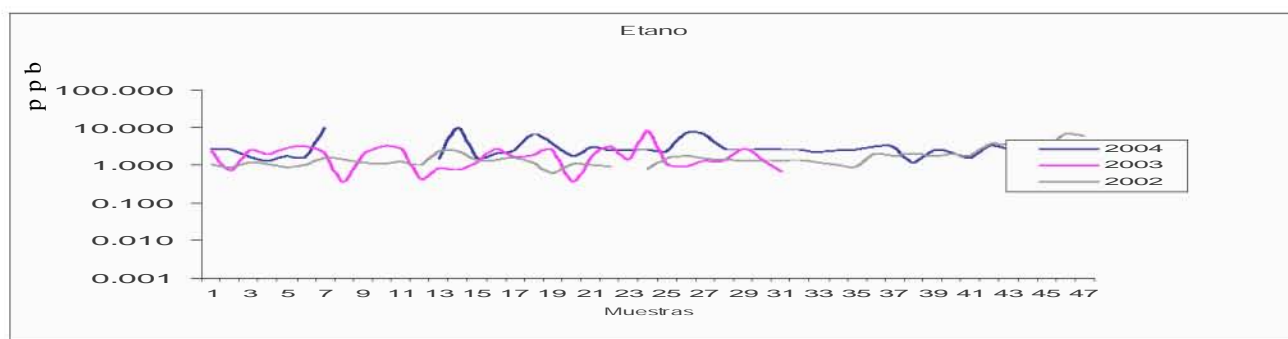
### 6.2. Cromatograma Obtenidos.

Se muestra en el **Anexo IV** unos cromatogramas de estándar y una corrida muestras recogidas en las campañas oceanográficas en el Golfo de México.

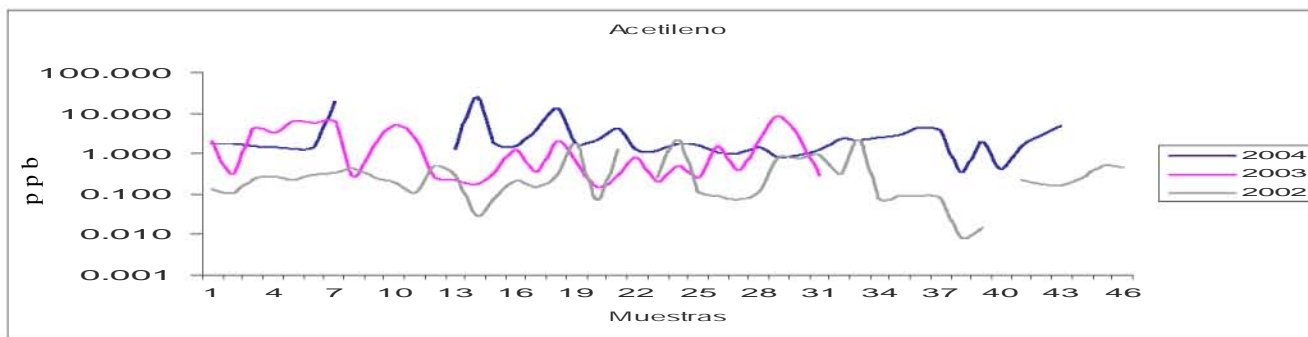
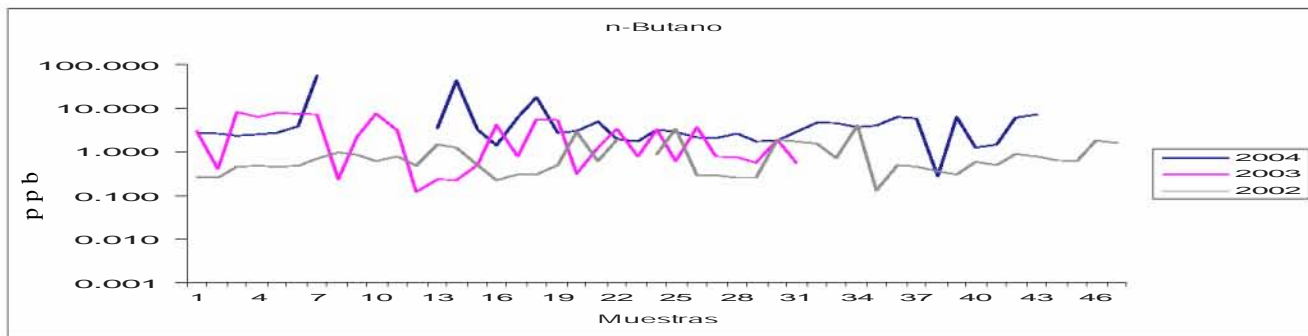
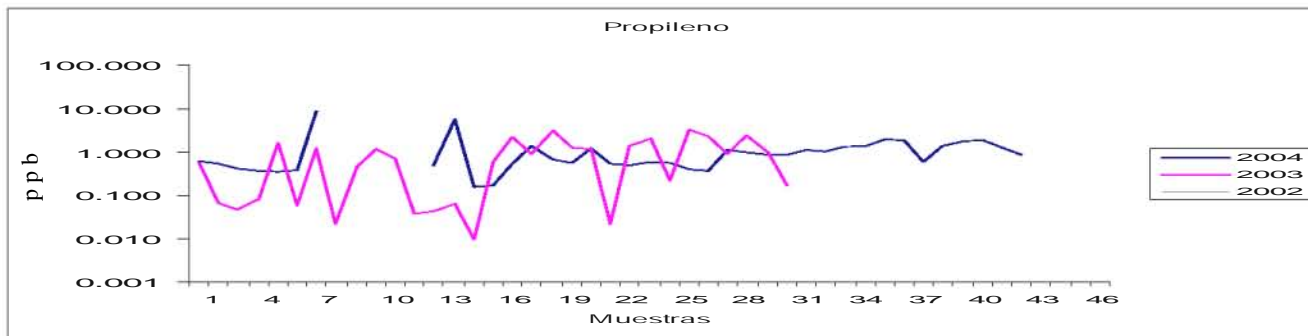
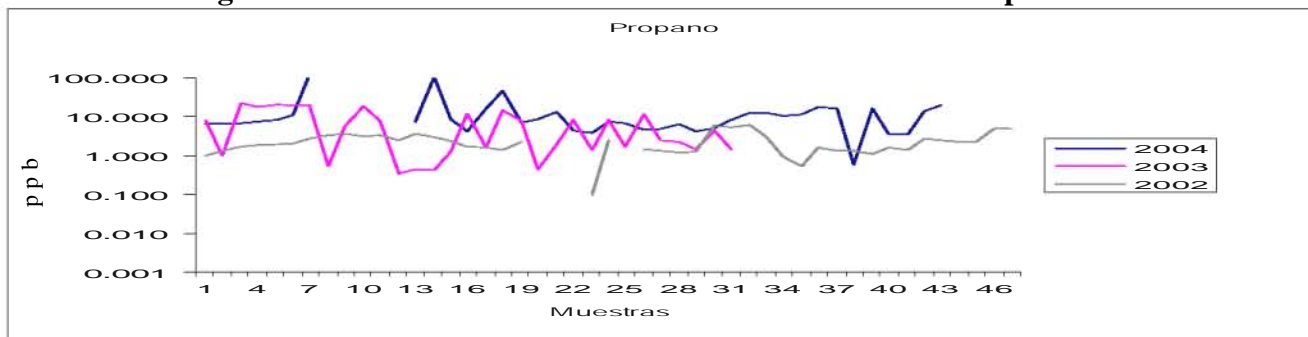
### 6.3. Gráficas del muestreo de las Campañas Oceanográficas en el Golfo de México

Se muestran los resultados obtenidos mediante la caracterización de las concentraciones COVs encontradas en las tres campañas Oceanográficas en el Golfo de México 2002-2004(figuras.6.3.1). Las graficas de barra se presentaran en el **Anexo II**.

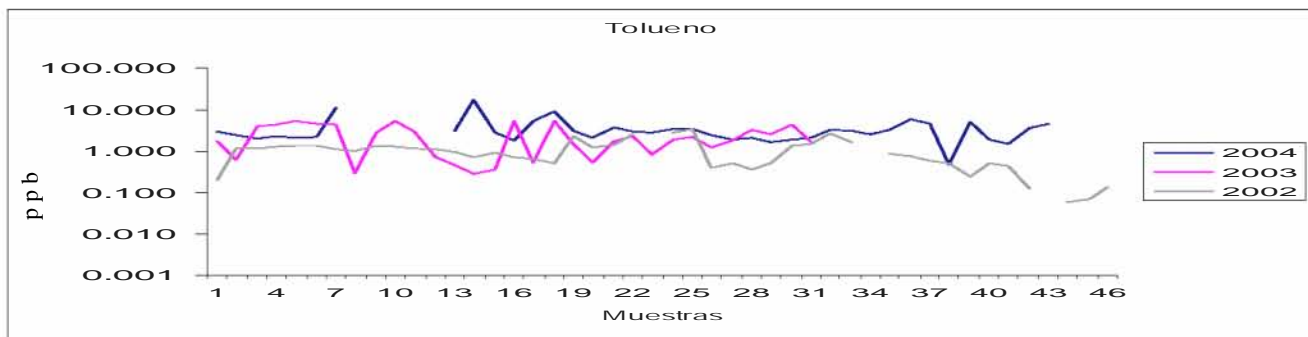
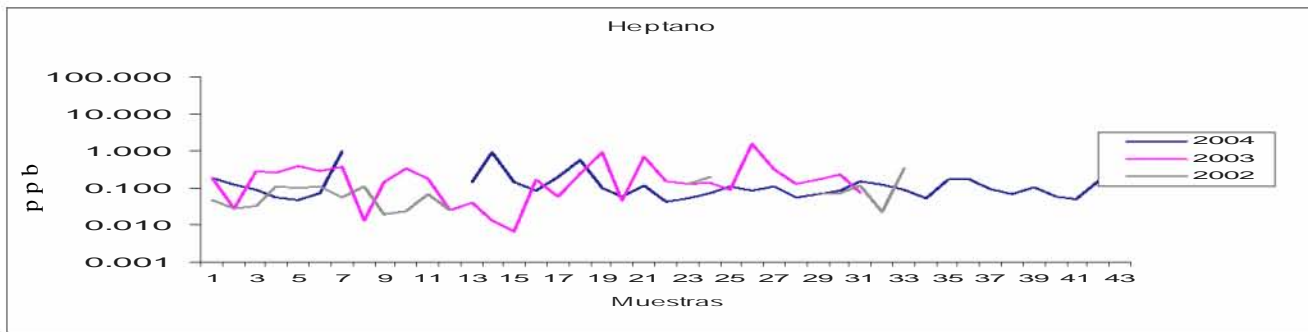
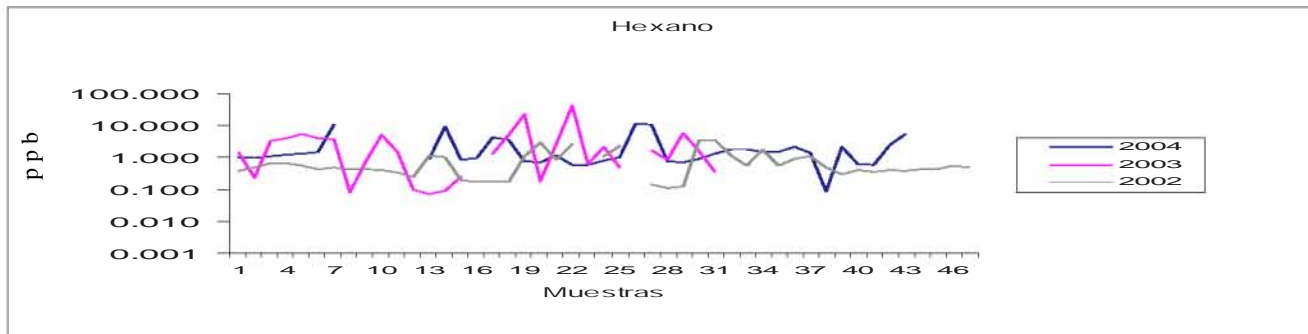
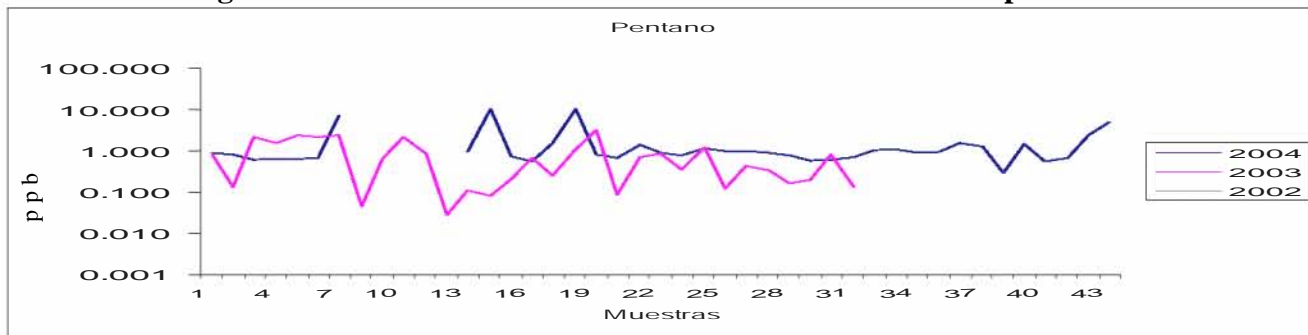
#### Gráficas 6.3.1. Concentraciones de COVs durante las tres Campañas



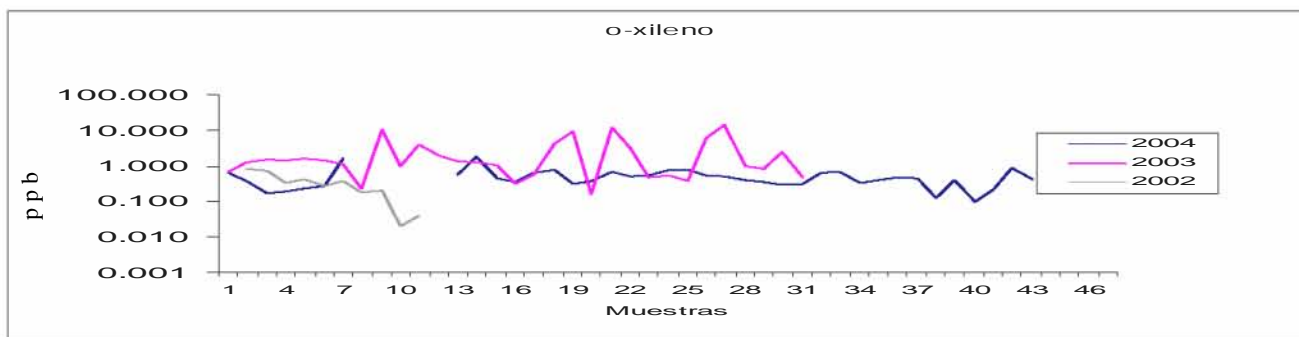
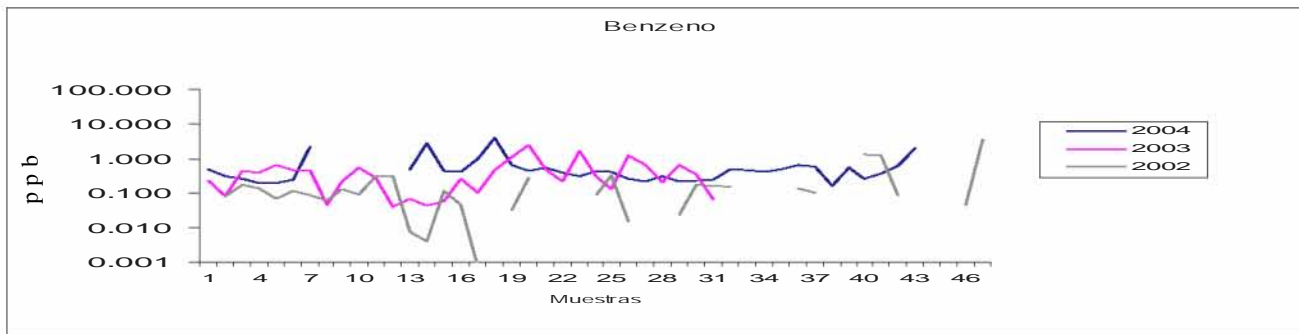
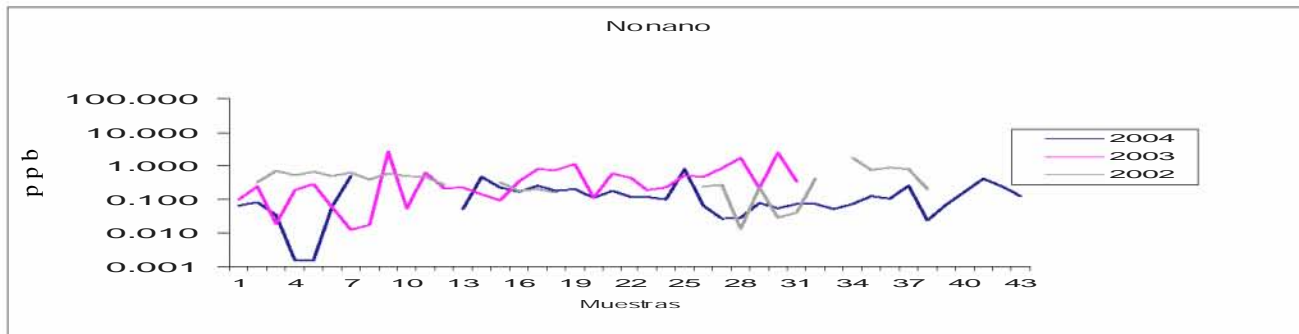
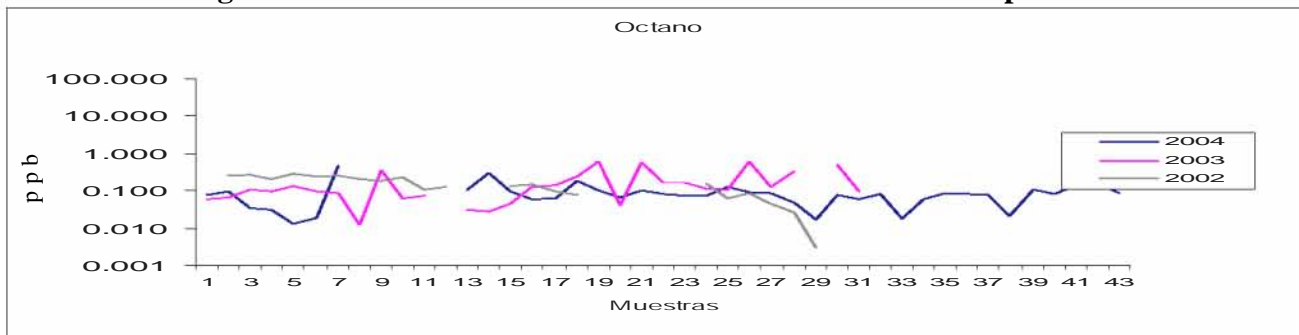
**Continuación Figuras 6.3.1. Concentraciones COVs durante las tres Campañas.**



Continuación Figuras 6.3.1. Concentraciones COVs durante las tres Campañas.



Continuación Figuras 6.3.1. Concentraciones COVs durante las tres Campañas.



### 6.4 Concentración de COVs provenientes de la Chimenea.

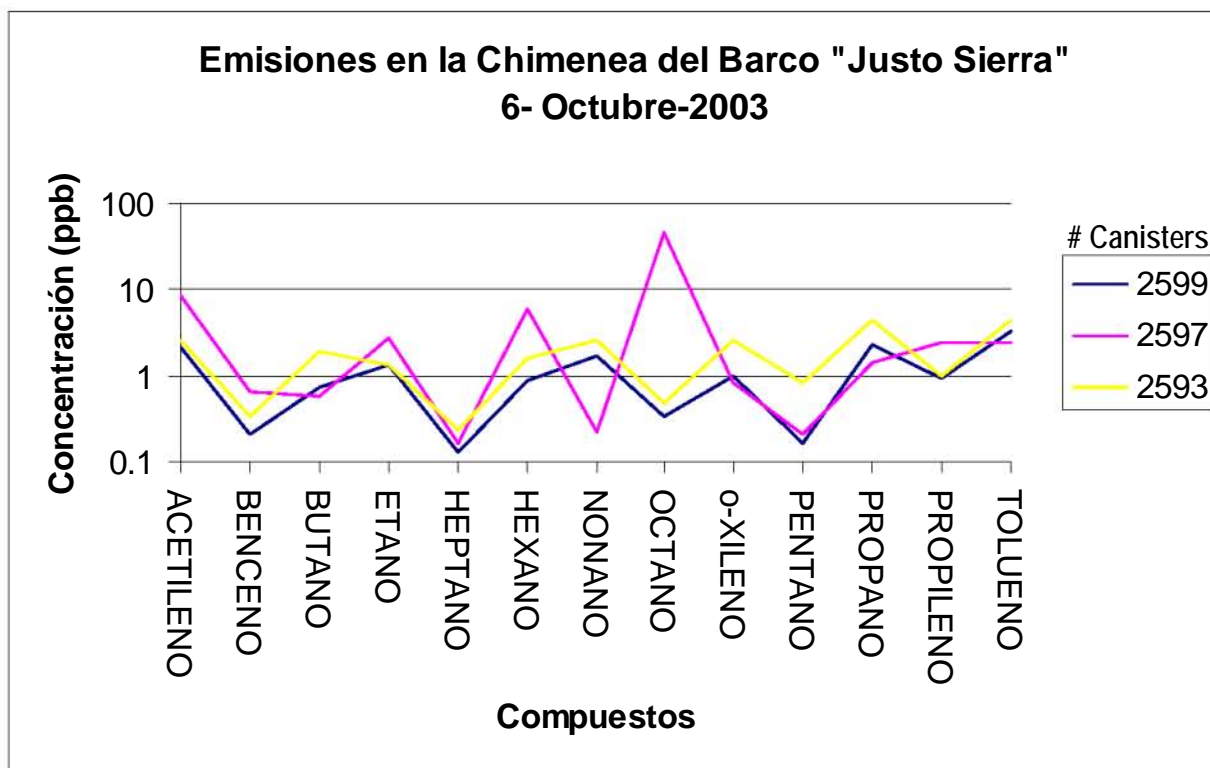
Con el propósito de conocer la composición de COVs en las emisiones de la chimenea del barco tomaron tres muestras (número de canisters: 2599, 2597 y 2593 anexo I) cerca de la chimenea. Las muestras se realizaron el 6 de octubre del 2003 cada hora. Tabla 6.4.1. y Gráfica 6.4.1.

Este muestreo se realizó para determinar la posible contribución de las emisiones de la chimenea a la concentración total de COVs, en la ruta del derrotero de la Zona Sur del Golfo de México.

Tabla 6.4.1. Concentración promedio de COVs en la chimenea del barco "Justo Sierra"

Compuestos	Promedio ppb
OCTANO	14.94 ± 19.37
ACETILENO	4.46 ± 2.76
TOLUENO	3.32 ± 0.65
HEXANO	2.78 ± 2.11
PROPANO	2.71 ± 1.14
ETANO	1.80 ± 0.63
NONANO	1.48 ± 0.84
PROPILENO	1.45 ± 0.67
o-XILENO	1.43 ± 0.71
BUTANO	1.06 ± 0.53
BENCENO	0.40 ± 0.17
PENTANO	0.39 ± 0.28
HEPTANO	0.17 ± 0.04

Gráfica 6.4.1. Concentración de COVs en las emisiones de la chimenea del Buque "Justo Sierra"



## 7- Evaluación de Resultados

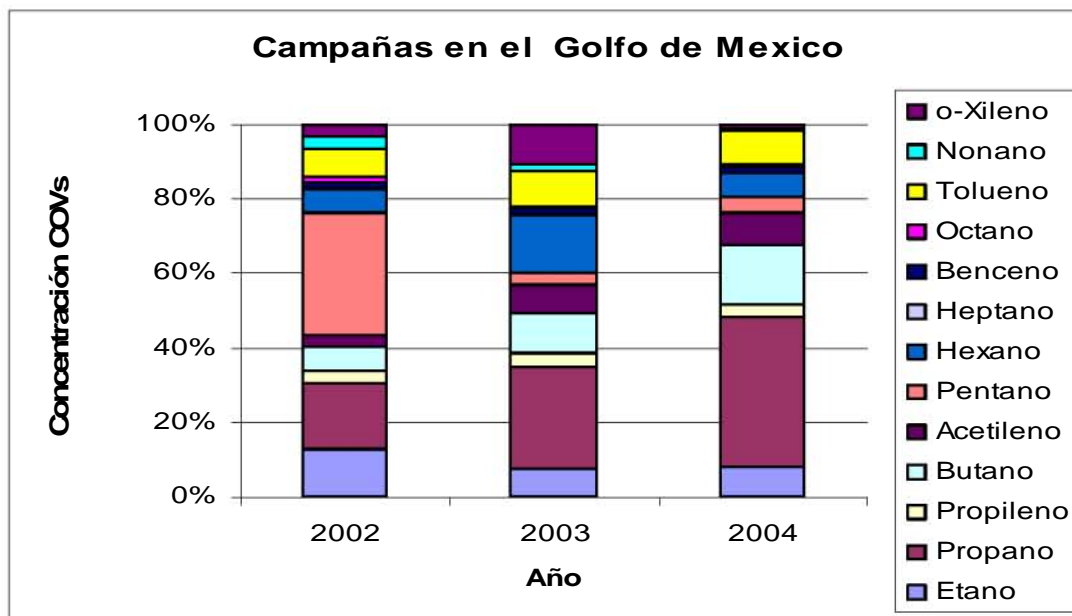
### 7.1. Concentraciones obtenidas durante las tres Campañas Oceanográficas.

La concertación de COVs fue determinada para 13 compuestos: 1) etano, 2) propano, 3) propileno, 4) butano, 5) acetileno, 6) pentano, 7) hexano, 8) heptano, 9) benceno, 10) octano, 11) tolueno, 12) nonano, 13) o-xileno. Tabla 7.1.1. Demuestra las concentraciones promedio para estos compuestos durante las tres Campañas Oceanográficas.

**Tabla 7.1.1. Concentración Promedio de COVs (ppb)**

Compuestos	Crucero 2002	Crucero 2003	Crucero 2004
Etano	1.7 ± 0.17	1.9 ± 0.26	3.1 ± 0.32
Propano	2.4 ± 0.21	7.2 ± 1.30	15.4 ± 3.81
Propileno	0.4 ± 0.21	0.9 ± 0.17	1.2 ± 0.24
Butano	0.9 ± 0.12	2.9 ± 0.50	6.2 ± 1.66
Acetileno	0.4 ± 0.08	1.9 ± 0.41	3.2 ± 0.76
Pentano	0.3 ± 0.10	0.9 ± 0.16	1.7 ± 0.37
Hexano	0.8 ± 0.13	4.0 ± 1.55	2.3 ± 0.48
Heptano	0.1 ± 0.02	0.2 ± 0.05	0.2 ± 0.03
Benceno	0.2 ± 0.11	0.5 ± 0.09	0.6 ± 0.12
Octano	0.2 ± 0.04	0.2 ± 0.03	0.1 ± 0.01
Tolueno	1.0 ± 0.12	2.4 ± 0.31	3.5 ± 0.47
Nonano	0.4 ± 0.07	0.5 ± 0.12	0.2 ± 0.03
o-Xileno	0.4 ± 0.12	2.8 ± 3.66	0.5 ± 0.05

En la gráfica 7.1.1. Podemos observar como cambian las concentraciones promedio por campaña de muestreo, además se indican los compuestos fueron más abundantes con respecto a su concentración.



**Gráfica 7.1.1. Composición promedio de COVs Campañas Oceanográficas 2002-2004**

La variación en las concentraciones de COVs en las tres campañas oceanográficas que se ilustra en la grafica 7.1.1. Muestra que los compuestos propano, butano, tolueno, el etano y el acetileno son los que tienen una mayor contribución.

Las concentraciones mas pequeñas fueron registradas en la primera campaña (Noviembre-Diciembre 2002), se incremento durante el segundo crucero (Septiembre-October 2003), y presentando altas concentraciones en el tercer crucero (Mayo-Junio 2004), excepto el octano, nonano y o-xileno.

Es importante tomar en cuenta que las campañas oceanográficas de investigación fueron echas en diferentes periodos de estaciones del año.

Fue observado que durante la tercera campaña que la concentración del heptano y octano están por abajo del límite de detección.

La relación tolueno/benceno es un indicador de las posibles Fuentes de estos compuestos, debido a que existen relaciones características de COVs específicas para cada fuente también denominadas huellas (Scheff et al 1989, Fujita et al 1994, Mujica 1999).

Además, cuando se cuenta con información durante bastante tiempo y en el cual se hubiera aplicado alguna estrategia de control, esta relación también es un indicador de la efectividad de la estrategia de control. La relación tolueno/benceno para todas las muestras promedio da la relación, incluyendo en el área urbana de la ciudad de México obtenida, se presenta en la Tabla 7.1.2.

**Tabla 7.1.2. Relación tolueno/benceno en el Golfo de México y otros sitios**

Ciudad Universitaria UNAM 2004	4.26
Ciudad Universitaria UNAM 2001	4.30
Condominio 2001	4.81
Estación de Gasolina	3.89
Crucero 2002	7.7
Crucero 2003	6.4
Crucero 2004	6.6

Los valores obtenidos por la relación tolueno/benceno muestran que en la ZMCM existe una relación de concentraciones, mientras que en el área del Golfo de México esta relación es mayor,

Una relación empleada para comparar las concentraciones de COVs obtenidas en el Golfo de México en diversos sitios de la ZMCM, fue Propano/Butano y se presenta en la Tabla 7.1.3., la cual presenta valores similares.



**Tabla 7.1.3. Relación propano/butano en el Golfo de México y otros sitios**

Sitios de Muestreo	Propano/Butano
Ciudad Universitaria UNAM 2004	2.7
Crucero 2002	2.7
Crucero 2003	2.5
Crucero 2004	2.5

Los resultados en la Tabla 7.1.3. Indican una relación Propano/Butano similares a las muestras recogidas en áreas urbanas ciudad de México. Podemos decir que como se quema el gas que sale de plataformas sin un tratamiento adecuado existen grandes concentraciones de butano-propano como en la ciudad de México, por los escapes de cilindros de gas de licuado de petróleo. (L.P.)

Las concentraciones (Tabla 6.4.1) predominantes en la Chimenea del buque “Justo Sierra”, Octano, Acetileno/Tolueno, Hexano, Propano/Butano estos compuestos emitidos son un indicador de una fuente de diesel ( Scheff et al 1989, Fujita et al 1994, Mujica 1999).

Como se observa en la tabla 6.4.1 de las emisiones de la chimenea del buque “Justo Sierra” la concentración más alta es el octano, podemos decir que es un compuesto emitido por fuente una de combustión de diesel.

Esto nos lleva en la tercera campaña SGM-08, el octano y heptano su concentración esta por debajo del limite de detección. El cual nos habla que la pluma de la chimenea del buque “Justo Sierra” no impacto directamente el lugar de muestreo. Ver tabla 7.1.4. y Anexo V (Planos del Barco Justo Sierra).

**Tabla 7.1.4. Comparación de los resultados de la campaña SGM-08 promedio y de las emisiones de la Chimenea del Buque “Justo Sierra”**

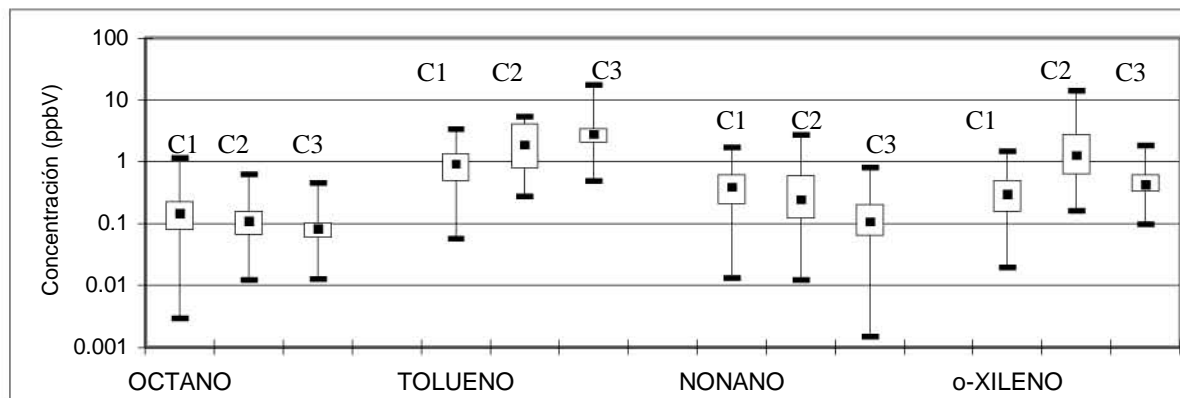
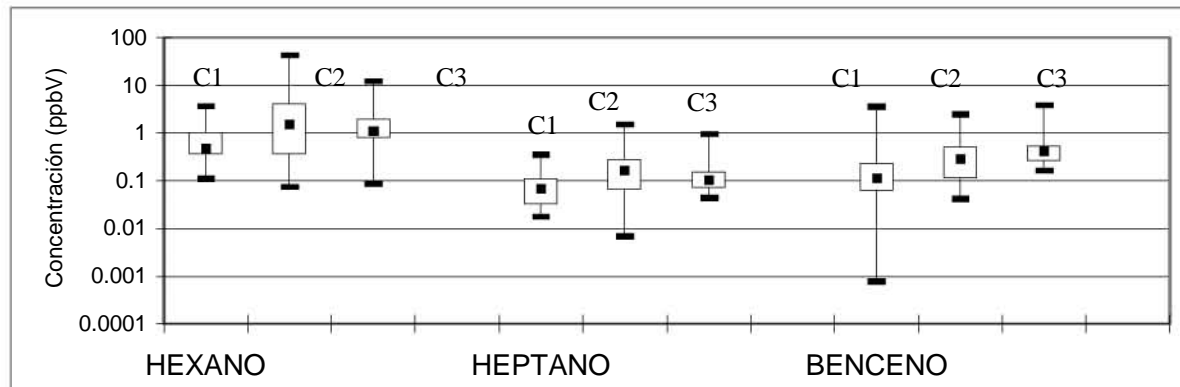
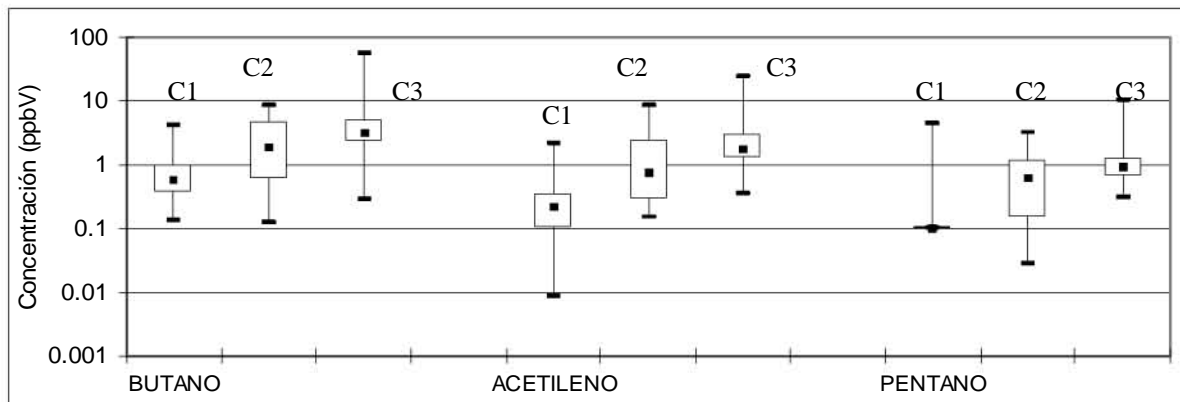
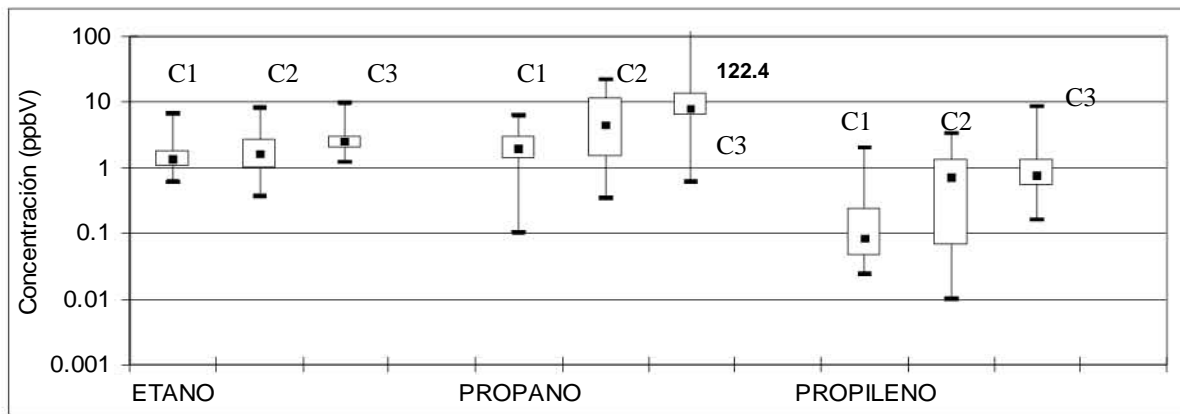
Compuestos	SGM-08	Chimenea
Octano	0.2 ± 0.03	14.94 ± 19.37
Heptano	0.2 ± 0.05	0.17 ± 0.04

### **Variación de la concentración de COVs por tipo o especie.**

Los parámetros de comparación (máximo, mínimo, promedio, primer y tercer cuartil) de la concentración de los COVs están representados en las gráficas de la figura 7.1.2. Se Puede observar un incremento en las concentraciones desde la primera hasta la última campaña.

El máximo de concentración 122.4 ppb que se presenta en la campaña 2004 del 15 mayo para el propano, revisando la bitácora del día de la toma de muestra donde las condiciones meteorológicas teníamos una velocidad menor del viento medido en el barco 7 m/s, además se observa una relación de Propano /Butano que puede provenir de la misma fuente, como de áreas de la ciudad o de barcos del alrededor, como la relación de Propano /butano característica de las emisiones por fuentes de gas L.P,

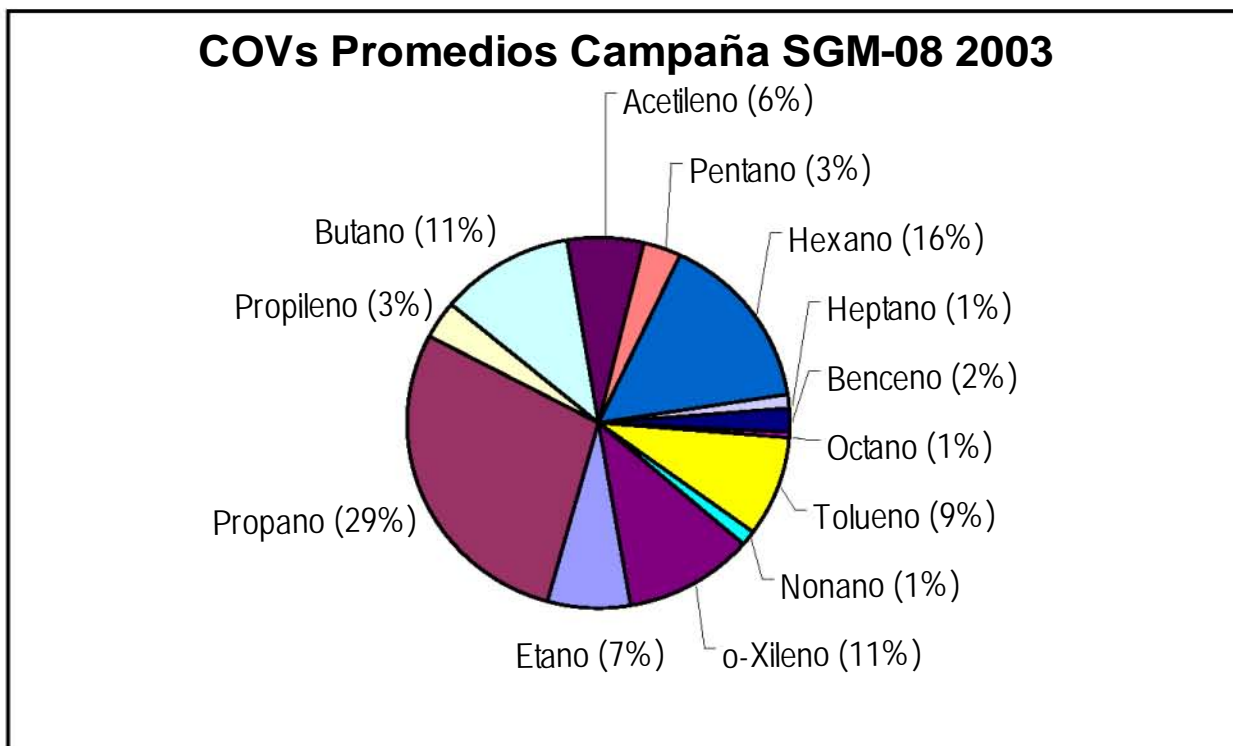
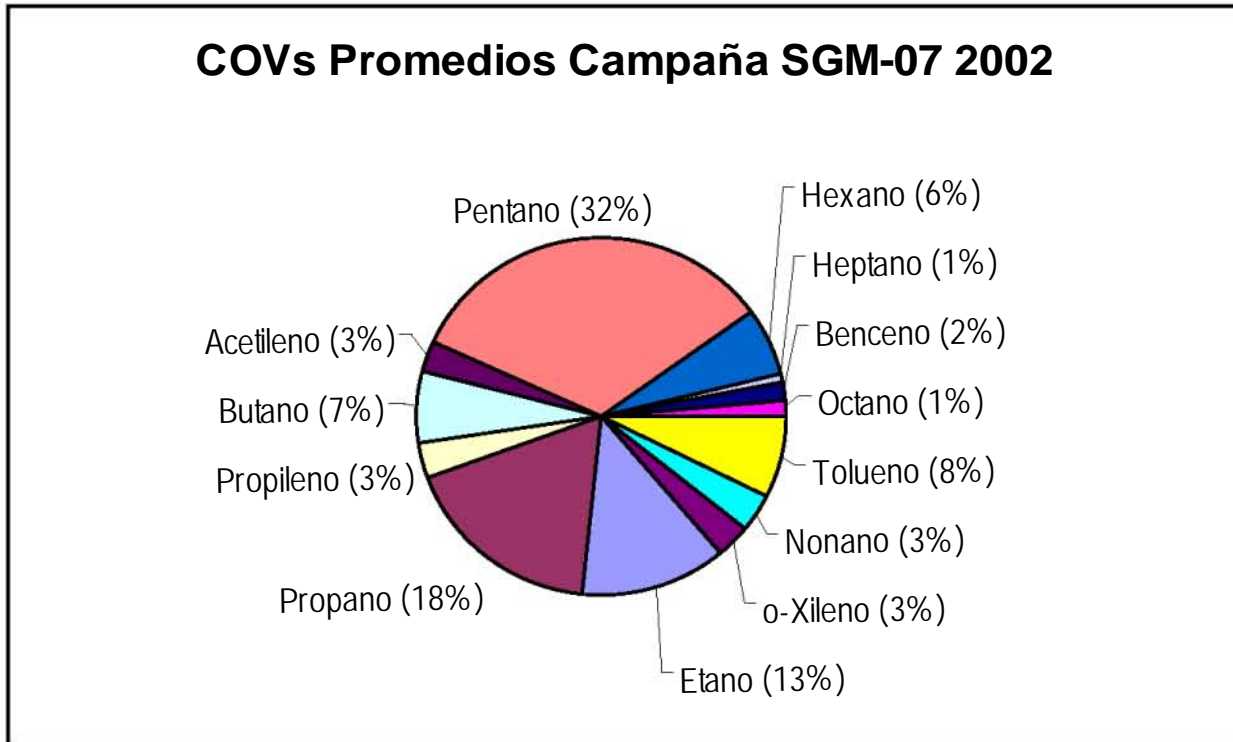
**Figura 7.1.2. Concentración de COVs en el Golfo de México**



C1: Crucero 2002, C2: Crucero 2003, C3: Crucero 2004

Con el propósito de determinar la proporción de los diferentes COVs, las muestras obtenidas durante las tres campañas en el Golfo de México, y de la chimenea del barco. A continuación se muestran las siguientes Figuras 7.1.3 y 7.1.4.

**Figura 7.1.3. Concentraciones Promedio de COVs.**



Continuación Figura 7.1.3.

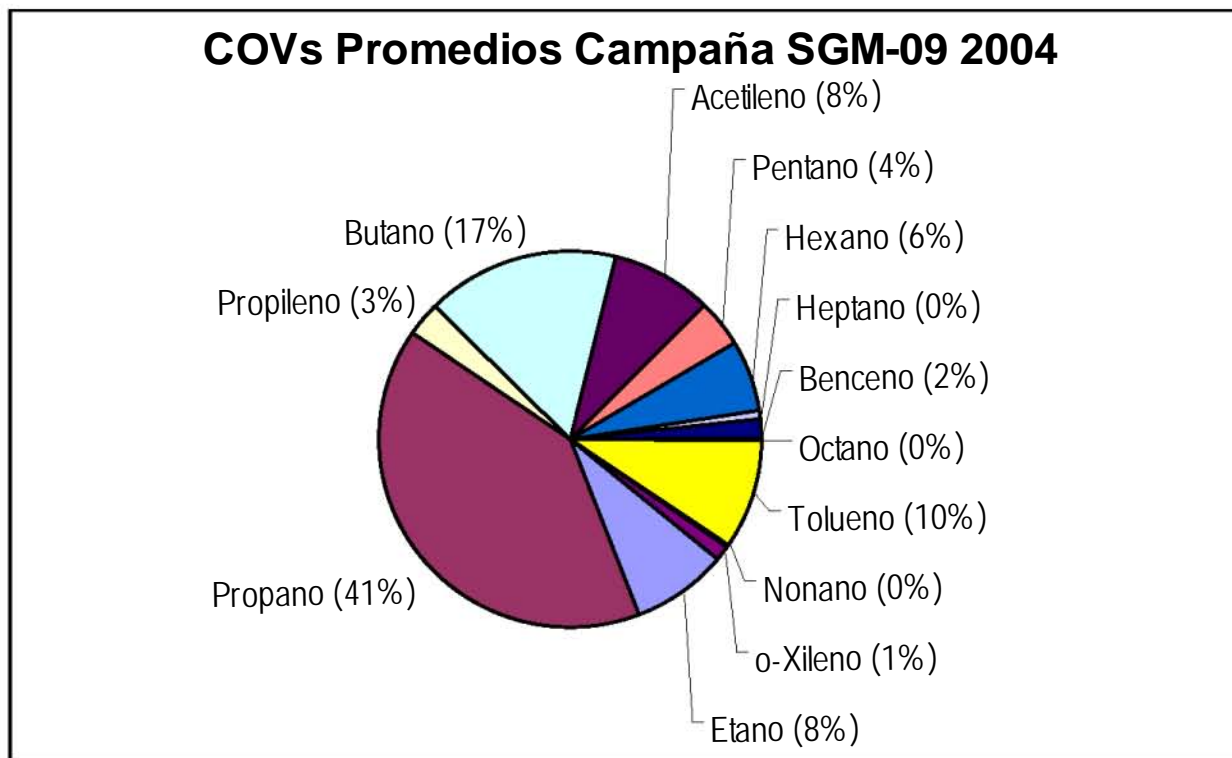
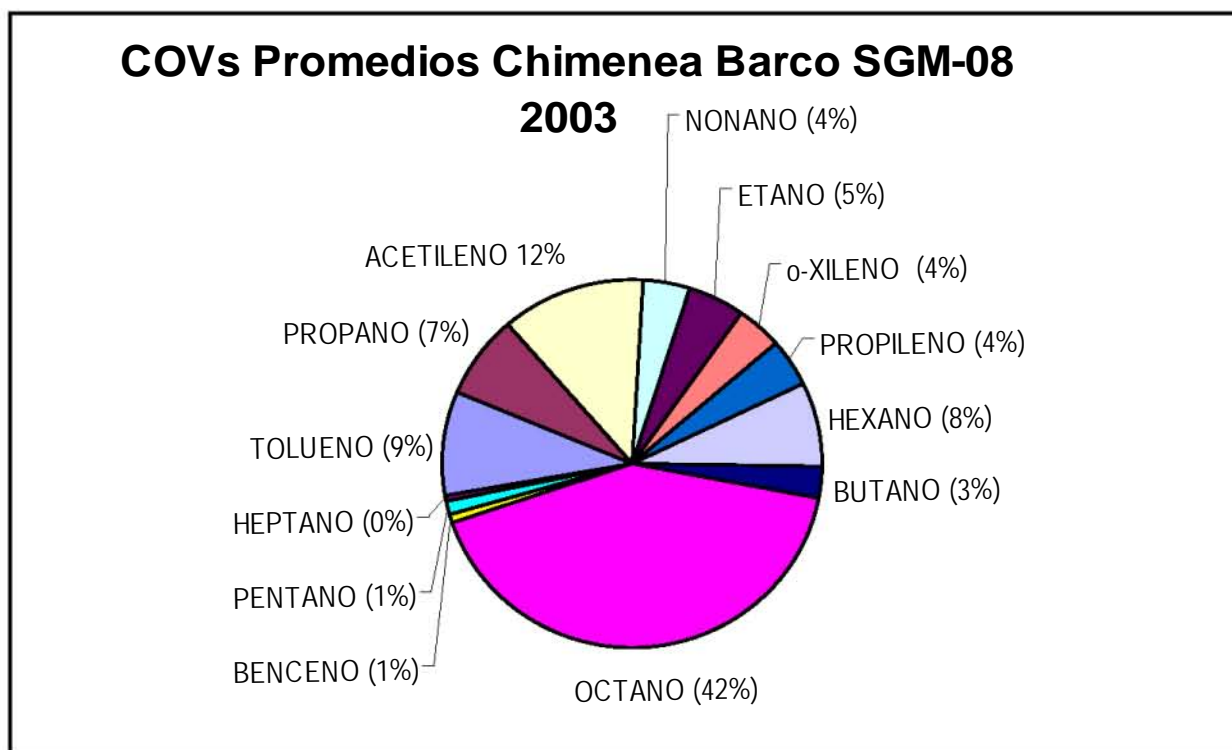


Figura 7.1.4. COVs Promedio de las emisiones de la chimenea en el Barco de la campaña SGM-08.



## 7.2. Calidad del Aire por Ozono.

Siendo importante mencionar que en el caso del ozono se presentaron en algunas concentraciones pico de este contaminante. Resulta interesante el poder posteriormente analizar la presencia de ozono, con sus precursores NOx e HCNM, siendo los COVs parte de estos últimos.

## 7.3. Sensibilidad del Método de Análisis.

Con el propósito de llevarse a cabo el seguimiento de calidad durante la limpieza, el muestreo y análisis de COVs utilizando los canisters y considerando como fundamento el reporte presentado por **Holland, J. (2001)** <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/npapsop/sop017.pdf>, para realizar estas actividades que son enunciadas, (ver paginas 38,39 y 45) de las cuales siguiendo procedimiento, podemos asegurar la sensibilidad y precisión de los métodos utilizados.

El límite de detección obtenido para cada uno de los COVs fue de 0.5 o menor, excepto el benceno, nonano y o-xileno con 0.6, 0.8 y 0.6 ppb respectivamente (Tabla 7.3.1). De acuerdo a esto, la sensibilidad del método utilizado en este trabajo es excelente comparada con los valores encontrados en el reporte UATMP, 1999.

**Tabla 7.3.1.Límites de detección de los COVs**

<b>Compuesto</b>	<b>Límite de Detección (ppb)</b>
Etano	0.1
Propano	0.1
Propileno	0.3
Butano	0.2
Acetileno	0.1
Pentano	0.2
Hexano	0.3
Heptano	0.5
Benceno	0.6
Octano	0.5
Tolueno	0.5
Nonano	0.8
o-Xileno	0.6

## **8- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

En las tres campañas de investigación estudiadas los COVs observados más abundantes fueron propano, seguido por el butano, el tolueno, el etano y el acetileno.

Las concentraciones de COVs presentaron un incremento a partir de la primera campaña en 2002 hasta la realizada en 2004.

La concentración de COVs para la mayoría de los compuestos fue más alta en el comienzo del verano (campaña 2004), que en el otoño (campañas 2002 y 2003). Se observó que de los tres eventos con las concentraciones más altas de COVs, dos estaban lejos de la zona de plataformas, mientras que el tercer evento se presentó en la zona de plataformas, por lo cual es posible el transporte y el impacto a larga distancia de las fuentes de contaminación.

Establecer estaciones de monitoreo de calidad de aire permanentes y fijas en tierra, así como en la zona de plataformas. Se recomienda instalar un sistema de monitoreo atmosférico en las principales ciudades costeras, para evaluar las emisiones terrestres a la atmósfera marina y viceversa.

De los COVs estudiados el benceno es de gran importancia por su toxicidad, por lo cual las concentraciones encontradas aunque se encontraron niveles bajos, son indicativas de la presencia de este compuesto en la atmósfera.

En el caso del benceno se encontró un valor promedio de su concentración en el aire ambiente durante las tres campañas en el Golfo de México de 0.2 ppb, 0.5 ppb y 0.6 ppb respectivamente (norma en Japón es 1 ppb y Europa 3 ppb)

Debido a la alta toxicidad del benceno como cancerígeno, se recomienda realizar un estudio de riesgo en el Golfo de México tomando en cuenta el tiempo de exposición del personal en las plataformas petroleras.

Se debe poner especial atención al caso del benceno que se requiere por el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) en México.

Para algunos contaminantes atmosféricos peligrosos como el benceno, los niveles a los cuales ya existe un riesgo potencial para la salud requieren mediciones del orden de partes por billón (ppb), por lo que las metodologías de muestreo y análisis deberán de seguir evolucionando hasta límites de detección menores.

Debido a la posible variación de la concentración de COVs durante el día y la noche se recomienda muestrear, en estos periodos de tiempo. Lo anterior es importante ya que generalmente durante la noche la contaminación se transporta de la tierra hacia el mar por el efecto de la brisa terrestre, mientras que durante el día se presenta el fenómeno inverso del mar hacia la tierra denominado brisa marina.

Evaluar las emisiones a la atmósfera de las distintas fuentes de contaminación atmosférica en el Golfo de México.

Al observarse un aumento en las concentraciones de COVs, se recomienda implementar y hacer más eficientes los programas de mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

Una de las fuentes de emisión de COVs en plataformas pueden ser las fugas que están presentes en los equipos de procesos (válvulas, bridas, bombas, compresores, etc. ); la cantidad de emisiones depende del tamaño de equipo, tipo de material del equipo así como la antigüedad, estado, condiciones de mantenimiento y rutina de inspección. Dependiendo de estas características se pueden o no presentar fugas de sustancias de cualquier tipo, denominadas emisiones fugitivas. Algunas sustancias tienen una presión de vapor elevada, es decir, son sustancias que se evaporan fácilmente a temperatura ambiente y que por sus propiedades, niveles de concentración y tiempo de exposición al personal, es necesario minimizarlas o controlarlas. Por lo anterior es necesario implementar un programa de mantenimiento, que tome en cuenta detección y corrección de las fugas en estas fuentes de área.

La importancia del control de emisiones de COVs radica en el potencial toxico de los compuestos estudiados que son listados por la EPA como contaminantes atmosféricos peligrosos (xilenos, tolueno, benceno, hexano), esto nos lleva a buscar una mayor eficiencia en la combustión y reducir las emisiones evaporativas.



Se recomienda realizar un inventario de emisiones en el Golfo de México conforme lo establecido por "The Minerals Management Service" (MMS) de los Estados Unidos, que es el organismo encargado del inventario de emisiones de la zona de plataformas en el norte del Golfo de México. De esta manera los inventarios que se tengan para ambos países podrán ser comparables.

La importancia de este estudio consistió en que por primera vez se proporciona información sobre la especiación los COVs presentes en atmósfera del Golfo de México, los cuales pueden tener un impacto negativo en los ecosistemas, además de que la información existente en esta zona es limitada o no se tiene.

## BIBLIOGRAFÍA.

**Antoine, W.J., 1972, Structure of the Gulf of Mexico , p.134. in: R. Rezak and J.H. Vernon. Contributions on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of the Mexico, Vol.. 3 . Texas A and M University Oceanography Studies. 303 p.**

**Arriaga-Colina, J.L. ; Jason West , J. Sosa, G; Escalona , S.S.; Ordúñez, R.M. and Cervantes, A.D.M.(2004, May) Measurements of VOCs in Mexico City (1992–2001) and evaluation of VOCs and CO in the emissions inventory Atmospheric Environment (38) 16. Pp 2523-2533**

**Atkinson, R. (2000). Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. Atmospheric Environment. 34, pp. 2063-2101.**

**Atkinson R.(1990). Gas-phase tropospheric chemistry of organic compounds: a review. Atmospheric Environment, 24A, 1-41.**

**Blass Georgina A., Panama Luz A. Corrales Deyanira 2003. Determinación de compuestos Orgánicos Volátiles (VOC) en Ambiente Laboral. Boletín abril-junio del 2003 Universidad Autónoma de Morelos.**

**Bravo, A, H.,R, Sosa E,R., F. Perrin, G. Torres J., M.I. Saavedra, R. Torres J. y R. Camacho C, 1988. Measurements of O<sub>3</sub>, Total hydrocarbon, H<sub>2</sub>S and SO<sub>2</sub> ,p. 7-20. in: F. Parungo and J. Miller (Eds), Air Chemistry Studies Over the Gulf of Mexico. NOAA Technical Memorandum ERL ESG-29, Boulder, Colorado.**

**Bravo, A, H.; Torres, R.; Sosa, R. (1992). Reactive VOC inventory for Mexico City a needed tool to design ozone control strategies. Air and Waste Management Association. 85th Annual Meeting & Exhibition . Paper # 92-165.03**

**Bravo, A, H.; Sosa, R.; Sánchez, P.; Bueno E.; González, L.(2002). Concentrations of benzene and toluene in the atmosphere of the southwestern area at the México City Metropolitan Zone. Atmospheric Environment. . 36, 3843-3849**

**Bravo, A, H.; Sosa, E. R; Sánchez, A. Pablo; Jaimes, P. Mónica (2002). La calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y recomendaciones para mejorarla considerando conceptos básicos de ingeniería ambiental. Ingeniería. Investigación y Tecnología. III (4). Pp. 185-193**

**Bravo, A, H.; Sosa, R.; Sánchez, P.; Alarcón. J, A.L.; Jaimes P.M.; Kahl J.; Ruiz B.J.; Soto,A,R.; Bueno L.E.; Gamboa A.R.; Gamboa G.M.T.; Abreu S.J. Evaluacion de la Contaminación Atmosférica en el Sur del Golfo de Mexico. Informe Técnico (SGM-07). Sección de Contaminación Ambiental, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de Ciencias del Mar y Limología. Universidad Nacional Autónoma de México, October 2003.**

**Bravo, A, H.; Sosa, R.; Sánchez, P.; Alarcón, A.L.; Jaimes P.M.; Kahl J.; Ruiz B.J.;Soto,A,R.; Bueno L.E.; Hernández P. N.; Retama A. H.; Sánchez, M. R.; Rodríguez, C. R. Evaluación de la Contaminación Atmosférica en el Sur del Golfo de México. Informe Técnico (SGM-08). Sección de Contaminación Ambiental, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de Ciencias del Mar y Limología. Universidad Nacional Autónoma de México, Junio 2004.**

**Bravo ,A, H.; Sosa E. R.; Sánchez A.P.; Alarcón J.A.L.; Jaimes P.M.; Kahl J.; Ruiz B.J. Soto A.R.; Bueno L. E.; Santacruz M.J.; Hernández N.P.; Retama H.A.; Sánchez R.M.; Rodríguez R.C.** *Evaluación de la Contaminación Atmosférica en el Sur del Golfo de México. Informe Técnico (SGM-09). Sección de Contaminación Ambiental, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de Ciencias del Mar y Limología. Universidad Nacional Autónoma de México, Diciembre 2004.*

**Bravo, A, H. Humberto; Sosa, E. R; Sánchez, A. Pablo; Santacruz. M. Jorge; Bueno ,L. Emma.(2005).** *Volatile Organic Compounds Air Quality over the Gulf of Mexico. Air and Waste Management Association. 85th Annual Meeting & Exhibition . Paper #: 05-1306*

**Bravo, A, H :, Torres R.** *Tecnología para el Control de Compuestos Orgánicos Volátiles. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Sección de Contaminación Ambiental. V congreso Nacional de Ecología Industrial .Julio 1995.*

**Botello V, Alfonso.; Rojas G, José.; Zarate L, David 1996.** Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental Diagnósticos y Tendencias. Marco Conceptual: Caracterización Ambiental del Golfo de México. Ecología, Recursos Costeros y Contaminación en el Golfo de México. Edit; Universidad Autónoma de Campeche.

**Bueno, L. Emma;** *Evaluación Temporal de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en Dos Sitios de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Tesis Maestría en Ingeniería Ambiental. UNAM. 2004.*

**Carson, R . L., 1980.** *El mar que nos rodea. Ediciones Grijalvo, S.A. Barcelona, España. 278 p*

**Carter, W.; Atkinson, R. (1987).** *An experimental study of incremental hydrocarbon reactivity. Environmental Science and Technology. 21. Pp. 670-679.*

**Carter, W. (1994).** *Development of ozone reactivity scales for Volatile Organic Compounds. J. Air and Waste Manage. Assoc. 44. pp. 881-899*

**Carranza E.,A., E.M, Gutiérrez y T. R. Rodríguez 1975.** *Unidades Morfotectónicas Continentales de las Costas Mexicanas. Anales del Inst. de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 2 (1): 81-88.*

**Chavarria Rios Romeo ( 2002).** **Presentación PEMEX Exploración y producción cantarell, plataformas de enlace proceso, bombeo y compresión.**

**Compendium Method TO-15, USEPA.** *Determination of volatile organic compounds (VOCs) in air collected-prepared canisters and analyzed by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) . U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, Research Triangle Park, NC.*

**Corchnoy, S.B.; Arey, J. and R. Atkinson (1992).** *Hydrocarbon emissions from twelve urban shade trees of the Los Angeles, California, Air Basin. Atmospheric Environment 26B(3). Pp. 339-342*

**Elliot, B.A., 1982.** *Anticyclonic rings in the Gulf of Mexico. Journal of Physical Oceanography, 12: 1292-1309.*

**Fernández E.,A., A. Gallegos y J. Zavala, 1993.** *Oceanografía Física de México zona Economica exclusiva, ciencia y desarrollo 18 (108): 24-35.*

**Fujita E.M., Watson J.G, Chow J.C., Lu Z.,(1994)** *Validation of the Mass Balance Receptor Model Applied to Hydrocarbon Source Apportionment in the Southern California Air Quality study*, *Environ. Sci. Technol.*,28, 1633-1649.

**Holland, J. (2001).** *Volatile Organic Compounds (VOC) Audit*. ManTech Environmental Technology, Inc. <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/npapsop/sop017.pdf>

**IMP.** *Instituto Mexicano del Petróleo.* [www.Imp.gob.mx/](http://www.Imp.gob.mx/) 2005.

**Jeffries H. (1996).** *Atmospheric photochemistry : The Formation of tropospheric ozono from VOCs and Nox* . [Http://airsite.unc.edu/atchemunc/Harvey\\_lib/presentations.html](http://airsite.unc.edu/atchemunc/Harvey_lib/presentations.html).

**Lee B. (1991),** *Highlights of the Clean Air Act Amendments of 1990*, *J. Air Waste Manage. Assoc*, 41:16.

**Lewis, J.K. Y S.A. Hsu, 1992.** *Mesoscale air-sea interactions related to tropica and extratropical storms the Gulf of México.* *Journal of Geophysical Research*, 97 (2): 2201-2228.

**Linch, S.A., 1954:** *Geology the Gulf of Mexico*, P. 67-86. in : *P.S. Galtsoff (ed). Gulf of Mexico : its origin, water, and Marine life fishery Bulletin of the fish states Government printing office. Washington D.C. 577 p.*

**Lugo, H,J., 1985.** *Morfoestructuras del fondo oceánico mexicano.* *Boletín. Instituto de Geografía UNAM*, 15:9-34.

**McClenny W.A., Pleil J.D., Evans G.F., Oliver K. D., Holdren M. W., Winberry W. T. (1991),** *“Canister-Based Method for Monitoring Toxic VOCs In Ambient Air”*, *J. Air Waste Manage. Assoc.* 41: 1308.

**Maeda, T.; Onodera S.; Ogino H.J (1995).** *On site monitoring of volatile organic compounds as hazardous air pollutants by gas chromatography.* *Journal of Chromatography*, A.. 710, 51-59.

**Maeda, T.; Tanabe, K.; Morita, M. (1998).** *Long-Term monitoring of hazardous Volatile Organic Air Pollutants using capillary GC-MS.* *LC-GC the Magazine of Separation Science.* 16(5). Pp. 478-486

**Method TO-14A, USEPA.** *The determination of volatile organic compounds (VOCs) in ambient air using SUMMA passivated canister sampling and gas chromatographic analysis.* U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, Research Triangle Park, NC.

**Mugica, V.; Ruiz, M.E.; Watson, J.; Chow, J. (2003a).** *Volatile aromatic compounds in Mexico City atmosphere: levels and source apportionment.* *Atmósfera.* 16, Pp. 15-28

**Mugica, A. (2003b).** *Los modelos de receptor en la gestión de la calidad del aire.* *Contaminación Atmosférica.* Leopoldo García-Colín Scherer y Juan Rubén Varela Ham. Pp. 35-67

**OSHA (Occupational safety and health Association, 2002.).** *international Chemical Safety Cards.* UNEP.

- OSHA (Occupational Safety and Health Association).** *International Chemical Safety Cards*. UNEP
- Parungo, F.P., y L. Millar (Eds.),1988.** *Air Chemistry Studies Over the Gulf of Mexico*. NOAA Technical Memorandum ERL ESG-29, Boulder, Colorado. 254 p.
- Paustenbach D.J., Jeringan J.D., Finley B.L, Ripple S, R.,Keenan R.E. (1990),** “ *The Current Practice of Health Risk Assessment; Potential Impact on standards for Toxic Air Contaminants. J. Air Waste Manage Assoc., 40:1620.*
- Ruiz, M. Esther; Arriaga, José Luis; García, Isidoro (1996)** *Determinación de compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera de la ciudad de México mediante el uso de sistemas ópticos y métodos convencionales. Atmósfera, 9, pp. 119-135*
- Scheff P.; Wadden R., Aronian P., Bates B. (1989).** *Source Fingerprints for receptor modeling of volatile organics. JAPCA 39, 4. pp469.*
- Seinfeld J.(1989)** *Urban air pollution: State of the science. Science 243 (4892) 745-652*
- Sosa ,E. Rodolfo;** *Evaluación y Control de Benceno en la Atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Tesis Doctorado.(2001).*
- STPS NOM-010-STPS-1994.** *Norma Oficial Mexicana. Relativa a condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, se almacenen o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.*
- Chow Pangtay Susana;** *Petroquímica y Sociedad. Edit: La ciencia para todos # 39. tercera impresión 2003.*
- UATMP (Urban Air Toxics Monitoring Program), 1997.** EPA-454/R-99-036. January 1999. United States Environmental Protection Agency.
- USEPA (United State Environmental Protection Agency, 1998).** *Technical Assitance Document for Sampling and analysis of ozono precursors.*
- Vidal, M. V., F. V. Vidal y A.F. Hernández, 1990.** *Atlas Oceanográfico del Golfo de México. Vol. II. Grupo de Estudios Oceanográficos. Instituto de Investigaciones Eléctricas. 2: 691 p.*
- Vallasenor, R., Magdaleno,M., Quintanar, A.,Gallardo, J.C. 2003.** *An Air Emisión Inventorry of Offshore Operations for the Exploration and Production of Petroleum by the Mexican Oil Industry. Atmospheric Environment 37 (2003) 3713-3729.*
- Wilson D.; Billings R.;** *Development of a Criteria Pollutant Emissions Inventory for Sources in the Gulf of Mexico. Septiembre 2004.*
- WHO (World Health Organization)** *Criteria used in establishing guideline values.*  
[www.euro.who.int /](http://www.euro.who.int/)

## ANEXO I

# BITÁCORA DE LAS TRES CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS DE MUESTREO DE COVs EN EL GOLFO DE MÉXICO.

CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA EN EL SUR DEL GOLFO DE MEXICO (SGM-07).								
Muestra	Cánister	Tipo	Fecha de Muestreo	Tipo de Muestreo	Inicio	Final	Estación	Observaciones
1	3404	SUMMA	23 - 24 /Nov/2002	20 horas	08:43	03:57		
2	4	SUMMA	24 - 25 /Nov/2002	20 horas	08:45	04:20		
3	6	SUMMA	25 - 26 /Nov/2002	20 horas	08:35	05:45		
4	16	SUMMA	26 - 27 /Nov/2002	20 horas	08:54	05:20		
5	14	SUMMA	27 - 28 /Nov/2002	20 horas	08:34	07:00		
6	23	SUMMA	28 - 29 /Nov/2002	20 horas	08:53	07:00		
7	22	SUMMA	29 - 30 /Nov/2002	20 horas	09:15	07:45		
8	12	SUMMA	30 /Nov/2002	10 horas	09:05	18:20		se acabó la pila, no tomo muestra V1=29.8,V2=29.5
9	11	SUMMA	30/Nov - 1 /Dic/2002	10 horas	18:40	04:21		
10	12	SUMMA	1 - 2 /Dic/2002	20 horas	08:28	06:55		Empleado nuevamente, plataformas
11	8	SUMMA	1 /Dic/2002	6 horas	15:22	21:42	POL-ALFA	muestra de plataforma
12	7	SUMMA	1 - 2 /Dic/2002	6 horas	22:30	04:30	ABKATUN-ALFA	muestra de plataforma
13	2	SUMMA	2 /Dic/2002	6 horas	05:36	11:50	AKAL-J	muestra de plataforma
14	25	SUMMA	2 /Dic/2002	6 horas	12:10	18:15	AKAL- C	muestra de plataforma
15	24	SUMMA	2 - 3 /Dic/2002	6 horas	18:40	24:40	NOHOCH-ALFA	muestra de plataforma
16	3	SUMMA	2 - 3 /Dic/2002	20 horas	09:00	07:25		
17	17	SUMMA	3 - 4 /Dic/2002	20 horas	08:15	06:00		
18	18	SUMMA	4 - 5 /Dic/2002	20 horas	08:40	06:00		
19	20	SUMMA	5 /Dic/2002	GRAB				
20	2611	SILCO CAN	5 /Dic/2002	GRAB				
21	10	SUMMA	5 - 6 /Dic/2002	10 horas	11:15	10:30		Puerto Dos Bocas
22	9	SUMMA	8 - 9 /Dic/2002	20 horas	11:20	08:05		
23	21	SUMMA	9 - 10 /Dic/2002	20 horas	08:25	07:32		
24	2612	SILCO CAN	10 - 11 /Dic/2002	20 horas	07:45	06:42		
25	2610	SILCO CAN	11 - 12 /Dic/2002	20 horas	08:19	06:30		
26	2609	SILCO CAN	12 - 13 /Dic/2002	20 horas	08:28	07:01		

**CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA EN EL SUR DEL GOLFO DE MEXICO (SGM-08).**

Muestra	Cánister	Tipo	Fecha de Muestreo	Tipo de Muestreo	Inicio	Final	Estación	Observaciones
1	2609	SUMMA	4-5 /sep/2003	22 horas	08:43	03:57		
2	2617	SUMMA	05-Sep-03	16 horas	08:45	04:20		
3	2618	SUMMA	06-Sep-03	16 horas	08:35	05:45		
4	2616	SUMMA	07-Sep-03	16 horas	08:54	05:20		
5	2605	SUMMA	08-Sep-03	16 horas	08:34	07:00		
6	2604	SUMMA	09-Sep-03	16 horas	08:53	07:00		
7	2602	SUMMA	10-Sep-03	16 horas	09:15	07:45		se cambio a las 20:00. plataforma
8	2603	SUMMA	11/Sep/2003	16 horas	09:05	18:20		se cambio a las 00:00.12-09-03 plataforma
9	2612	SUMMA	12-Sep-03	16horas	18:40	04:21		se cambio a las 20:00. plataforma
10	2613	SUMMA	12-Sep-03	12 horas	08:28	06:55		se cambio a las 12:00. plataforma
11	2614	SUMMA	13 /sep/2003	12 horas	15:22	21:42	POL-ALFA	se cambio a las 00:00.13-09-03 plataforma
12	2615	SUMMA	14-Sep-03	16 horas	22:30	04:30	ABKATUN-ALFA	se cambio a las 02:00.13-09-03 plataforma
13	2606	SUMMA	15-sep-2003	16 horas	05:36	11:50	AKAL-J	
14	2607	SUMMA	15 /sep/2003	16 horas	12:10	18:15	AKAL- C	se cambio 16:00, 15/09/03
15	2608	SUMMA	17-Sep-03	16 horas	18:40	24:40	NOHOCH- ALFA	se cambio 16:00, 16/09/03
16	2611	SUMMA	18-Sep-03	16 horas	09:00	07:25		
17	Cenica#4	SUMMA	19-Sep-03	16 horas	12:00	08:00		se quedo en el buque muestreando.
18	Cenica#6	SUMMA	20-Sep-03	16 horas	08:00	08:00		se muestreo a 12 pm,
19	Cenica#5	SUMMA	21-sep-03	16 horas	08:00	08:00		salio el barco por mal tiempo
20	Cenica#24	SILCO CAN	22-sep-03	16 horas	08:00	08:00		
21	Cenica#14	SUMMA	23-sep-03	16 horas	08:00	08:00		
22	Cenica#25	SUMMA	24-Sep-03	16 horas	08:00	08:00		
23	2598	SUMMA	25-Sep-03	16 horas	08:00	08:00		
24	cenica#7	SILCO CAN	26-Sep-03	16 horas	08:00	08:00		
25	2596	SILCO CAN	27-Sep-04	16 horas	08:00	08:00		
26	cenica# 3	SILCO CAN	28-Sep-03	16 horas	08:00	08:00		
27	cenica# 20	SILCO CAN	29-Sep-03	16 horas	08:00	08:00		
28	cenica# 30	SILCO CAN	06-Oct-03	16 horas	08:00	08:00		
29	2593	SILCO CAN	06-Oct-03	instantaneo	14:40	14:43		se tomaron muestra en la Chimenea del Barco
30	2597	SILCO CAN	06-Oct-03	instantaneo	14:44	14:47		se tomaron muestra en la Chimenea del Barco
31	2599	SILCO CAN	06-Oct-03	instantaneo	14:48	14:51		se tomaron muestra en la Chimenea del Barco
32	2595	SILCO CAN	07-Oct-03	16 horas	08:00	08:00		



CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA EN EL SUR DEL GOLFO DE MEXICO (SGM-09).								
Muestra	Cánister	Tipo	Fecha de Muestreo	Tiempo de Muestreo	Inicio	Final	Estación	Observaciones
1	2595	SILCO CAN	12-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
2	2596	SILCO CAN	13-May-04	10 Horas	08:00	18:00		
3	2597	SILCO CAN	14-May-04	9 Horas	08:00	17:00		
4	2616	SUMMA	15-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
5	2598	SUMMA	16-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
6	2599	SILCO CAN	17-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
7	2604	SUMMA	18-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
8	2605	SUMMA	19-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
9	2600	SUMMA	20-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
10	2601	SUMMA	21-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
11	2602	SUMMA	22-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
12	2603	SUMMA	23-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
13	2617	SUMMA	24-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
14	2606	SUMMA	23-May-04		17:00			Instantaneos
15	2608	SUMMA	24-May-04		06:00			Instantaneos
16	2618	silicon	26-May-04	10 Horas	08:00	18:00		
17	2610	SUMMA	27-May-04	8 Horas	08:00	16:00		muestreo de plataforma ABKATUN-ALFA
18	2609	SUMMA	27-May-04	14 Horas	18:00	08:00		muestreo de plataforma ABKATUN-ALFA
19	Arderson sample #1	etiqueta negra	28-May-04	8 Horas	08:00	20:00		muestreo de plataforma ABKATUN-ALFA
20	Arderson sample #2	etiqueta negra	28-May-04	8 Horas	20:00	08:00		muestreo de plataforma ABKATUN-ALFA
21	3404	graseby	29-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
22	Cenica 3	SILCO CAN	30-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
23	anderson instrumen	etiqueta Plateada	31-May-04	8 Horas	08:00	16:00		
24	Cenica 31	SILCO CAN	01-Jun-04	8 Horas	08:00	16:00		
25	Cenica 21	SILCO CAN	02-Jun-04	8 Horas	08:00	16:00		
26	Cenica 20	SILCO CAN	03-Jun-04	8 Horas	08:00	16:00		
27	W&A		04-Jun-04	8 Horas	08:00	16:00		
28	Cenica 5	SUMMA	05-Jun-04	8 Horas	08:00	16:00		
29	2612	SUMMA	06-Jun-04	8 Horas	08:00	16:00		

**ANEXO II**

**TABLA DE LOS RESULTADOS DE LAS  
CONCENTRACIONES DE LAS TRES  
CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS EN EL  
GOLFO DE MÉXICO**

### Datos del Golfo de México 2002 SGM-7 Concentración ppb.

<i>Fecha</i>	<i>23-24-nov-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>23-24-nov-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>24-25-nov-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>24-25-nov-02</i>
<i>Canisters</i>	<i>3404</i>	<i>Canisters</i>	<i>3404</i>	<i>Canisters</i>	<i>4</i>	<i>Canisters</i>	<i>4</i>
Etano	1.065	Propano	1.354	Propano	1.719	Propano	1.887
Propano	1.012	Tolueno	1.175	Etano	1.154	Tolueno	1.280
Hexano	0.383	Etano	0.870	Tolueno	1.137	Etano	1.057
Butano	0.270	o-Xileno	0.828	o-Xileno	0.715	Hexano	0.657
Tolueno	0.195	Hexano	0.491	Nonano	0.709	Nonano	0.522
Propileno		Nonano	0.323	Hexano	0.647	Butano	0.477
Acetileno		Butano	0.258	Butano	0.460	o-Xileno	0.327
Pentano		Octano	0.252	Octano	0.268	Acetileno	0.235
Heptano		Acetileno	0.133	Benceno	0.174	Octano	0.209
Benceno		Benceno	0.082	Acetileno	0.102	Benceno	0.139
Octano		Heptano	0.047	Heptano	0.027	Heptano	0.033
Nonano		Propileno		Propileno		Propileno	
o-Xileno		Pentano		Pentano		Pentano	

<i>Fecha</i>	<i>25-26-nov-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>25-26-nov-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>26-27-nov-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>26-27-nov-02</i>
<i>Canisters</i>	<i>6</i>	<i>Canisters</i>	<i>6</i>	<i>Canisters</i>	<i>16</i>	<i>Canisters</i>	<i>16</i>
Propano	1.964	Propano	2.088	Propano	2.787	Propano	3.344
Tolueno	1.354	Tolueno	1.319	Etano	1.565	Etano	1.413
Etano	0.860	Etano	0.998	Tolueno	1.128	Tolueno	0.997
Nonano	0.680	Nonano	0.484	Butano	0.712	Butano	0.988
Hexano	0.552	Butano	0.481	Nonano	0.634	Hexano	0.424
Butano	0.460	Hexano	0.443	Hexano	0.481	Nonano	0.386
o-Xileno	0.420	o-Xileno	0.270	o-Xileno	0.374	Acetileno	0.325
Octano	0.284	Octano	0.244	Acetileno	0.307	Octano	0.202
Acetileno	0.279	Acetileno	0.222	Octano	0.259	o-Xileno	0.181
Heptano	0.112	Benceno	0.114	Heptano	0.107	Benceno	0.059
Propileno	0.084	Heptano	0.100	Benceno	0.089	Heptano	0.057
Benceno	0.069	Propileno		Propileno		Propileno	
Pentano		Pentano		Pentano		Pentano	

<i>Fecha</i>	<i>27-28-nov-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>27-28-nov-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>28-29-nov-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>28-29-nov-02</i>
<i>Canister</i>	<i>14</i>	<i>Canister</i>	<i>14</i>	<i>Canister</i>	<i>23</i>	<i>Canister</i>	<i>23</i>
Propano	3.612	Propano	3.145	Propano	3.264	Propano	2.541
Tolueno	1.335	Tolueno	1.277	Etano	1.241	Tolueno	1.083
Etano	1.161	Etano	1.118	Tolueno	1.159	Etano	0.995
Butano	0.869	Butano	0.628	Butano	0.778	Butano	0.484
Nonano	0.584	Nonano	0.497	Nonano	0.468	Benceno	0.313
Acetileno	0.428	Hexano	0.394	Hexano	0.338	Nonano	0.275
Hexano	0.422	Acetileno	0.257	Benceno	0.310	Hexano	0.243
o-Xileno	0.198	Octano	0.222	Acetileno	0.190	Octano	0.124
Octano	0.186	Benceno	0.089	Octano	0.104	Acetileno	0.108
Benceno	0.132	Heptano	0.020	o-Xileno	0.039	Heptano	0.069
Heptano	0.109	o-Xileno	0.019	Heptano	0.024	Propileno	
Propileno	0.076	Propileno		Propileno		Pentano	
Pentano		Pentano		Pentano		o-Xileno	

### Datos del Golfo de México 2002 SGM-7 Concentración ppb

<i>Fecha</i>	<i>29-30-nov-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>29-30-nov-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>30 nov-1 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>30 nov-1 dic-02</i>
<i>Canisters</i>	<i>11</i>	<i>Canisters</i>	<i>11</i>	<i>Canisters</i>	<i>22</i>	<i>Canisters</i>	<i>22</i>
Propano	3.626	Propano	3.081	Propano	2.387	Propano	1.693
Etano	2.351	Etano	2.288	Etano	1.385	Etano	1.328
Butano	1.491	Butano	1.276	Tolueno	0.902	Tolueno	0.721
Hexano	1.184	Hexano	0.999	Butano	0.507	Butano	0.231
Tolueno	0.938	Tolueno	0.724	Nonano	0.323	Nonano	0.180
Acetileno	0.506	Acetileno	0.286	Hexano	0.190	Hexano	0.169
Heptano	0.025	Benceno	0.004	Octano	0.136	Octano	0.146
Benceno	0.008	Propileno		Benceno	0.116	Propileno	0.080
Propileno		Pentano		Acetileno	0.029	Acetileno	0.079
Pentano		Heptano		Propileno		Benceno	0.045
Octano		Octano		Pentano		Pentano	
Nonano		Nonano		Heptano		Heptano	
o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno	

<i>Fecha</i>	<i>1-2 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>1-2 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>01-Dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>01-Dic-02</i>
<i>Canisters</i>	<i>12</i>	<i>Canisters</i>	<i>12</i>	<i>Canisters</i>	<i>8</i>	<i>Canisters</i>	<i>8</i>
Propano	1.647	Propano	1.387	Tolueno	2.330	Hexano	2.870
Etano	1.598	Etano	1.157	Propano	2.263	Butano	2.867
Tolueno	0.653	Tolueno	0.493	Hexano	1.079	Acetileno	1.799
Butano	0.301	Butano	0.302	Etano	0.607	Tolueno	1.222
Acetileno	0.206	Hexano	0.168	Butano	0.498	Etano	1.036
Nonano	0.196	Nonano	0.158	Acetileno	0.299	Benceno	0.270
Hexano	0.177	Acetileno	0.145	Benceno	0.032	Propileno	0.252
Octano	0.098	Octano	0.079	Propileno		Heptano	0.150
Heptano	0.047	Propileno		Pentano		Propano	
Benceno	0.001	Pentano		Heptano		Pentano	
Propileno		Heptano		Octano		Octano	
Pentano		Benceno		Nonano		Nonano	
o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno	

<i>Fecha</i>	<i>1-2 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>1-2 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>02-Dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>02-Dic-02</i>
<i>Canisters</i>	<i>7</i>	<i>Canisters</i>	<i>7</i>	<i>Canisters</i>	<i>2</i>	<i>Canisters</i>	<i>25</i>
Propano	1.929	Hexano	2.666	Propano	0.102	Tolueno	2.767
Tolueno	1.437	Tolueno	2.488	Butano	0.009	Propano	2.450
Etano	1.003	Butano	1.883	Etano		Hexano	1.088
Hexano	0.862	Acetileno	1.221	Propileno		Butano	0.913
Butano	0.626	Etano	0.918	Acetileno		Etano	0.795
Acetileno	0.074	Benceno	0.248	Pentano		Acetileno	0.254
Heptano	0.000	Heptano	0.203	Hexano		Octano	0.154
Propileno		Propileno	0.023	Heptano		Heptano	0.131
Pentano		Octano	0.016	Benceno		Benceno	0.090
Benceno		Propano		Octano		Propileno	
Octano		Pentano		Tolueno		Pentano	
Nonano		Nonano		Nonano		Nonano	
o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno	

### Datos del Golfo de México 2002 SGM-7 Concentración ppb.

<i>Fecha</i>	<i>02-Dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>2-3 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>2-3 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>3-4 dic-02</i>
<i>Canisters</i>	<i>25</i>	<i>Canisters</i>	<i>3</i>	<i>Canisters</i>	<i>3</i>	<i>Canisters</i>	<i>17</i>
Tolueno	3.359	Etano	1.736	Etano	1.517	Etano	1.396
Butano	3.345	Propano	1.445	Propano	1.326	Propano	1.223
Hexano	2.296	Tolueno	0.396	Tolueno	0.502	Tolueno	0.353
Acetileno	2.136	Butano	0.292	Butano	0.294	Butano	0.259
Etano	1.467	Nonano	0.248	Nonano	0.273	Hexano	0.109
Benceno	0.322	Acetileno	0.107	Hexano	0.142	Acetileno	0.074
Propileno	0.237	Octano	0.086	Acetileno	0.091	Heptano	0.068
Heptano	0.199	Benceno	0.015	Octano	0.044	Octano	0.026
Octano	0.063	Propileno		Propileno		Nonano	0.013
Propano		Pentano		Pentano		Propileno	
Pentano		Hexano		Heptano		Pentano	
Nonano		Heptano		Benceno		Benceno	
o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno	

<i>Fecha</i>	<i>3-4 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>4-5 dic -02</i>	<i>Fecha</i>	<i>4-5 dic -02</i>	<i>Fecha</i>	<i>05-Dic-02</i>
<i>Canisters</i>	<i>17</i>	<i>Canisters</i>	<i>18</i>	<i>Canisters</i>	<i>18</i>	<i>Canisters</i>	<i>20</i>
Etano	1.306	Propano	5.778	Propano	5.380	Propano	6.166
Propano	1.261	Hexano	3.628	Hexano	3.519	Tolueno	2.672
Tolueno	0.493	Butano	1.885	Butano	1.738	Butano	1.546
Butano	0.252	Tolueno	1.354	Tolueno	1.511	Etano	1.385
Nonano	0.223	Etano	1.330	Etano	1.269	Hexano	1.140
Hexano	0.125	Acetileno	0.783	Acetileno	0.744	Acetileno	0.926
Acetileno	0.118	Benceno	0.176	Benceno	0.158	Nonano	0.418
Benceno	0.024	Heptano	0.067	Heptano	0.073	Octano	0.206
Octano	0.003	Nonano	0.029	Nonano	0.041	Benceno	0.150
Propileno		Propileno		Propileno		Heptano	0.117
Pentano		Pentano		Pentano		o-Xileno	0.087
Heptano		Octano		Octano		Propileno	0.032
o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno		Pentano	

<i>Fecha</i>	<i>05-Dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>05-Dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>05-Dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>5-6 dic-02</i>
<i>Canisters</i>	<i>20</i>	<i>Canisters</i>	<i>2611</i>	<i>Canisters</i>	<i>2611</i>	<i>Canisters</i>	<i>10</i>
Propano	3.069	Butano	4.067	Etano	0.917	Etano	1.984
Tolueno	1.596	Acetileno	2.144	Tolueno	0.864	Propano	1.612
Etano	1.179	Propileno	1.956	Nonano	0.743	Nonano	0.909
Butano	0.727	Hexano	1.839	Hexano	0.555	Hexano	0.900
Hexano	0.564	Nonano	1.690	Propano	0.532	Tolueno	0.757
Acetileno	0.312	Benceno	1.467	Butano	0.132	Butano	0.509
Heptano	0.023	o-Xileno	1.455	Acetileno	0.073	Benceno	0.137
Propileno		Octano	1.162	Propileno		Acetileno	0.089
Pentano		Etano	1.027	Pentano		Octano	0.034
Benceno		Propano	0.971	Heptano		Heptano	0.018
Octano		Heptano	0.342	Benceno		Propileno	
Nonano		Pentano		Octano		Pentano	
o-Xileno		Tolueno		o-Xileno		o-Xileno	

### Datos del Golfo de México 2002 SGM-7 Concentración ppb

<i>Fecha</i>	<i>5-6 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>8-9 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>8-9 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>9-10 dic-02</i>
<i>Canisters</i>	<i>10</i>	<i>Canisters</i>	<i>9</i>	<i>Canisters</i>	<i>9</i>	<i>Canisters</i>	<i>21</i>
Etano	1.721	Etano	2.004	Etano	1.749	Etano	2.045
Propano	1.332	Propano	1.356	Propano	1.120	Propano	1.617
Propileno	1.302	Tolueno	0.511	Butano	0.305	Benceno	1.301
Hexano	1.068	Hexano	0.490	Hexano	0.302	Butano	0.590
Nonano	0.778	Butano	0.352	Tolueno	0.238	Tolueno	0.507
Tolueno	0.593	Nonano	0.197	Acetileno	0.008	Hexano	0.400
Butano	0.455	Acetileno	0.080	Propileno		Acetileno	0.014
Benceno	0.105	Propileno		Pentano		Propileno	
Acetileno	0.089	Pentano		Heptano		Pentano	
Pentano		Heptano		Benceno		Heptano	
Heptano		Benceno		Octano		Octano	
Octano		Octano		Nonano		Nonano	
o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno	

<i>Fecha</i>	<i>9-10 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>10-11 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>10-11 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>11-12 dic-02</i>
<i>Canisters</i>	<i>21</i>	<i>Canisters</i>	<i>2612</i>	<i>Canisters</i>	<i>2612</i>	<i>Canisters</i>	<i>2610</i>
Etano	1.867	Etano	3.713	Etano	3.496	Etano	3.282
Propano	1.432	Propano	2.699	Propano	2.489	Propano	2.230
Benceno	1.266	Butano	0.901	Butano	0.776	Butano	0.637
Butano	0.493	Hexano	0.416	Hexano	0.372	Hexano	0.426
Tolueno	0.427	Acetileno	0.217	Acetileno	0.174	Acetileno	0.162
Hexano	0.363	Tolueno	0.124	Propileno	0.031	Tolueno	0.057
Propileno		Benceno	0.084	Pentano		Propileno	
Acetileno		Propileno		Heptano		Pentano	
Pentano		Pentano		Benceno		Heptano	
Heptano		Heptano		Octano		Benceno	
Octano		Octano		Tolueno		Octano	
Nonano		Nonano		Nonano		Nonano	
o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno	

<i>Fecha</i>	<i>11-12 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>12-13 dic-02</i>	<i>Fecha</i>	<i>12-13 dic-02</i>
<i>Canisters</i>	<i>2610</i>	<i>Canisters</i>	<i>2609</i>	<i>Canisters</i>	<i>2609</i>
Etano	2.838	Etano	6.447	Etano	5.927
Propano	2.218	Propano	5.162	Propano	4.925
Butano	0.611	Butano	1.794	Pentano	4.464
Hexano	0.436	Hexano	0.559	Benceno	3.508
Acetileno	0.240	Acetileno	0.492	Butano	1.630
Tolueno	0.068	Tolueno	0.134	Hexano	0.484
Propileno		Benceno	0.044	Acetileno	0.451
Pentano		Propileno		Tolueno	0.189
Heptano		Pentano		Propileno	
Benceno		Heptano		Heptano	
Octano		Octano		Octano	
Nonano		Nonano		Nonano	
o-Xileno		o-Xileno		o-Xileno	

**Datos del Golfo de México 2003 SGM-8 Concentración ppb.**

<i>Fecha</i>	<i>04-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>05-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>06-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>07-Sep-03</i>
<i>Canisters</i>	<i>2609</i>	<i>Canisters</i>	<i>2617</i>	<i>Canisters</i>	<i>2618</i>	<i>Canisters</i>	<i>2616</i>
PROPANO	7.683	o-XILENO	1.279	PROPANO	22.273	PROPANO	17.626
BUTANO	2.963	PROPANO	1.018	BUTANO	8.249	BUTANO	6.427
ETANO	2.366	ETANO	0.724	ACETILENO	4.254	TOLUENO	4.326
ACETILENO	2.019	TOLUENO	0.621	TOLUENO	3.858	HEXANO	4.051
TOLUENO	1.715	BUTANO	0.406	HEXANO	3.330	ACETILENO	3.220
HEXANO	1.421	ACETILENO	0.323	ETANO	2.470	ETANO	1.962
PENTANO	0.814	NONANO	0.248	PENTANO	2.230	PENTANO	1.538
o-XILENO	0.687	HEXANO	0.233	o-XILENO	1.527	o-XILENO	1.376
PROPILENO	0.572	PENTANO	0.132	BENCENO	0.424	BENCENO	0.382
BENCENO	0.232	BENCENO	0.080	HEPTANO	0.279	HEPTANO	0.261
HEPTANO	0.187	OCTANO	0.066	OCTANO	0.108	NONANO	0.188
NONANO	0.097	PROPILENO	0.065	PROPILENO	0.047	OCTANO	0.097
OCTANO	0.060	HEPTANO	0.028	NONANO	0.019	PROPILENO	0.082

<i>Fecha</i>	<i>07-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>08-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>09-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>10-Sep-03</i>
<i>Canisters</i>	<i>2616</i>	<i>Canisters</i>	<i>2605</i>	<i>Canisters</i>	<i>2604</i>	<i>Canisters</i>	<i>2602</i>
PROPANO	17.626	PROPANO	20.196	PROPANO	19.173	TOLUENO	4.326
BUTANO	6.427	BUTANO	7.977	BUTANO	7.540	PROPILENO	1.204
TOLUENO	4.326	ACETILENO	6.272	ACETILENO	5.486	PROPANO	19.200
HEXANO	4.051	TOLUENO	5.347	TOLUENO	4.535	PENTANO	2.425
ACETILENO	3.220	HEXANO	5.297	HEXANO	4.088	o-XILENO	1.111
ETANO	1.962	ETANO	2.839	ETANO	3.172	OCTANO	0.084
PENTANO	1.538	PENTANO	2.391	PENTANO	2.221	NONANO	0.012
o-XILENO	1.376	PROPILENO	1.613	o-XILENO	1.424	HEXANO	3.710
BENCENO	0.382	o-XILENO	1.542	BENCENO	0.455	HEPTANO	0.374
HEPTANO	0.261	BENCENO	0.658	HEPTANO	0.280	ETANO	2.139
NONANO	0.188	HEPTANO	0.383	OCTANO	0.096	BUTANO	7.260
OCTANO	0.097	NONANO	0.296	PROPILENO	0.059	BENCENO	0.472
PROPILENO	0.082	OCTANO	0.134	NONANO	0.058	ACETILENO	6.232

<i>Fecha</i>	<i>11-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>12-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>12-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>13-Sep-03</i>
<i>Canisters</i>	<i>2603</i>	<i>Canisters</i>	<i>2613</i>	<i>Canisters</i>	<i>2612</i>	<i>Canisters</i>	<i>2614</i>
PROPANO	0.541	o-XILENO	10.217	PROPANO	18.709	PROPANO	7.734
ETANO	0.362	PROPANO	5.601	BUTANO	7.511	o-XILENO	4.015
TOLUENO	0.298	TOLUENO	2.787	TOLUENO	5.364	BUTANO	3.095
ACETILENO	0.273	NONANO	2.681	ACETILENO	5.162	TOLUENO	2.912
BUTANO	0.232	BUTANO	2.239	HEXANO	5.047	ETANO	2.657
o-XILENO	0.225	ETANO	1.774	ETANO	3.186	ACETILENO	2.220
HEXANO	0.083	ACETILENO	1.586	PENTANO	2.209	HEXANO	1.531
BENCENO	0.046	HEXANO	0.762	PROPILENO	1.176	PENTANO	0.870
PENTANO	0.046	PENTANO	0.628	o-XILENO	0.969	PROPILENO	0.705
PROPILENO	0.022	PROPILENO	0.448	BENCENO	0.543	NONANO	0.624
NONANO	0.018	OCTANO	0.361	HEPTANO	0.336	BENCENO	0.273
HEPTANO	0.013	BENCENO	0.215	OCTANO	0.063	HEPTANO	0.177
OCTANO	0.012	HEPTANO	0.140	NONANO	0.054	OCTANO	0.072

### Datos del Golfo de México 2003 SGM-8 Concentración ppb.

<i>Fecha</i>	<i>14-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>15-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>15-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>17-Sep-03</i>
<i>Canisters</i>	<i>2615</i>	<i>Canisters</i>	<i>2606</i>	<i>Canisters</i>	<i>2607</i>	<i>Canisters</i>	<i>2608</i>
o-XILENO	1.953	o-XILENO	1.299	o-XILENO	1.221	PROPANO	1.254
TOLUENO	0.720	ETANO	0.842	ETANO	0.763	ETANO	1.184
ETANO	0.446	TOLUENO	0.448	PROPANO	0.414	o-XILENO	1.024
PROPANO	0.345	PROPANO	0.444	TOLUENO	0.280	BUTANO	0.509
ACETILENO	0.262	NONANO	0.234	BUTANO	0.223	TOLUENO	0.359
NONANO	0.213	BUTANO	0.233	ACETILENO	0.171	ACETILENO	0.357
BUTANO	0.120	ACETILENO	0.222	NONANO	0.139	HEXANO	0.249
HEXANO	0.096	PENTANO	0.111	HEXANO	0.092	PENTANO	0.208
BENCENO	0.041	HEXANO	0.073	PENTANO	0.080	NONANO	0.091
PROPILENO	0.038	BENCENO	0.070	PROPILENO	0.063	BENCENO	0.058
PENTANO	0.027	PROPILENO	0.044	BENCENO	0.044	OCTANO	0.045
HEPTANO	0.025	HEPTANO	0.039	OCTANO	0.027	PROPILENO	0.010
OCTANO	0.000	OCTANO	0.031	HEPTANO	0.013	HEPTANO	0.007

<i>Fecha</i>	<i>19-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>20-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>21-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>22-Sep-03</i>
<i>Canisters</i>	<i>cenica 4</i>	<i>Canisters</i>	<i>cenica 6</i>	<i>Canisters</i>	<i>cenica 5</i>	<i>Canisters</i>	<i>cenica 24</i>
HEXANO	206.297	PROPILENO	2.239	PROPANO	14.955	HEXANO	22.002
PROPANO	12.081	ETANO	1.663	BUTANO	5.690	o-XILENO	9.537
TOLUENO	5.176	PROPANO	1.580	TOLUENO	5.294	PROPANO	7.940
BUTANO	4.180	HEXANO	1.339	HEXANO	5.150	BUTANO	5.454
ETANO	2.677	BUTANO	0.802	o-XILENO	4.280	PENTANO	3.237
ACETILENO	1.213	NONANO	0.782	ACETILENO	2.013	PROPILENO	3.081
PENTANO	0.678	o-XILENO	0.555	ETANO	1.796	ETANO	2.635
PROPILENO	0.599	TOLUENO	0.528	PENTANO	1.098	TOLUENO	1.464
NONANO	0.346	ACETILENO	0.349	PROPILENO	0.910	NONANO	1.144
o-XILENO	0.310	PENTANO	0.257	NONANO	0.747	BENCENO	1.126
BENCENO	0.263	OCTANO	0.144	BENCENO	0.465	HEPTANO	0.908
HEPTANO	0.169	BENCENO	0.100	HEPTANO	0.247	ACETILENO	0.639
OCTANO	0.127	HEPTANO	0.057	OCTANO	0.242	OCTANO	0.601

<i>Fecha</i>	<i>23-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>24-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>25-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>26-Sep-03</i>
<i>Canisters</i>	<i>cenica 14</i>	<i>Canisters</i>	<i>cenica 25</i>	<i>Canisters</i>	<i>2598</i>	<i>Canisters</i>	<i>cenica 7</i>
BENCENO	2.433	o-XILENO	11.980	HEXANO	41.622	BENCENO	1.639
PROPILENO	1.278	HEXANO	2.595	PROPANO	8.171	ETANO	1.422
TOLUENO	0.520	PROPANO	2.005	BUTANO	3.462	PROPANO	1.414
PROPANO	0.445	TOLUENO	1.714	ETANO	3.174	PROPILENO	1.408
ETANO	0.364	ETANO	1.662	o-XILENO	3.163	TOLUENO	0.808
BUTANO	0.311	BUTANO	1.248	TOLUENO	2.250	BUTANO	0.795
HEXANO	0.181	PROPILENO	1.170	PENTANO	0.872	HEXANO	0.639
o-XILENO	0.160	PENTANO	0.722	ACETILENO	0.766	o-XILENO	0.458
ACETILENO	0.150	HEPTANO	0.693	NONANO	0.438	PENTANO	0.352
NONANO	0.110	OCTANO	0.590	BENCENO	0.211	ACETILENO	0.203
PENTANO	0.086	NONANO	0.575	OCTANO	0.162	NONANO	0.186
HEPTANO	0.044	BENCENO	0.482	HEPTANO	0.154	OCTANO	0.160
OCTANO	0.039	ACETILENO	0.284	PROPILENO	0.022	HEPTANO	0.130



**Datos del Golfo de México 2003 SGM-8 Concentración ppb.**

<i>Fecha</i>	<i>27-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>28-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>29-Sep-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>06-Oct-03</i>
<i>Canisters</i>	<i>2596</i>	<i>Canisters</i>	<i>cenica 3</i>	<i>Canisters</i>	<i>cenica 20</i>	<i>Canisters</i>	<i>cenica 30</i>
PROPANO	8.441	TOLUENO	2.209	PROPANO	11.557	o-XILENO	14.090
ETANO	8.120	PROPANO	1.725	o-XILENO	6.081	PROPANO	2.454
BUTANO	3.280	ETANO	1.071	BUTANO	3.719	PROPILENO	2.305
HEXANO	2.104	BUTANO	0.615	PROPILENO	3.255	TOLUENO	1.778
PROPILENO	2.054	NONANO	0.511	ACETILENO	1.536	HEXANO	1.679
TOLUENO	1.862	HEXANO	0.481	HEPTANO	1.503	ETANO	1.286
PENTANO	1.241	o-XILENO	0.374	BENCENO	1.216	NONANO	0.832
o-XILENO	0.521	ACETILENO	0.254	TOLUENO	1.205	BUTANO	0.797
ACETILENO	0.495	PROPILENO	0.218	ETANO	0.923	BENCENO	0.661
BENCENO	0.287	BENCENO	0.128	OCTANO	0.620	ACETILENO	0.391
NONANO	0.229	PENTANO	0.124	NONANO	0.454	PENTANO	0.333
HEPTANO	0.133	OCTANO	0.109	PENTANO	0.443	HEPTANO	0.318
OCTANO	0.116	HEPTANO	0.091	HEXANO	0.000	OCTANO	0.127

<i>Fecha</i>	<i>06-Oct-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>06-Oct-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>06-Oct-03</i>	<i>Fecha</i>	<i>07-Oct-03</i>
<i>Canisters</i>	<i>2599</i>	<i>Canisters</i>	<i>2597</i>	<i>Canisters</i>	<i>2593</i>	<i>Canisters</i>	<i>2595</i>
TOLUENO	3.182	OCTANO	44.638	PROPANO	4.414	TOLUENO	1.644
PROPANO	2.259	ACETILENO	8.596	TOLUENO	4.286	PROPANO	1.487
ACETILENO	2.160	HEXANO	5.944	ACETILENO	2.614	ETANO	0.682
NONANO	1.686	ETANO	2.741	NONANO	2.525	BUTANO	0.575
ETANO	1.304	TOLUENO	2.482	o-XILENO	2.497	o-XILENO	0.476
o-XILENO	1.000	PROPILENO	2.451	BUTANO	1.862	HEXANO	0.360
PROPILENO	0.904	PROPANO	1.443	HEXANO	1.561	NONANO	0.339
HEXANO	0.846	o-XILENO	0.801	ETANO	1.353	ACETILENO	0.287
BUTANO	0.748	BENCENO	0.653	PROPILENO	0.994	PROPILENO	0.171
OCTANO	0.335	BUTANO	0.572	PENTANO	0.809	PENTANO	0.136
BENCENO	0.209	NONANO	0.216	OCTANO	0.484	OCTANO	0.094
PENTANO	0.161	PENTANO	0.200	BENCENO	0.336	HEPTANO	0.074
HEPTANO	0.130	HEPTANO	0.164	HEPTANO	0.230	BENCENO	0.065

### Datos del Golfo de México 2004 SGM-9 Concentración ppb.

Fecha	12-May-04	Fecha	12-May-04	Fecha	13-May-04	Fecha	13-May-04
Canisters	2595	Canisters	2595	Canisters	2596	Canisters	2596
PROPANO	6.547	PROPANO	6.912	PROPANO	6.793	PROPANO	7.389
TOLUENO	2.898	BUTANO	2.677	BUTANO	2.368	BUTANO	2.531
BUTANO	2.800	ETANO	2.608	TOLUENO	1.976	TOLUENO	2.249
ETANO	2.701	TOLUENO	2.424	ETANO	1.636	ACETILENO	1.414
ACETILENO	1.797	ACETILENO	1.771	ACETILENO	1.530	ETANO	1.297
HEXANO	1.050	HEXANO	0.975	HEXANO	1.068	HEXANO	1.236
PENTANO	0.920	PENTANO	0.804	PENTANO	0.624	PENTANO	0.649
o-XILENO	0.648	PROPILENO	0.539	PROPILENO	0.416	PROPILENO	0.374
PROPILENO	0.608	o-XILENO	0.374	BENCENO	0.256	BENCENO	0.198
BENCENO	0.477	BENCENO	0.306	o-XILENO	0.167	o-XILENO	0.192
HEPTANO	0.182	HEPTANO	0.123	HEPTANO	0.087	HEPTANO	0.055
OCTANO	0.079	OCTANO	0.094	OCTANO	0.034	OCTANO	0.030
NONANO	0.066	NONANO	0.081	NONANO	0.034	NONANO	0.002

Fecha	14-May-04	Fecha	14-May-04	Fecha	15-May-04	Fecha	16-May-04
Canisters	2597	Canisters	2597	Canisters	2616	Canisters	2598
PROPANO	8.081	PROPANO	11.263	PROPANO	122.408	PROPANO	26.984
BUTANO	2.793	BUTANO	3.823	BUTANO	54.630	BUTANO	12.999
TOLUENO	2.052	TOLUENO	2.166	ACETILENO	19.083	ACETILENO	3.805
ETANO	1.768	ETANO	1.669	HEXANO	11.088	ETANO	3.042
HEXANO	1.314	HEXANO	1.451	TOLUENO	10.875	TOLUENO	2.034
ACETILENO	1.279	ACETILENO	1.413	ETANO	9.760	PROPILENO	1.922
PENTANO	0.658	PENTANO	0.684	PROPILENO	8.575	PENTANO	1.441
PROPILENO	0.351	PROPILENO	0.380	PENTANO	7.211	HEXANO	0.907
o-XILENO	0.226	o-XILENO	0.272	BENCENO	2.224	BENCENO	0.537
BENCENO	0.198	BENCENO	0.241	o-XILENO	1.624	o-XILENO	0.515
HEPTANO	0.048	HEPTANO	0.073	HEPTANO	0.945	NONANO	0.296
OCTANO	0.013	NONANO	0.060	NONANO	0.501	OCTANO	0.152
NONANO	0.002	OCTANO	0.018	OCTANO	0.453	HEPTANO	0.128

Fecha	17-May-04	Fecha	18-May-04	Fecha	19-May-04	Fecha	20-May-04
Canisters	2599	Canisters	2604	Canisters	2605	Canisters	2600
PROPANO	7.191	PROPANO	7.533	PROPANO	103.398	PROPANO	8.689
BUTANO	3.282	BUTANO	3.525	BUTANO	42.987	BUTANO	3.225
ETANO	1.763	TOLUENO	3.106	ACETILENO	24.420	TOLUENO	2.822
ACETILENO	1.381	ETANO	1.521	TOLUENO	17.114	ACETILENO	1.781
TOLUENO	1.154	ACETILENO	1.307	PENTANO	10.271	ETANO	1.573
PROPILENO	0.602	PENTANO	0.946	ETANO	9.739	HEXANO	0.877
PENTANO	0.517	HEXANO	0.894	HEXANO	9.664	PENTANO	0.747
o-XILENO	0.387	o-XILENO	0.559	PROPILENO	5.736	o-XILENO	0.442
BENCENO	0.302	PROPILENO	0.498	BENCENO	2.720	BENCENO	0.422
HEXANO	0.289	BENCENO	0.479	o-XILENO	1.829	NONANO	0.230
NONANO	0.218	HEPTANO	0.141	HEPTANO	0.886	PROPILENO	0.158
HEPTANO	0.164	OCTANO	0.108	NONANO	0.465	HEPTANO	0.146
OCTANO	0.116	NONANO	0.052	OCTANO	0.307	OCTANO	0.094

### Datos del Golfo de México 2004 SGM-9 Concentración ppb.

<i>Fecha</i>	<i>21-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>22-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>23-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>24-May-04</i>
<i>Canisters</i>	<i>2601</i>	<i>Canisters</i>	<i>2602</i>	<i>Canisters</i>	<i>2603</i>	<i>Canisters</i>	<i>2617</i>
PROPANO	4.277	PROPANO	16.162	PROPANO	47.359	PROPANO	7.129
ETANO	2.027	BUTANO	6.226	BUTANO	18.230	ETANO	3.923
TOLUENO	1.772	TOLUENO	5.255	ACETILENO	13.151	TOLUENO	3.140
ACETILENO	1.509	HEXANO	4.303	PENTANO	10.370	BUTANO	2.776
BUTANO	1.436	ACETILENO	3.879	TOLUENO	9.246	ACETILENO	1.735
HEXANO	0.948	ETANO	2.465	ETANO	6.617	PENTANO	0.805
PENTANO	0.561	PENTANO	1.561	BENCENO	3.818	HEXANO	0.738
BENCENO	0.420	BENCENO	0.962	HEXANO	3.524	PROPILENO	0.670
o-XILENO	0.346	o-XILENO	0.622	PROPILENO	1.410	BENCENO	0.656
PROPILENO	0.173	PROPILENO	0.549	o-XILENO	0.782	o-XILENO	0.302
NONANO	0.172	NONANO	0.255	HEPTANO	0.574	NONANO	0.197
HEPTANO	0.085	HEPTANO	0.201	NONANO	0.181	HEPTANO	0.099
OCTANO	0.059	OCTANO	0.064	OCTANO	0.179	OCTANO	0.099

<i>fecha</i>	<i>23-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>24-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>26-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>26-May-04</i>
<i>canister</i>	<i>2606</i>	<i>Canisters</i>	<i>2608</i>	<i>Canisters</i>	<i>2618</i>	<i>Canisters</i>	<i>2618</i>
PROPANO	8.839	PROPANO	13.642	PROPANO	4.424	PROPANO	3.814
BUTANO	2.983	BUTANO	4.912	TOLUENO	2.992	TOLUENO	2.757
ACETILENO	2.152	ACETILENO	4.159	ETANO	2.458	ETANO	2.519
TOLUENO	2.044	TOLUENO	3.726	BUTANO	1.984	BUTANO	1.725
ETANO	1.702	ETANO	3.007	ACETILENO	1.217	ACETILENO	1.166
PENTANO	0.689	PENTANO	1.425	PENTANO	0.900	PENTANO	0.792
HEXANO	0.688	PROPILENO	1.214	HEXANO	0.579	HEXANO	0.599
PROPILENO	0.559	HEXANO	1.130	PROPILENO	0.548	o-XILENO	0.529
BENCENO	0.437	o-XILENO	0.668	o-XILENO	0.514	PROPILENO	0.503
o-XILENO	0.374	BENCENO	0.538	BENCENO	0.378	BENCENO	0.316
NONANO	0.110	NONANO	0.176	NONANO	0.117	NONANO	0.118
OCTANO	0.065	HEPTANO	0.113	OCTANO	0.080	OCTANO	0.075
HEPTANO	0.060	OCTANO	0.101	HEPTANO	0.044	HEPTANO	0.051

<i>Fecha</i>	<i>27-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>27-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>27-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>27-May-04</i>
<i>Canisters</i>	<i>2610</i>	<i>Canisters</i>	<i>2610</i>	<i>Canisters</i>	<i>2609</i>	<i>Canisters</i>	<i>2609</i>
PROPANO	7.526	PROPANO	6.878	HEXANO	11.810	HEXANO	10.764
TOLUENO	3.330	TOLUENO	3.399	ETANO	6.787	ETANO	6.614
BUTANO	3.286	BUTANO	2.880	PROPANO	4.538	PROPANO	4.849
ETANO	2.593	ETANO	2.377	TOLUENO	2.460	BUTANO	2.058
ACETILENO	1.723	ACETILENO	1.563	BUTANO	2.111	TOLUENO	1.858
PENTANO	1.146	HEXANO	1.040	ACETILENO	1.060	ACETILENO	0.989
HEXANO	0.787	PENTANO	0.991	PENTANO	1.000	PENTANO	0.909
o-XILENO	0.768	NONANO	0.818	o-XILENO	0.538	o-XILENO	0.493
PROPILENO	0.580	o-XILENO	0.744	PROPILENO	0.395	PROPILENO	0.369
BENCENO	0.425	PROPILENO	0.565	BENCENO	0.263	BENCENO	0.218
NONANO	0.101	BENCENO	0.410	OCTANO	0.093	HEPTANO	0.108
HEPTANO	0.074	OCTANO	0.123	HEPTANO	0.085	OCTANO	0.088
OCTANO	0.072	HEPTANO	0.111	NONANO	0.066	NONANO	0.027

### Datos del Golfo de México 2004 SGM-9 Concentración ppb.

<i>Fecha</i>	<i>28-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>28-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>29-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>29-May-04</i>
<i>Canisters</i>	<i>anderson 1</i>	<i>Canisters</i>	<i>anderson 1</i>	<i>Canisters</i>	<i>3404</i>	<i>Canisters</i>	<i>3404</i>
PROPANO	6.566	PROPANO	4.238	TOLUENO	3.203	PROPANO	12.411
ETANO	2.865	ETANO	2.576	PROPILENO	1.108	BUTANO	4.566
BUTANO	2.625	BUTANO	1.737	PROPANO	12.904	TOLUENO	3.042
TOLUENO	2.114	TOLUENO	1.622	PENTANO	1.070	ETANO	2.174
ACETILENO	1.426	PROPILENO	0.996	o-XILENO	0.624	ACETILENO	2.158
PROPILENO	1.123	ACETILENO	0.824	OCTANO	0.083	HEXANO	1.838
PENTANO	0.787	HEXANO	0.718	NONANO	0.075	PENTANO	1.101
HEXANO	0.760	PENTANO	0.570	HEXANO	1.790	PROPILENO	1.037
o-XILENO	0.396	o-XILENO	0.336	HEPTANO	0.124	o-XILENO	0.676
BENCENO	0.311	BENCENO	0.219	ETANO	2.537	BENCENO	0.454
HEPTANO	0.056	NONANO	0.077	BUTANO	4.717	HEPTANO	0.087
OCTANO	0.048	HEPTANO	0.069	BENCENO	0.493	NONANO	0.053
NONANO	0.028	OCTANO	0.017	ACETILENO	2.210	OCTANO	0.018

<i>Fecha</i>	<i>30-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>30-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>31-May-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>31-May-04</i>
<i>Canisters</i>	<i>cenica 3</i>	<i>Canisters</i>	<i>cenica 3</i>	<i>Canisters</i>	<i>andrson instru</i>	<i>Canisters</i>	<i>andrson instru</i>
PROPANO	10.249	PROPANO	11.594	PROPANO	17.630	PROPANO	15.919
BUTANO	3.654	BUTANO	4.009	BUTANO	6.406	BUTANO	5.931
ACETILENO	2.510	TOLUENO	3.241	TOLUENO	5.947	TOLUENO	4.505
TOLUENO	2.478	ACETILENO	2.934	ACETILENO	4.327	ACETILENO	3.725
ETANO	2.449	ETANO	2.615	ETANO	3.150	ETANO	3.052
HEXANO	1.482	HEXANO	1.498	HEXANO	2.144	PROPILENO	1.837
PROPILENO	1.351	PROPILENO	1.405	PROPILENO	1.975	HEXANO	1.357
PENTANO	0.908	PENTANO	0.937	PENTANO	1.527	PENTANO	1.262
BENCENO	0.418	BENCENO	0.478	BENCENO	0.669	BENCENO	0.579
o-XILENO	0.335	o-XILENO	0.391	o-XILENO	0.484	o-XILENO	0.437
NONANO	0.073	HEPTANO	0.168	HEPTANO	0.179	NONANO	0.254
OCTANO	0.057	NONANO	0.126	NONANO	0.105	HEPTANO	0.094
HEPTANO	0.052	OCTANO	0.086	OCTANO	0.083	OCTANO	0.077

<i>Fecha</i>	<i>01-Jun-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>02-Jun-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>03-Jun-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>04-Jun-04</i>
<i>Canisters</i>	<i>cenica 31</i>	<i>Canisters</i>	<i>cenica 21</i>	<i>Canisters</i>	<i>cenica 20</i>	<i>Canisters</i>	<i>W&amp;A</i>
ETANO	1.168	ETANO	17.976	PROPANO	3.535	PROPANO	3.438
PROPANO	0.597	PROPANO	11.046	ETANO	2.111	PROPILENO	1.900
PROPILENO	0.580	PROPILENO	8.097	TOLUENO	1.860	ETANO	1.565
TOLUENO	0.488	BUTANO	3.437	PROPILENO	1.812	ACETILENO	1.538
ACETILENO	0.354	ACETILENO	3.103	BUTANO	1.259	BUTANO	1.503
PENTANO	0.297	PENTANO	1.651	HEXANO	0.641	TOLUENO	1.481
BUTANO	0.280	HEXANO	1.518	PENTANO	0.554	PENTANO	0.668
BENCENO	0.159	HEPTANO	0.824	ACETILENO	0.405	HEXANO	0.591
o-XILENO	0.123	BENCENO	0.616	BENCENO	0.256	NONANO	0.408
HEXANO	0.087	OCTANO	0.364	NONANO	0.167	BENCENO	0.374
HEPTANO	0.070	TOLUENO	0.180	o-XILENO	0.098	o-XILENO	0.215
NONANO	0.024	NONANO	0.147	OCTANO	0.083	OCTANO	0.139
OCTANO	0.021	o-XILENO	0.046	HEPTANO	0.058	HEPTANO	0.050

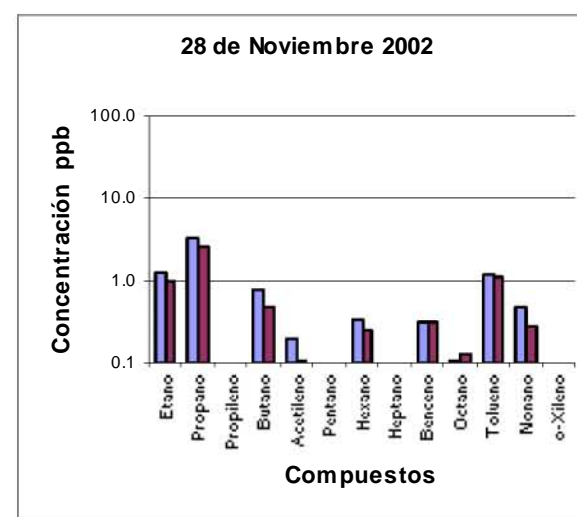
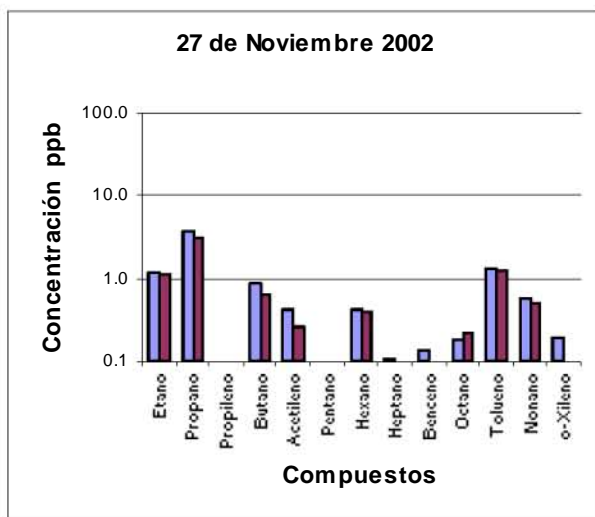
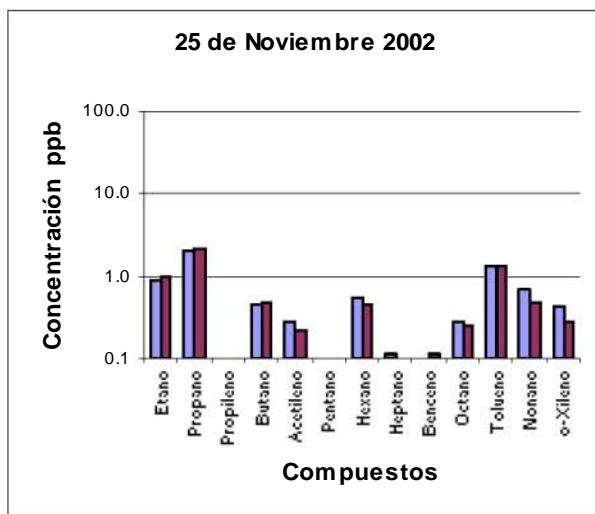
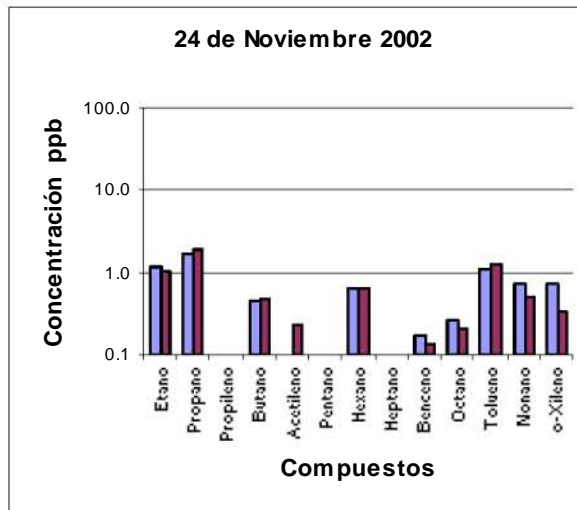
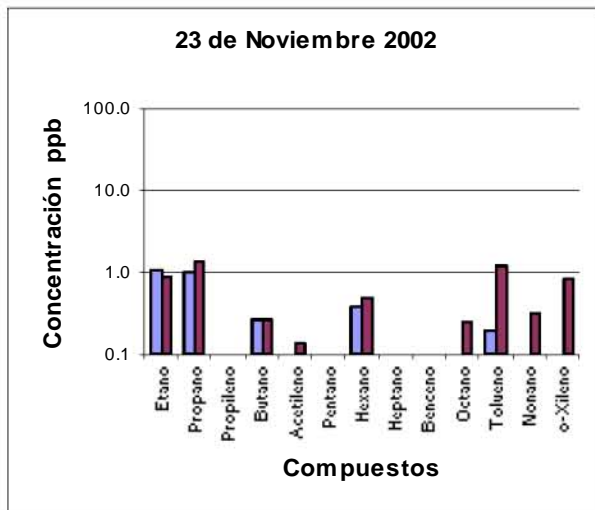
**Datos del Golfo de México 2004 SGM-9 Concentración ppb.**

<i>Fecha</i>	<i>05-Jun-04</i>	<i>Fecha</i>	<i>06-Jun-04</i>
<i>Canisters</i>	<i>cenica 5</i>	<i>Canisters</i>	<i>2612</i>
PROPANO	14.154	PROPANO	19.110
BUTANO	6.015	BUTANO	7.151
TOLUENO	3.604	HEXANO	5.425
ETANO	3.381	PENTANO	5.119
ACETILENO	2.988	ACETILENO	4.741
HEXANO	2.466	TOLUENO	4.558
PENTANO	2.461	ETANO	2.753
PROPILENO	1.246	BENCENO	2.003
o-XILENO	0.888	PROPILENO	0.863
BENCENO	0.618	o-XILENO	0.417
NONANO	0.246	HEPTANO	0.200
OCTANO	0.165	NONANO	0.125
HEPTANO	0.153	OCTANO	0.087

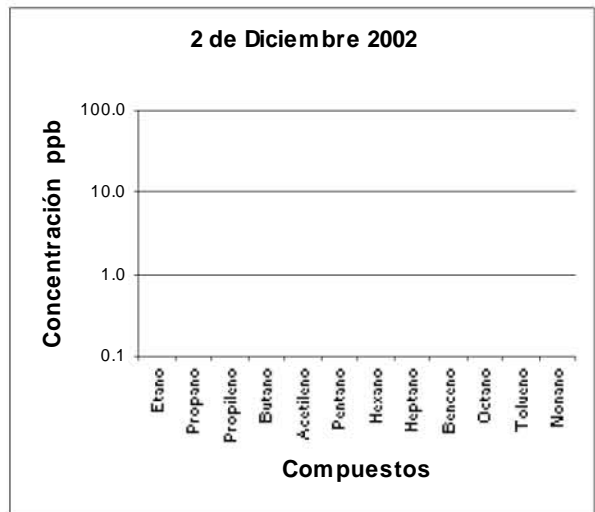
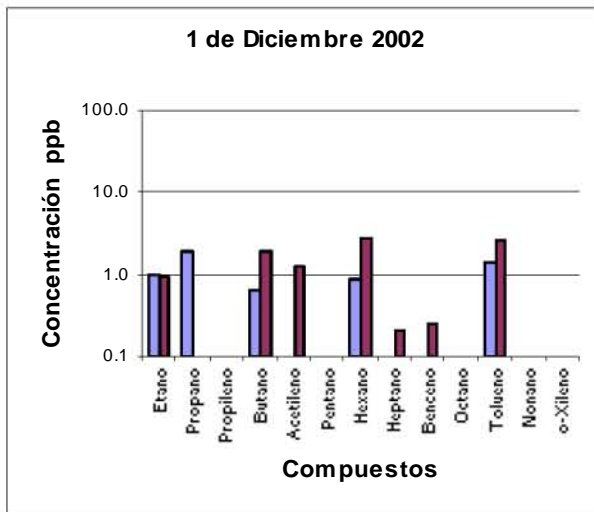
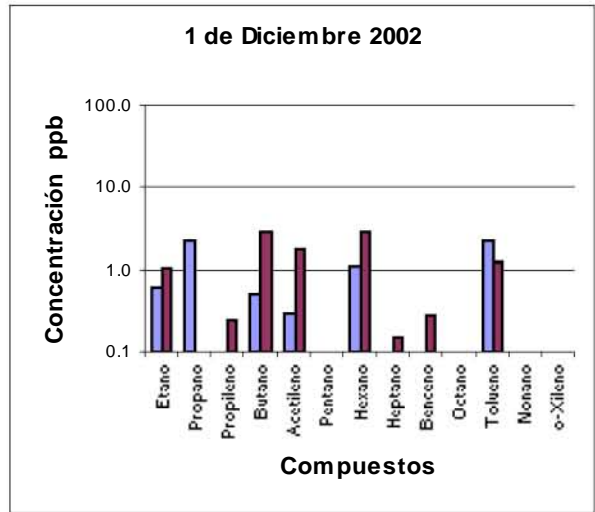
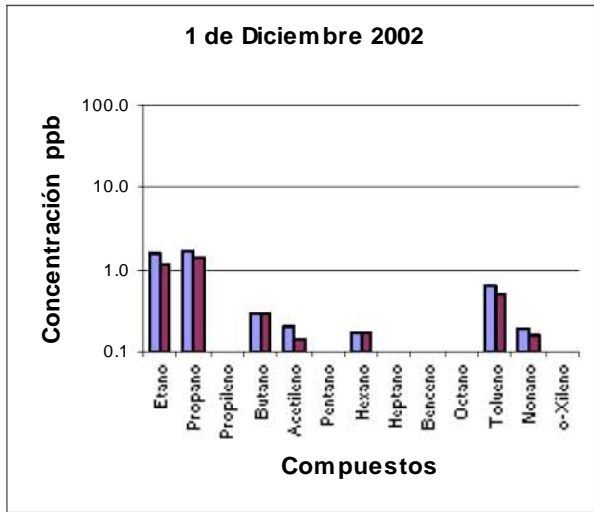
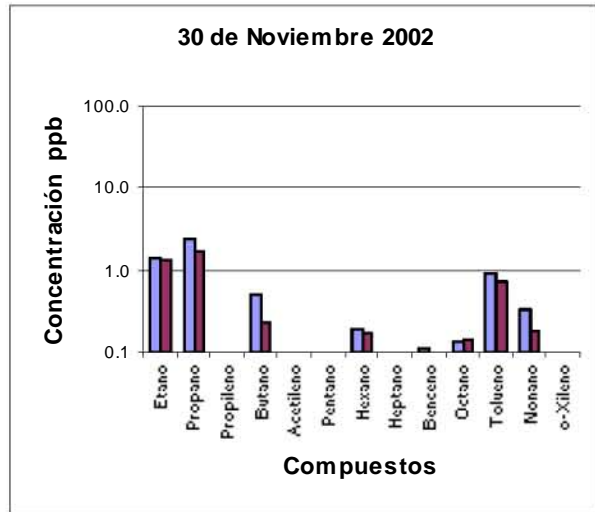
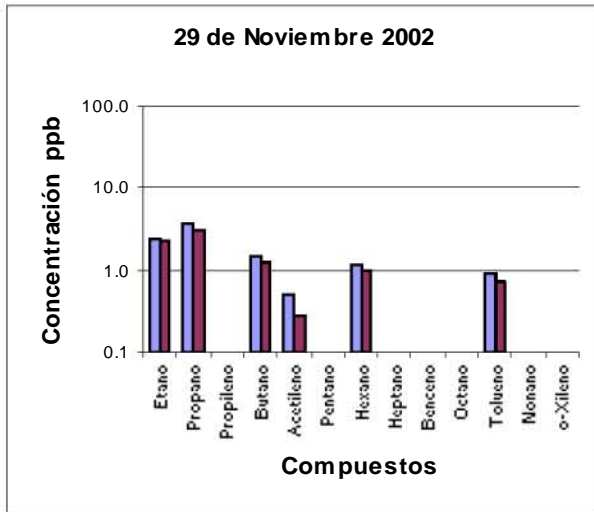
**ANEXO III**

**GRAFICAS DE CONCENTRACIONES COV<sub>s</sub>**  
**DE LAS TRES CAMPAÑAS**  
**OCEANOGRÁFICAS EN EL GOLFO DE**  
**MÉXICO**

## Gráficas de la Campaña SGM-7 2002 en el Golfo de México.

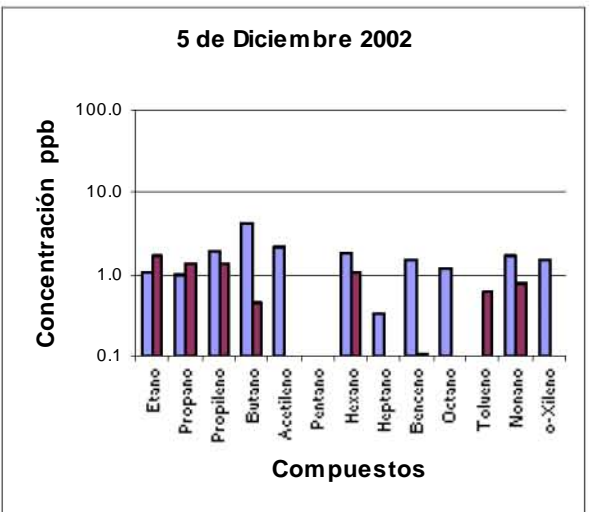
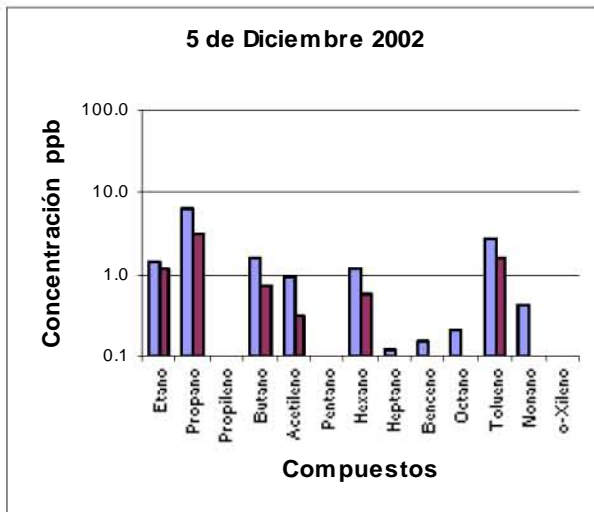
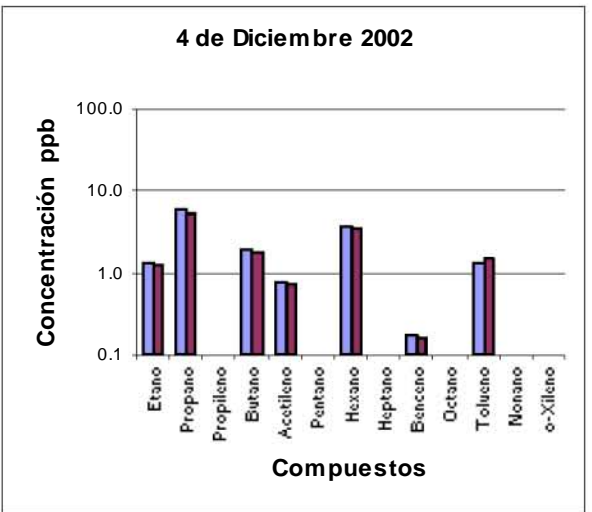
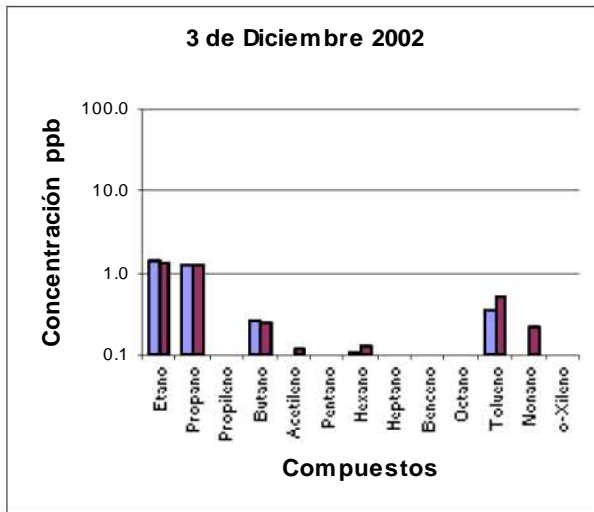
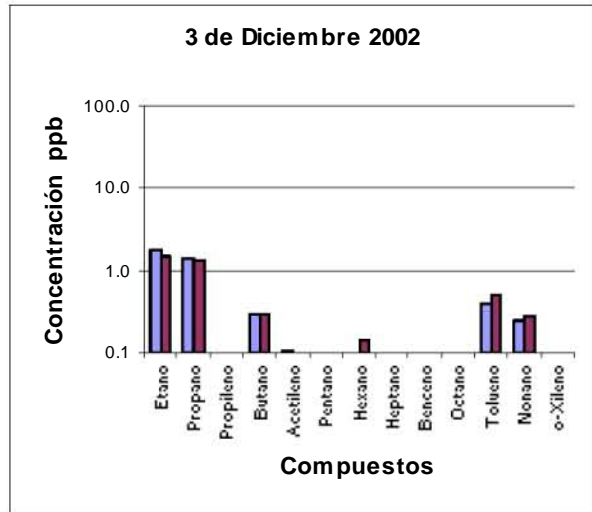
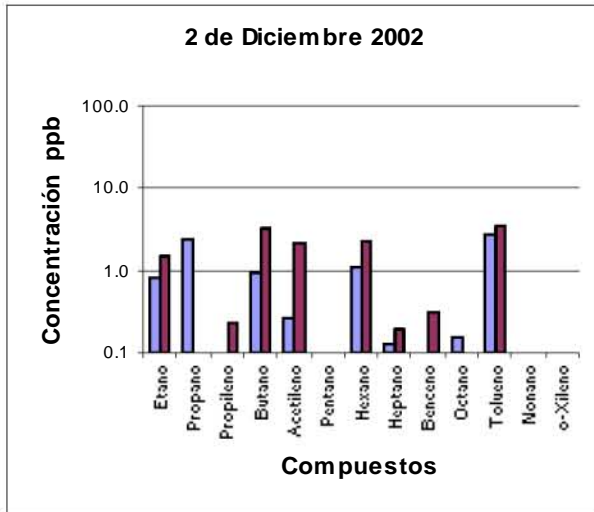


Graficas de la Campaña SGM-7 2002 en el Golfo de México.

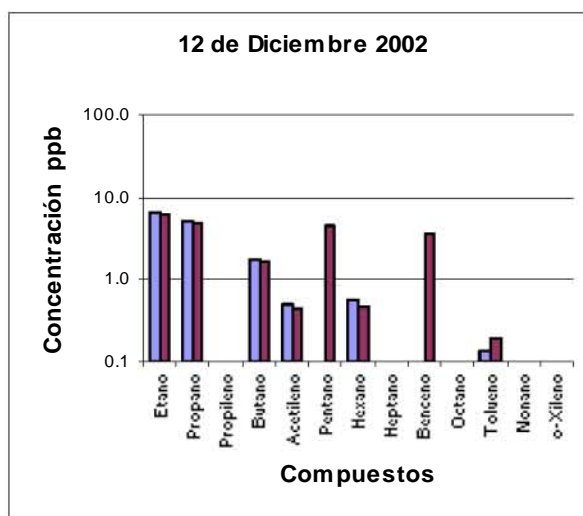
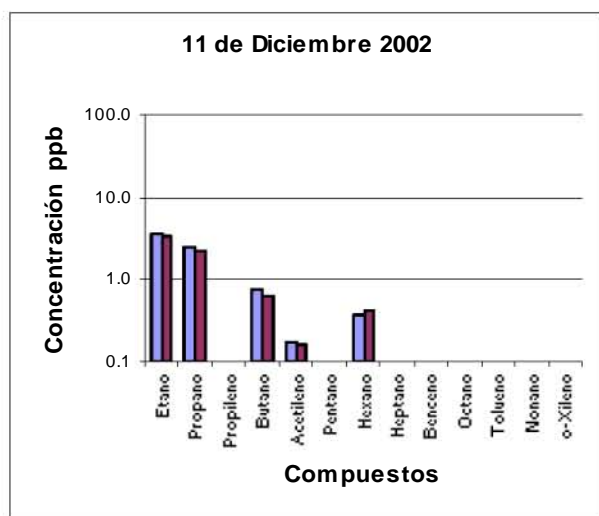
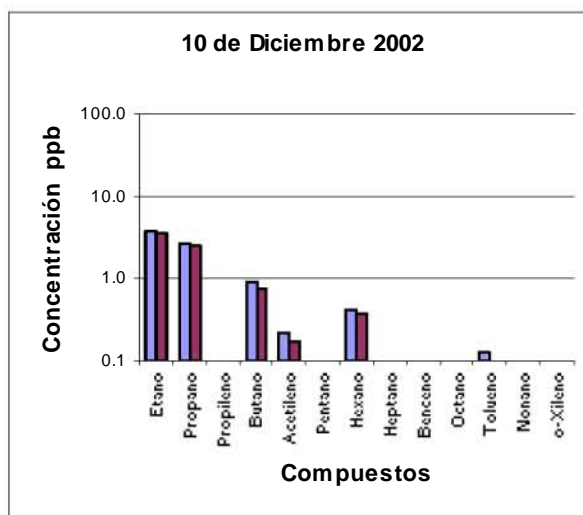
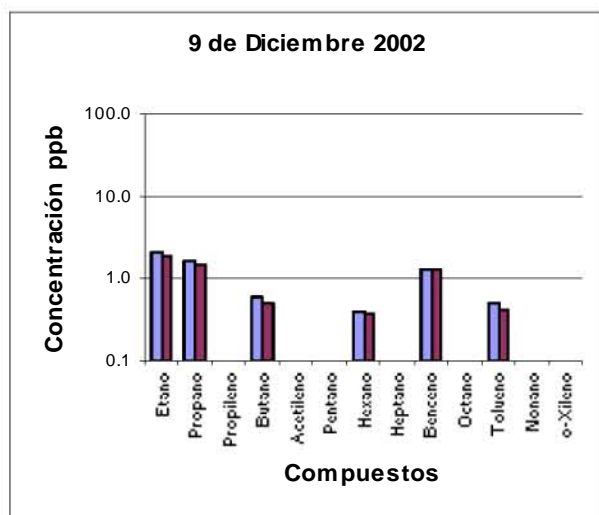
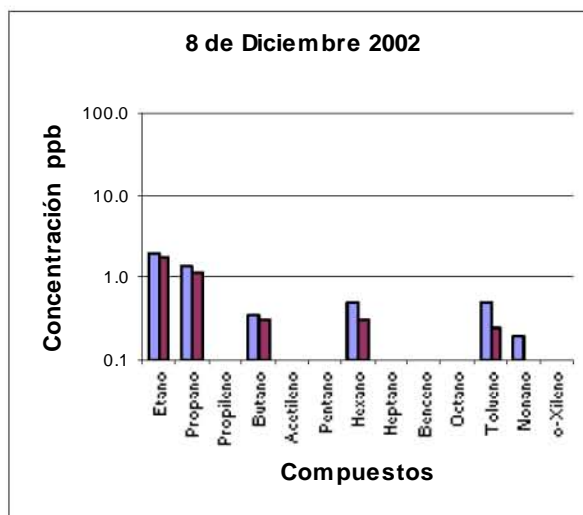
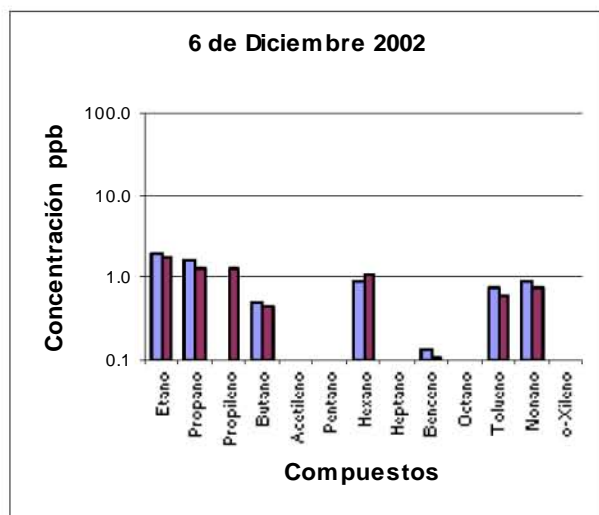




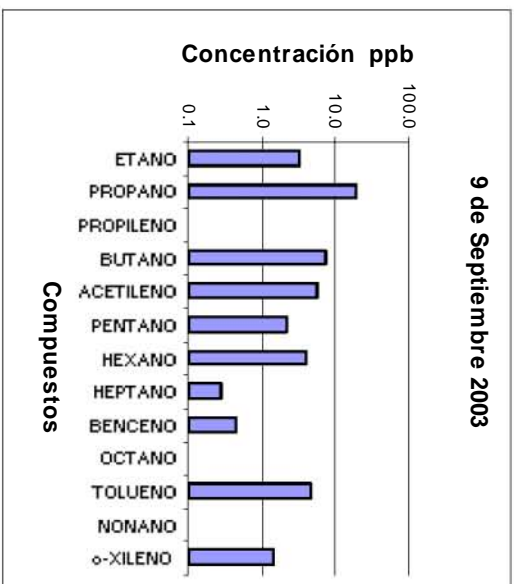
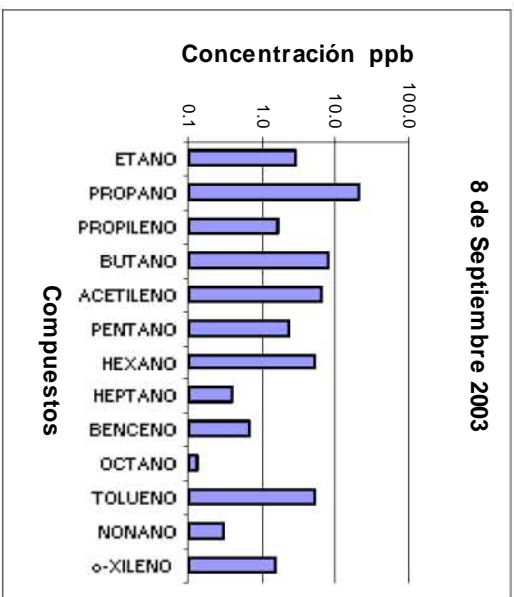
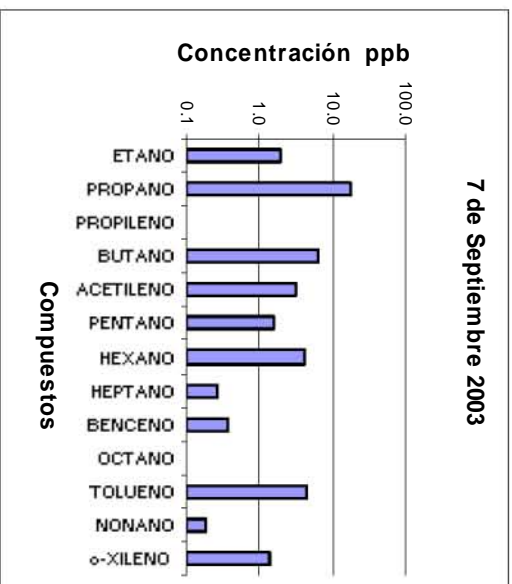
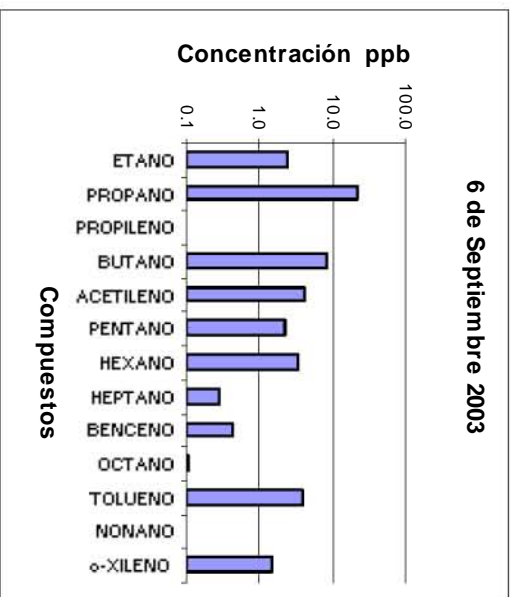
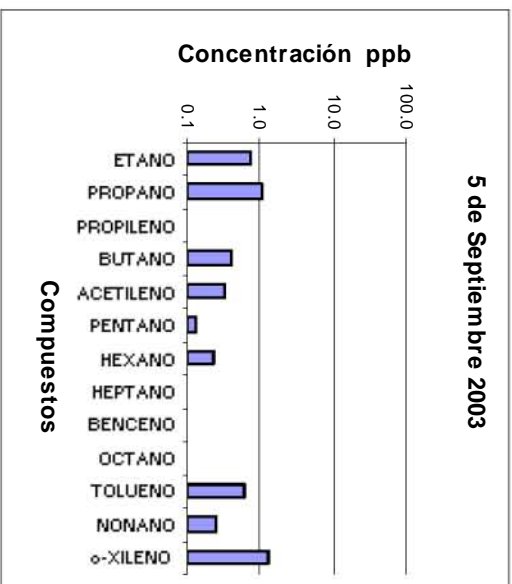
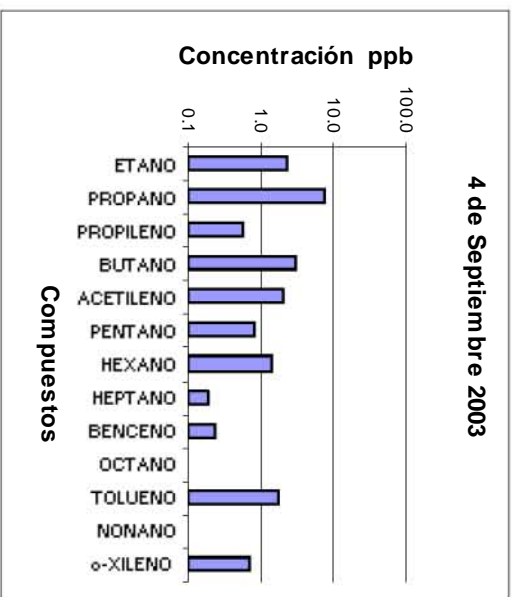
Graficas de la Campaña SGM-7 2002 en el Golfo de México.



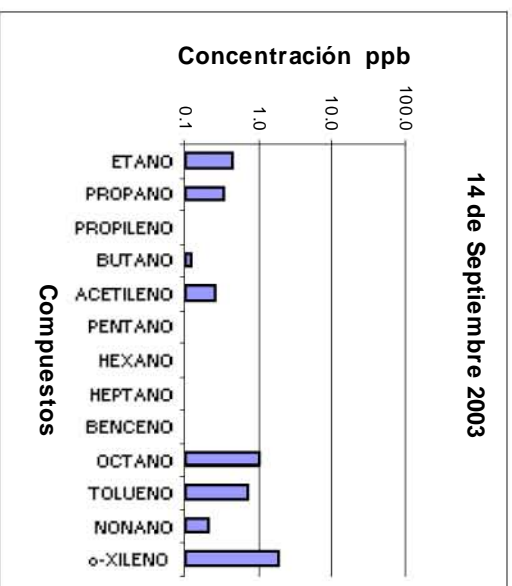
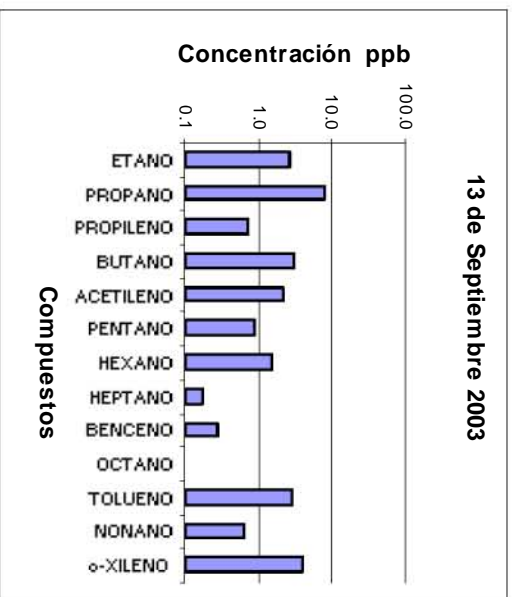
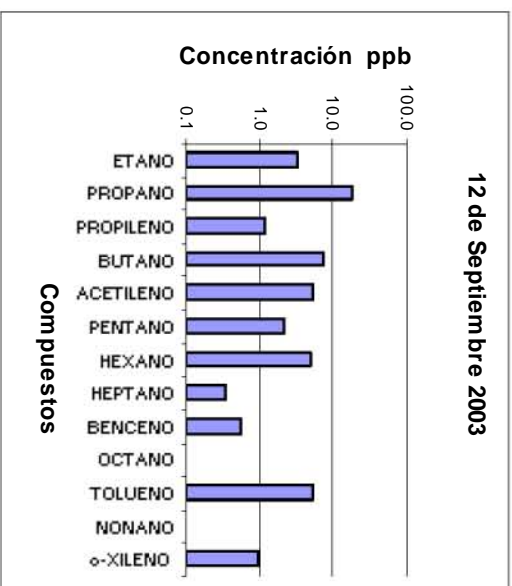
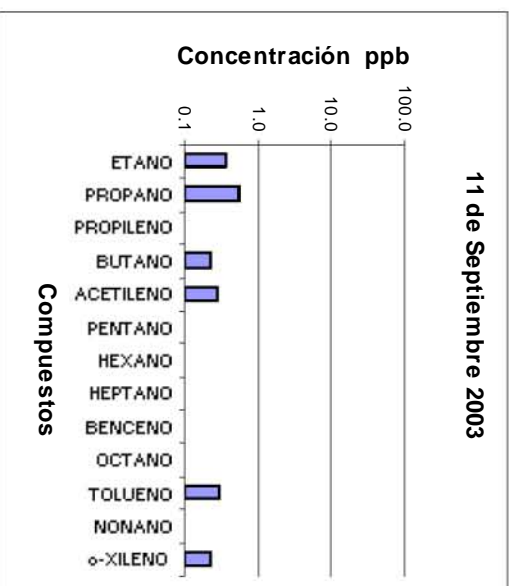
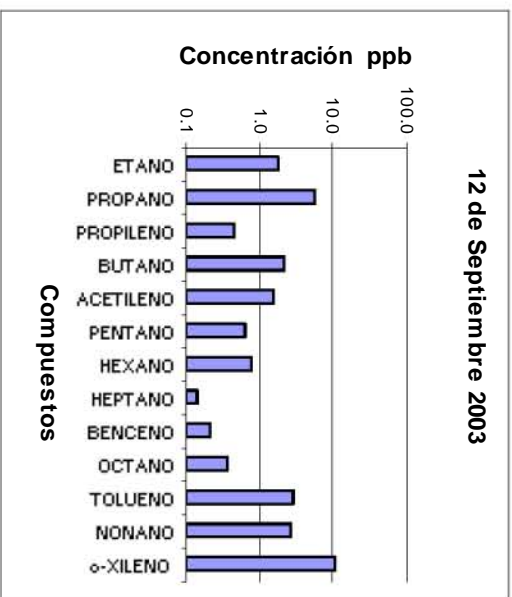
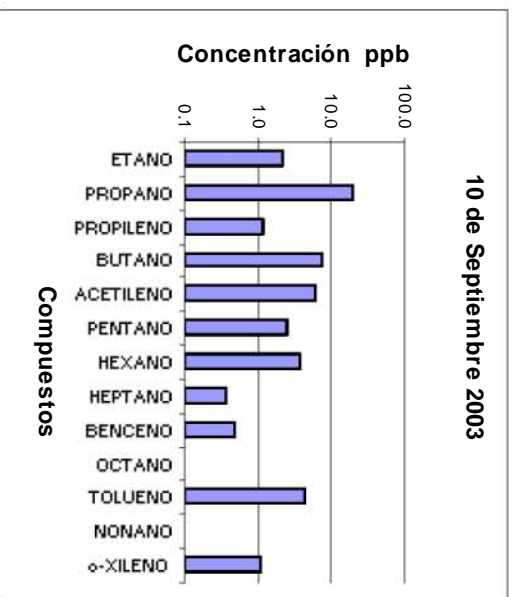
## Gráficas de la Campaña SGM-7 2002 en el Golfo de México.



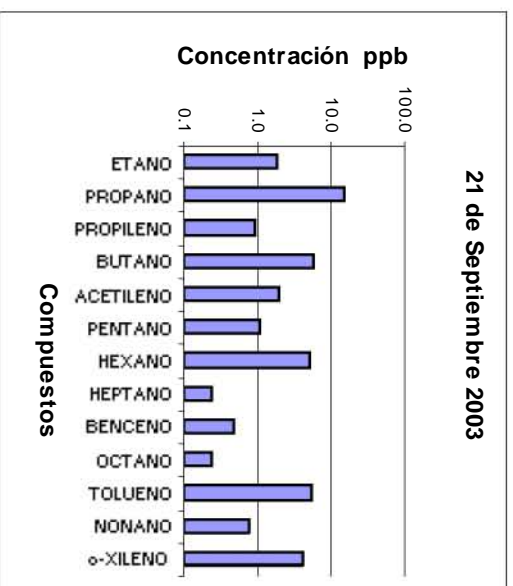
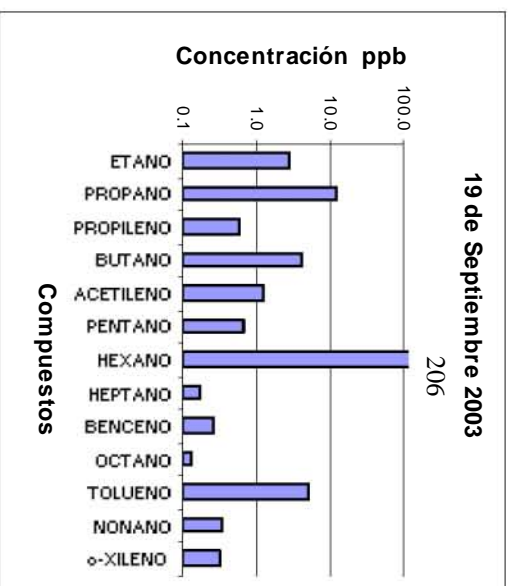
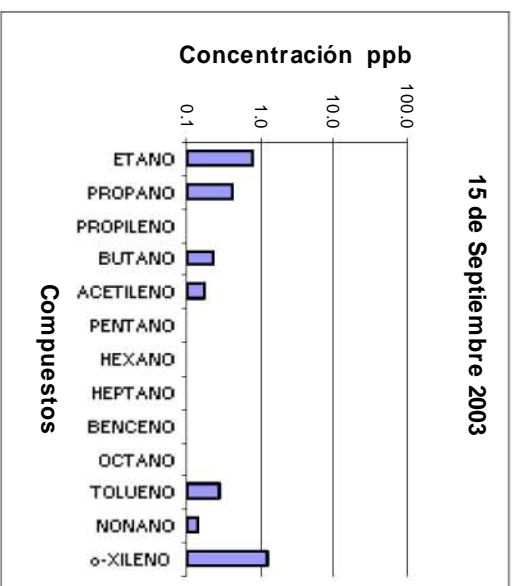
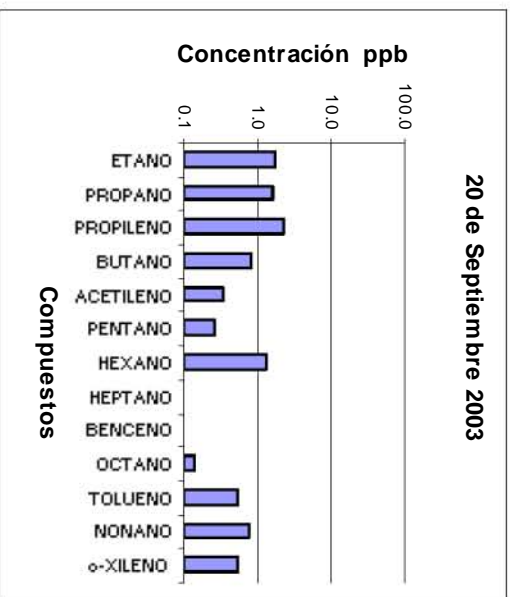
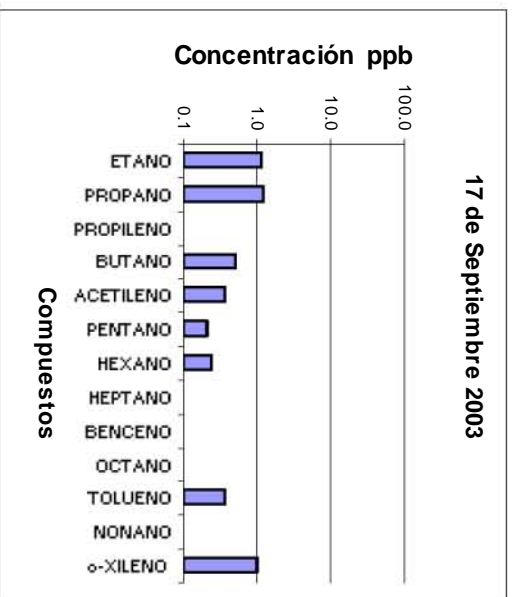
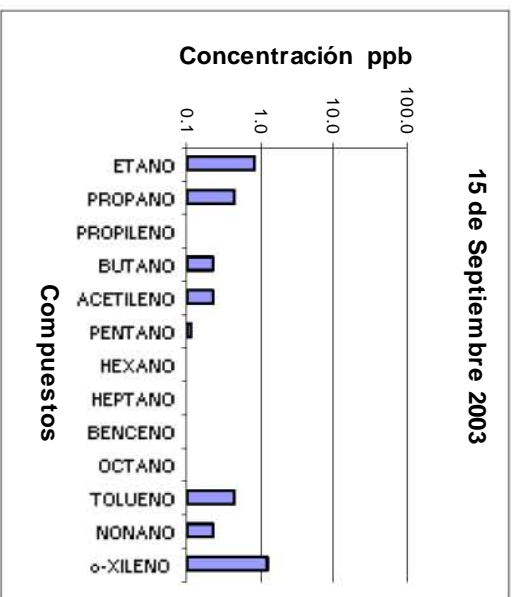
Graficas de la Campaña SGM-8 2003 en el Golfo de México.



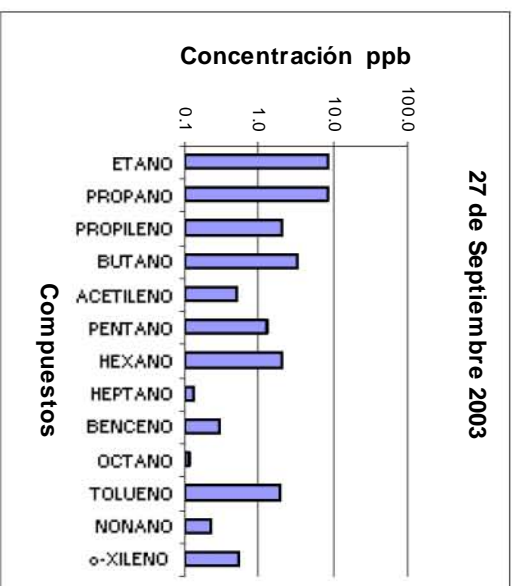
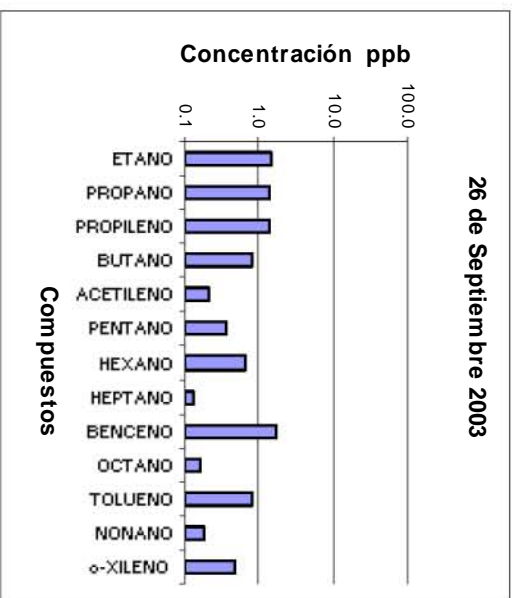
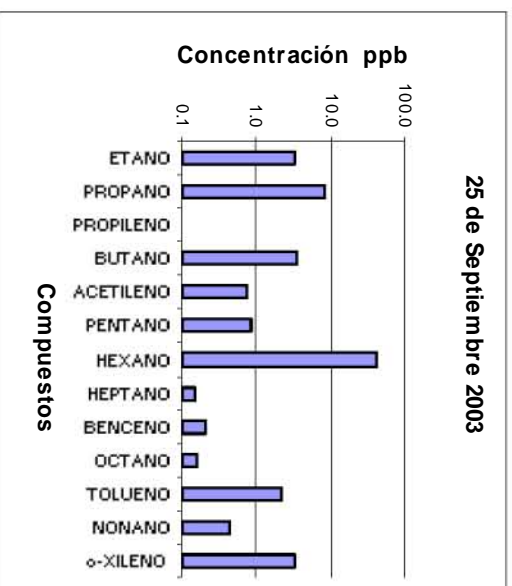
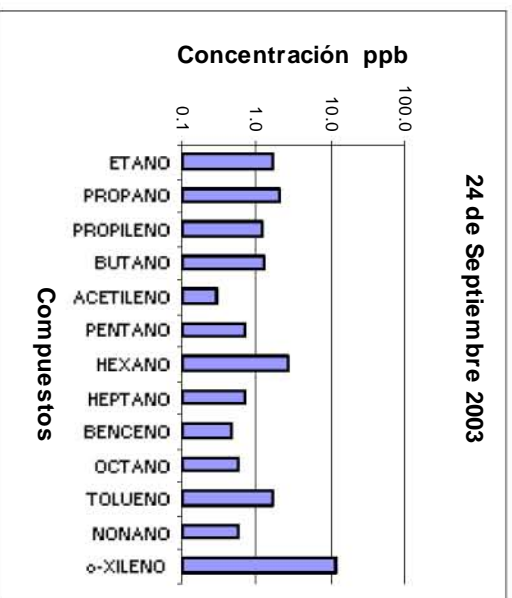
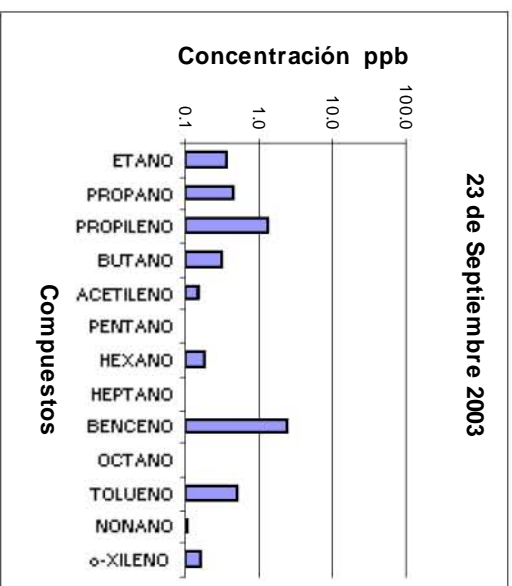
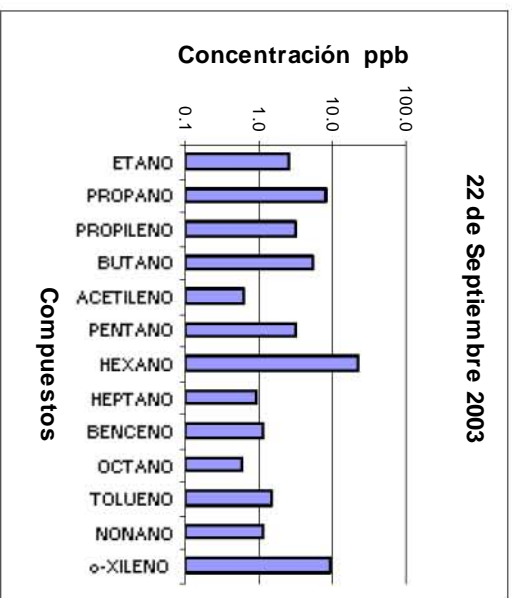
Graficas de la Campaña SGM-8 2003 en el Golfo de México.



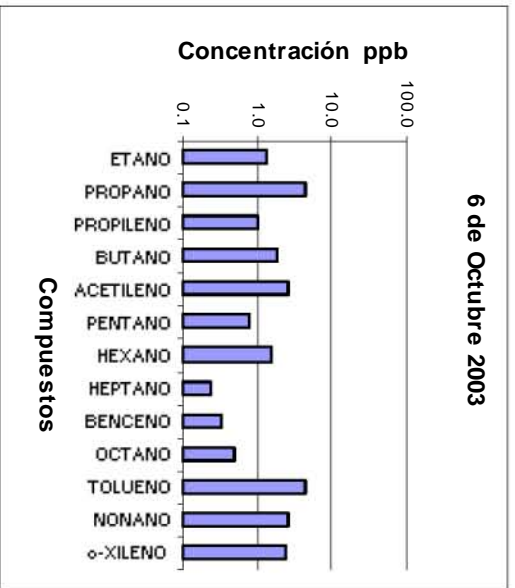
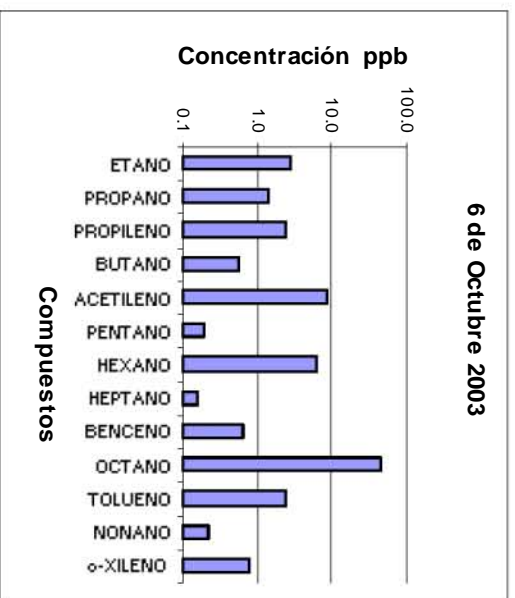
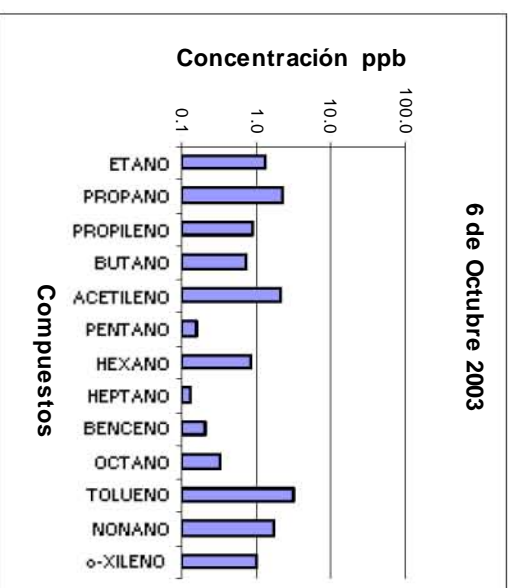
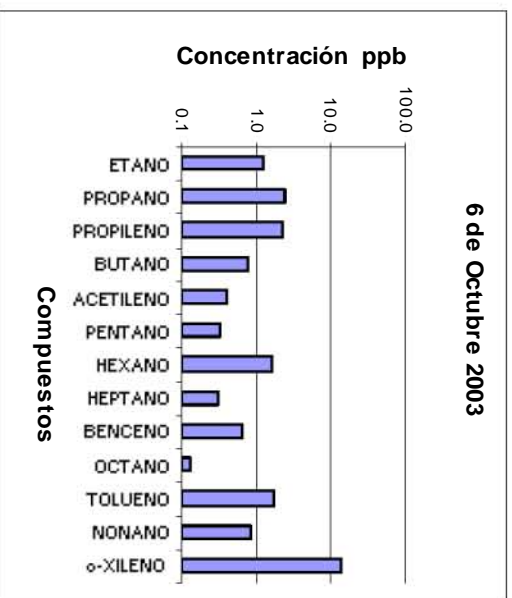
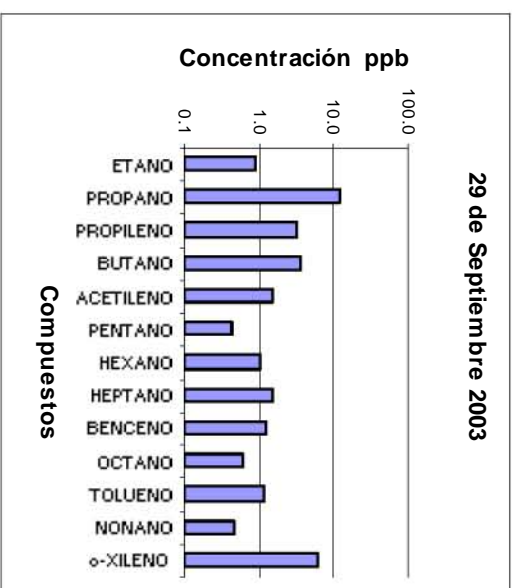
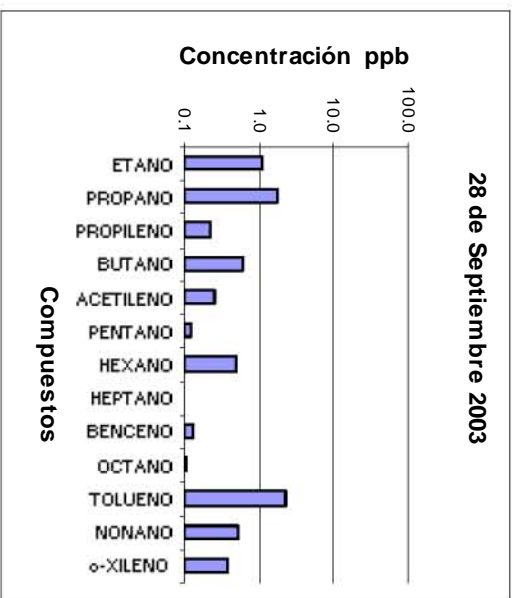
Graficas de la Campaña SGM-8 2003 en el Golfo de México.



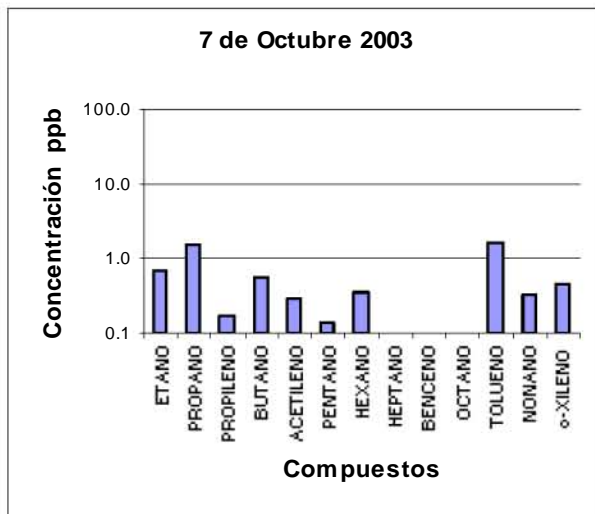
Graficas de la Campaña SGM-8 2003 en el Golfo de México.



Graficas de la Campaña SGM-8 2003 en el Golfo de México.

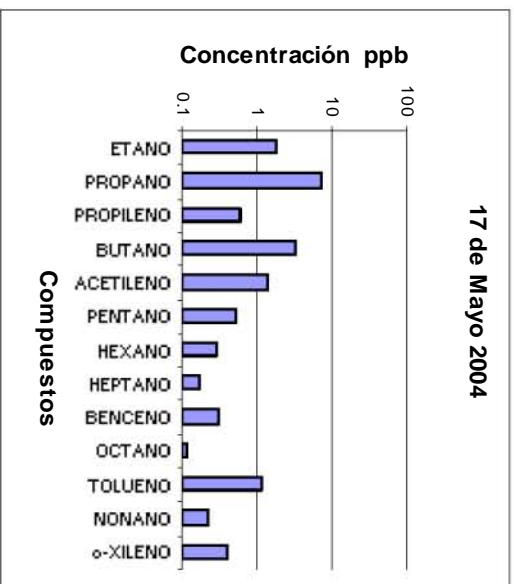
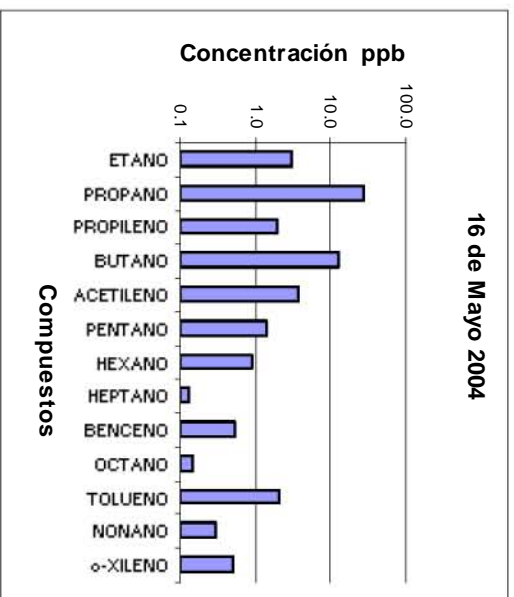
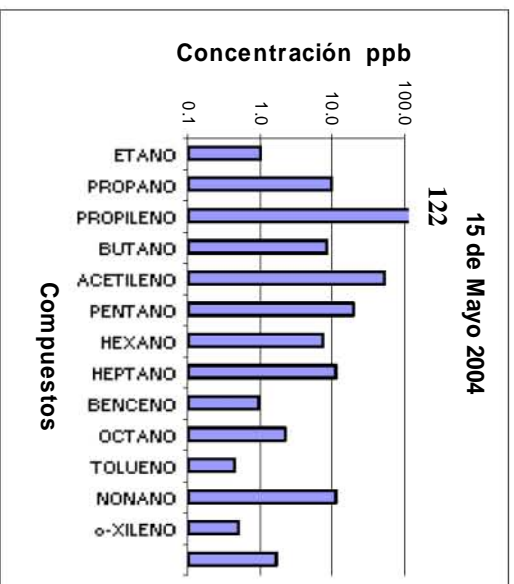
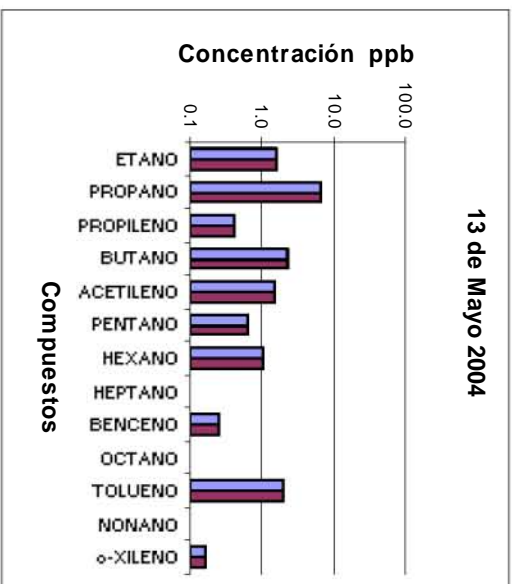
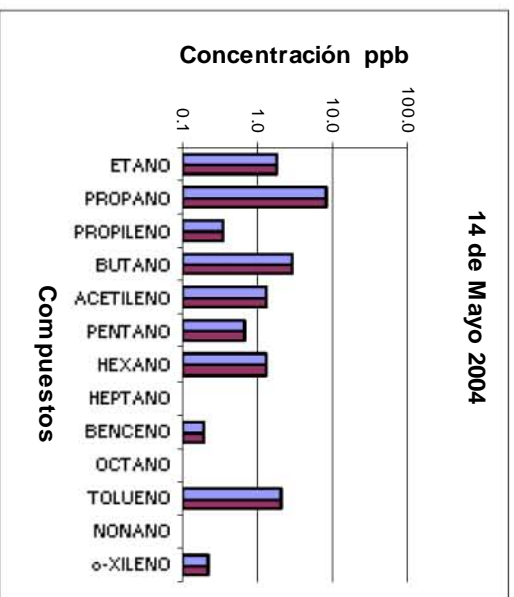
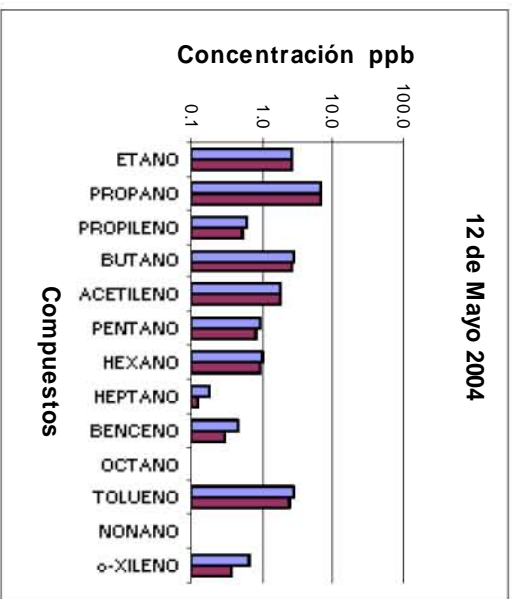


## Graficas de la Campaña SGM-8 2003 en el Golfo de México.

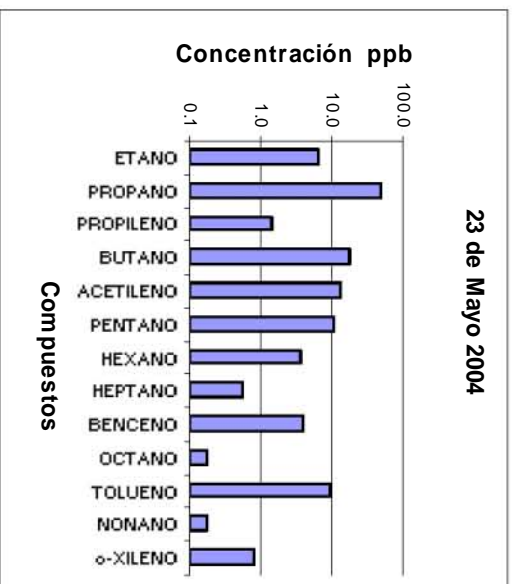
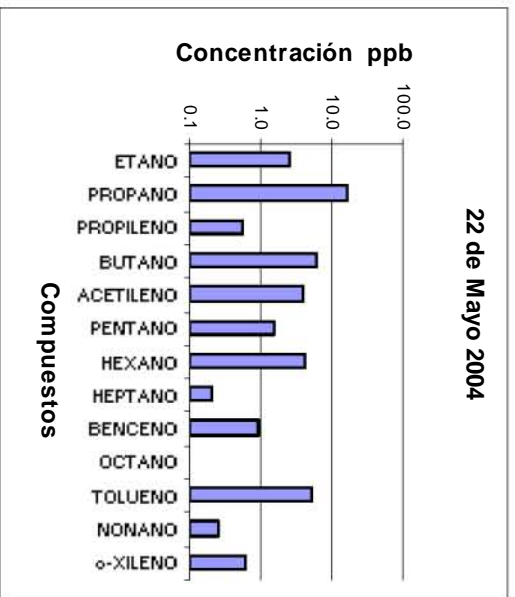
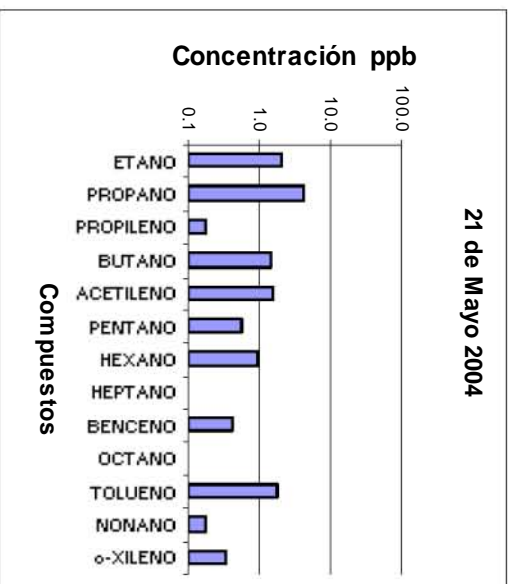
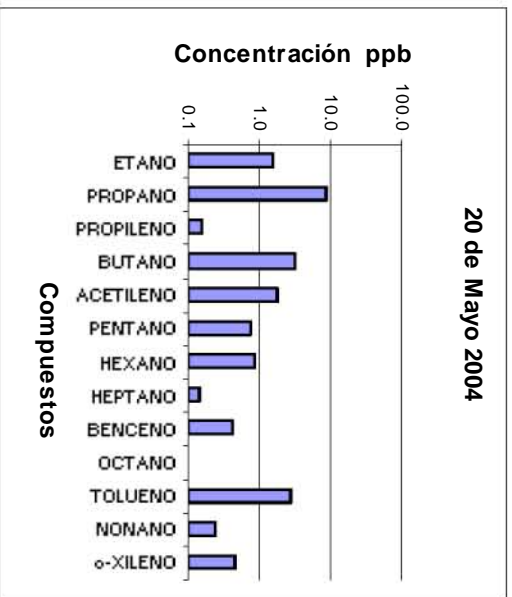
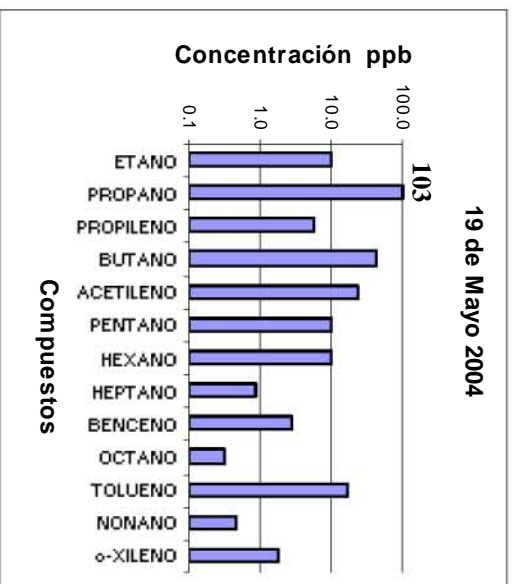
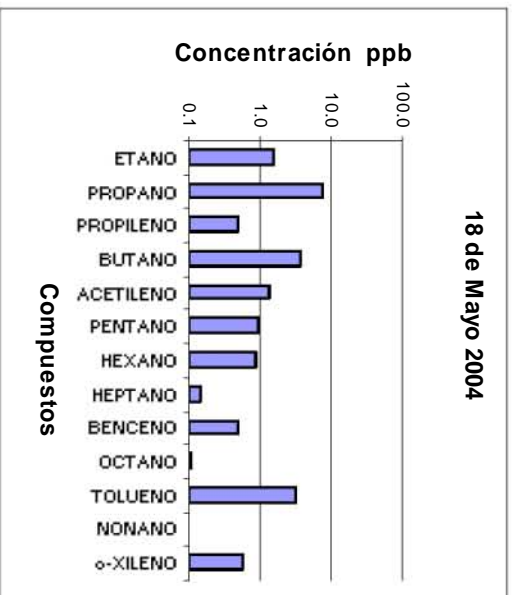




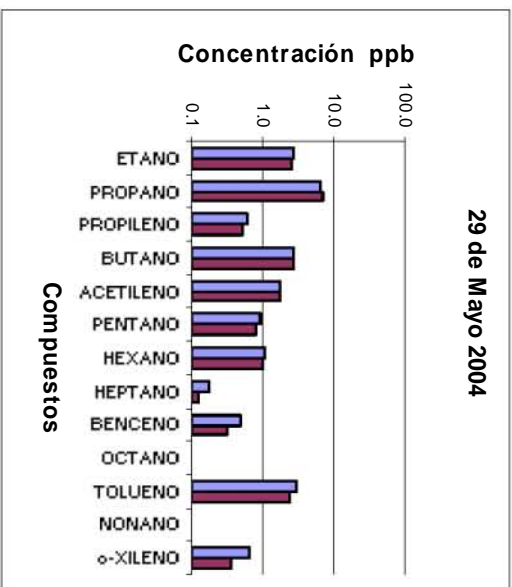
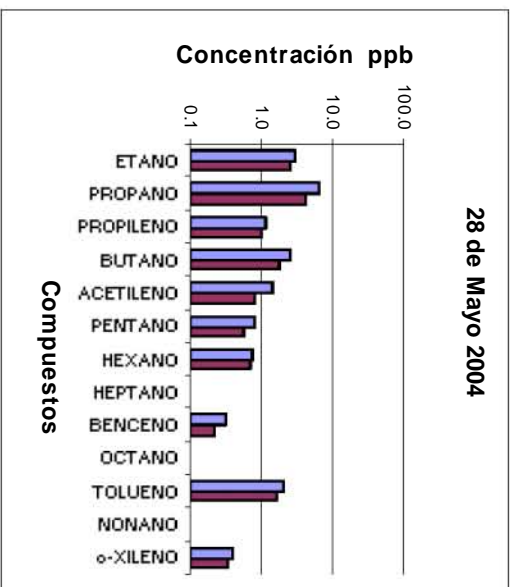
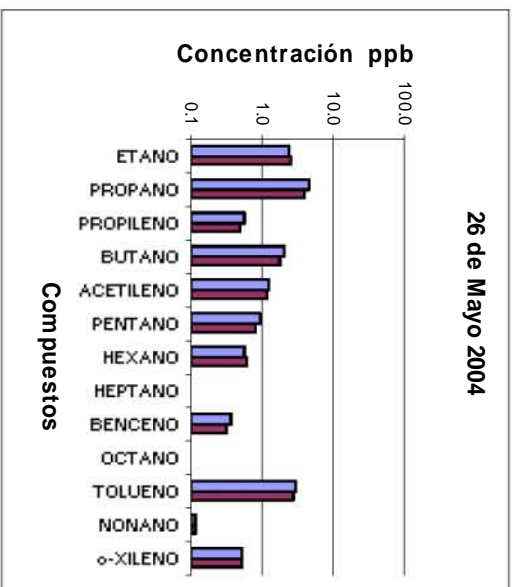
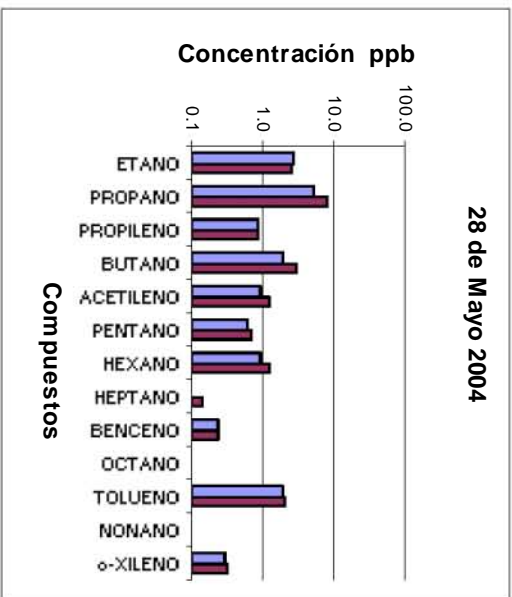
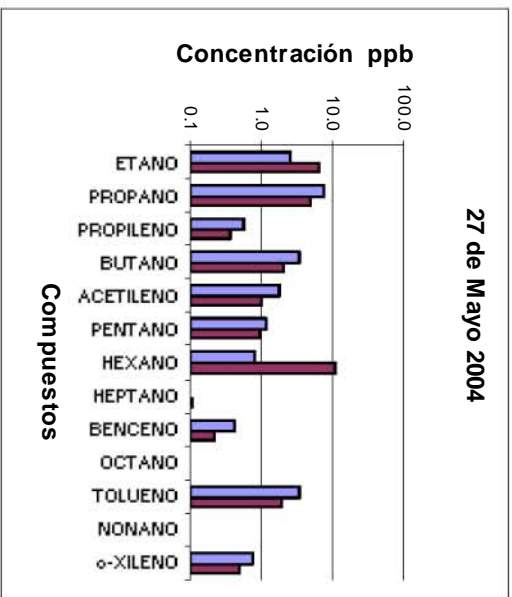
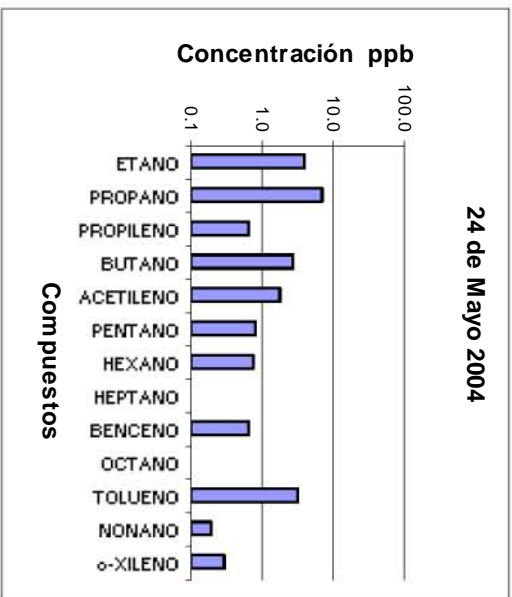
Graficas de la Campaña SGM-9 2004 en el Golfo de México.



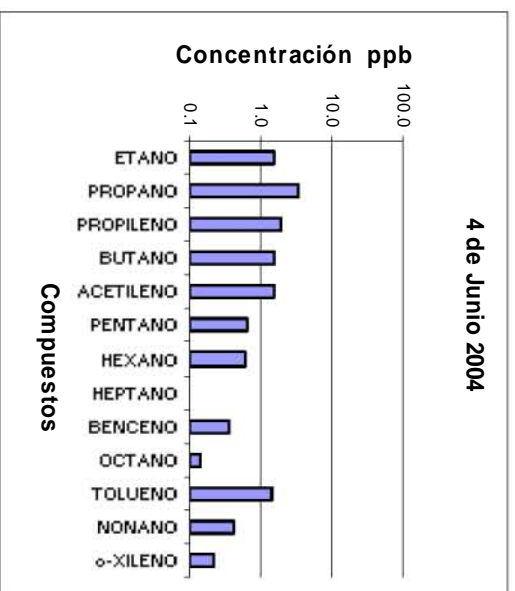
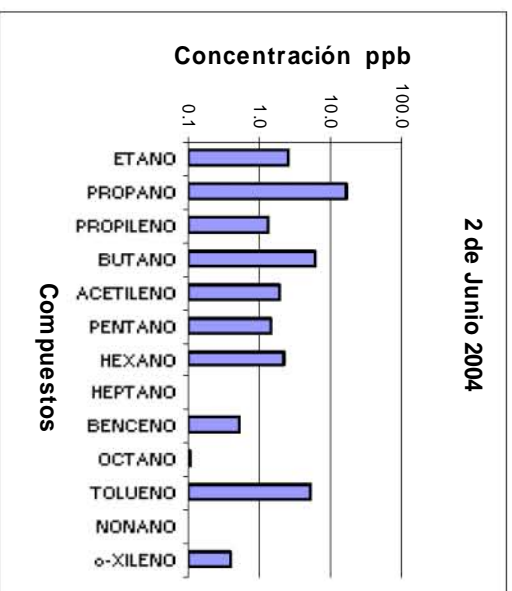
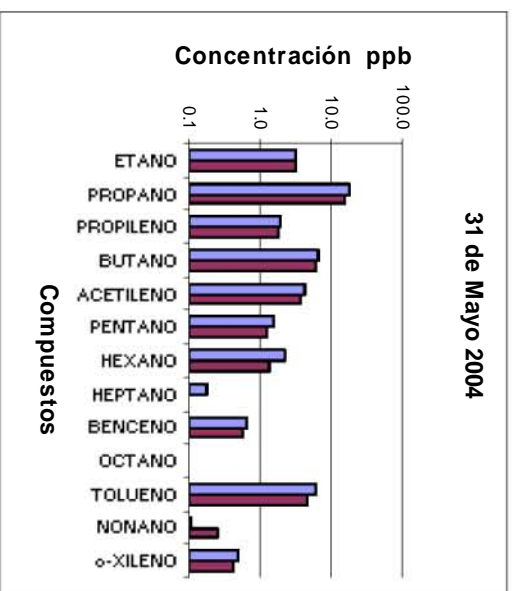
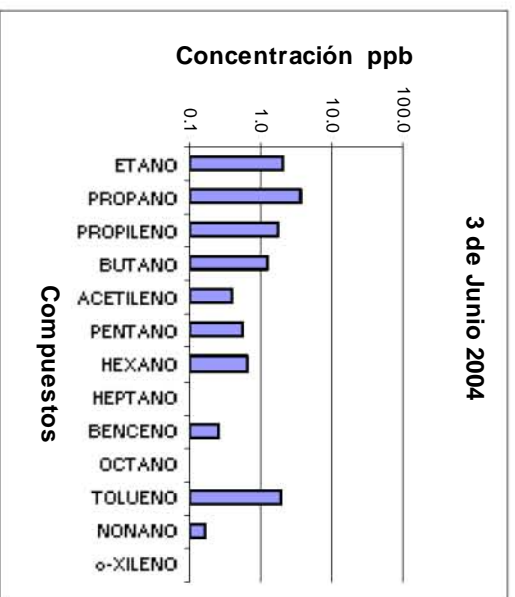
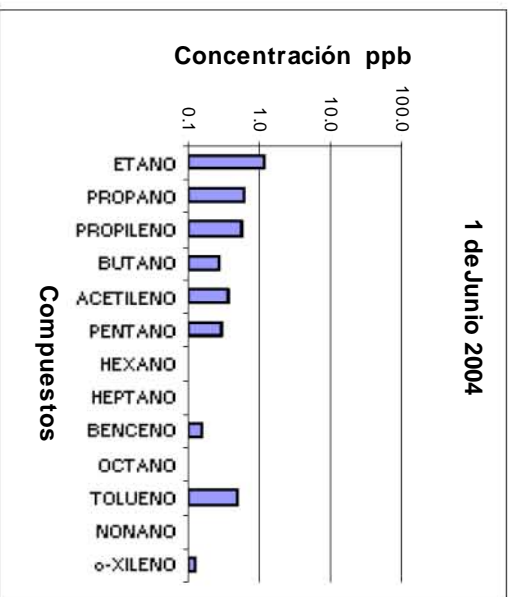
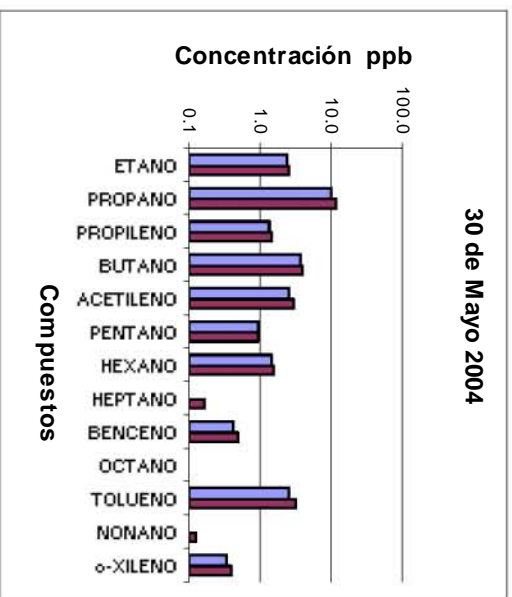
Graficas de la Campaña SGM-9 2004 en el Golfo de México.



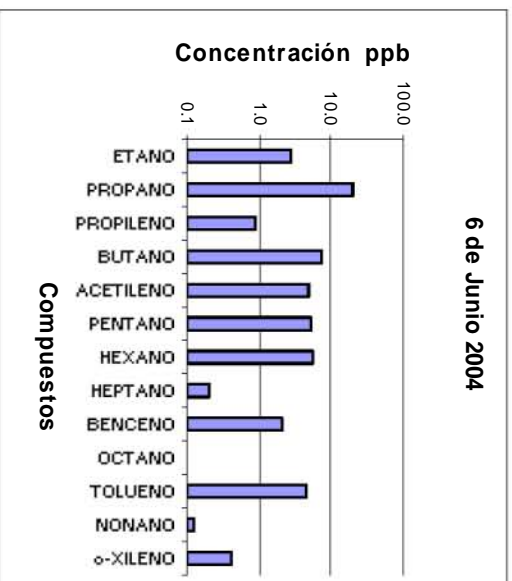
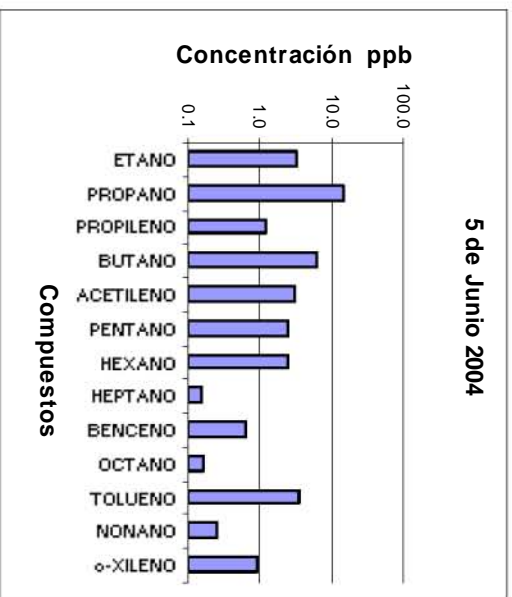
Graficas de la Campaña SGM-9 2004 en el Golfo de México.



Graficas de la Campaña SGM-9 2004 en el Golfo de México.



Graficas de la Campaña SGM-9 2004 en el Golfo de México.



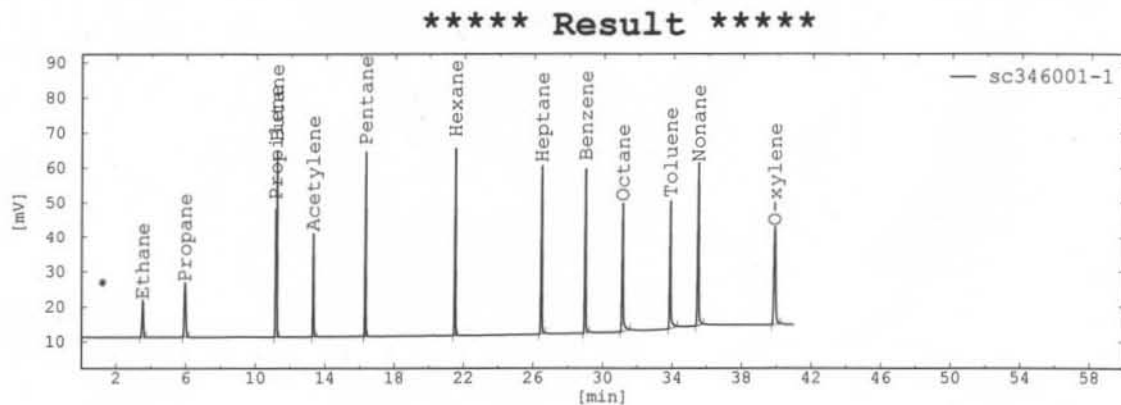
**ANEXO IV**

**CROMATOGRAMAS OBTENIDOS DURANTE**

**EL ANÁLISIS**

## Cromatógrama Obtenidos.

Cromatógrama de Estándar y una corrida de las campañas oceanográficas en el Golfo de México.



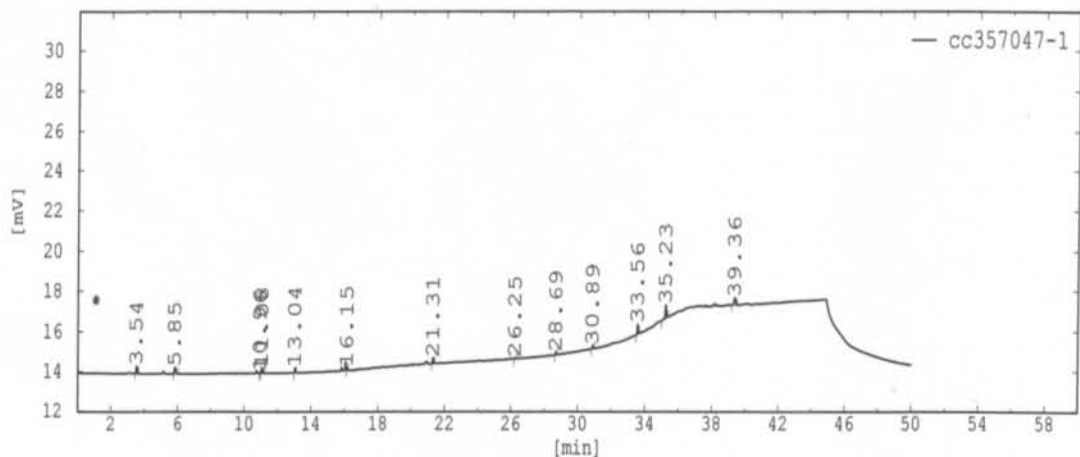
Sampling conditions  
 Sample flow rate : 21 ml/min  
 Sampling time : 4 min  
 Trap temp : 10°C  
 Trap drying trap : 2 min  
 Purge gas flow : 20 ml/min  
 Trap : HC special, 1/8 in. 15 cm long  
 Sample introductions conditions  
 Desorption temp : 250°C  
 Desorption time : 4 min

Analytical conditions  
 Column : Alumina PLOT i.d.0.53 mm, 30m +  
 Methylsilicone i.d. 0.5 mm, 1.5 film, 30m long  
 Carrier gas : He, 6 ml/min  
 Oven temp. : 40°C, 4 min, 8°C/min up to 100°C, 6°C/min up to 240°C, 10 min  
 Detector : FID, 300°C  
 Humidifier condition : 25°C, dry by molecular sieve

PKNO	NAME	TIME MARK	CONC	AREA	HEIGHT
1	Ethane	3.54	2.901	59140.18	10880.5
2	Propane	5.96	4.963	101170.57	15620.3
3	Propylene	11.14	4.499	91710.78	39336.0
4	Butane	11.20	V 7.793	158855.41	56290.0
5	Acetylene	13.30	5.074	103434.77	30387.6
6	Pentane	16.32	8.283	168841.81	54821.4
7	Hexane	21.50	9.857	200921.36	56997.5
8	Heptane	26.46	9.530	194266.94	49325.8
9	Benzene	28.97	9.516	193976.39	49568.8
10	Octane	31.12	8.664	176611.60	37541.5
11	Toluene	33.86	8.252	168207.72	37812.5
12	Nonane	35.47	10.804	220241.88	47067.0
13	O-xylene	39.87	9.063	201061.34	28355.2
TOTAL			100.000	2038440.75	514004.3

## Cromatógrama del Estándar para la Campaña Oceanográfica del 2002

\*\*\*\*\* Result \*\*\*\*\*



Sampling conditions

Sample flow rate : 21 ml/min  
 Sampling time : 4 min  
 Trap temp : 10°C  
 Trap drying trap : 2 min  
 Purge gas flow : 20 ml/min  
 Trap : HC special, 1/8 in. 15 cm long  
 Sample introductions conditions  
 Desorption temp : 250°C  
 Desorption time : 4 min

Analytical conditions

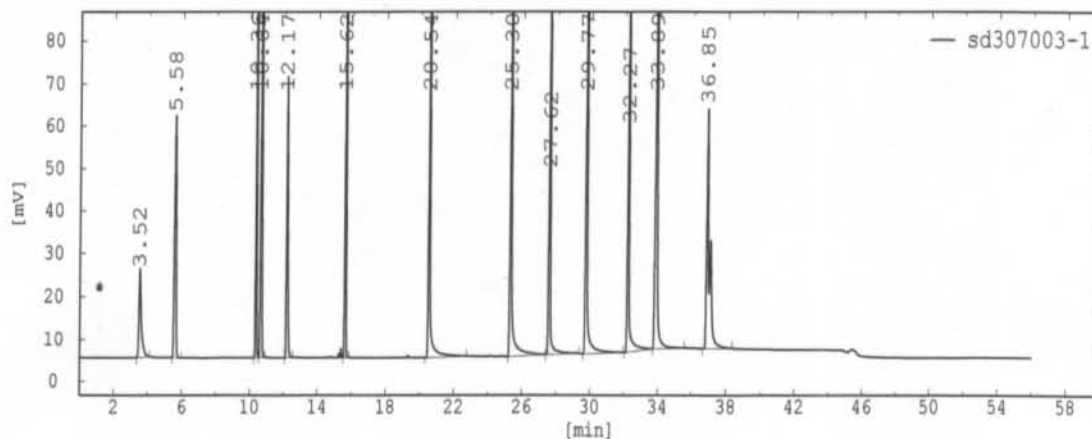
Column : Alumina PLOT i.d.0.53 mm, 30m +  
 Methylsilicone i:d. 0.5 mm, 1.5 film, 30m long  
 Carrier gas : He, 6 ml/min  
 Oven temp. : 40°C, 4 min, 8°C/min up to 100°C, 6°C/min up to 240°C, 10 min  
 Detector : FID, 300°C  
 Humidifier condition : 25°C, dry by molecular sieve

PKNO	NAME	TIME MARK	CONC	AREA	HEIGHT
1		3.54	10.899	1826.32	392.5
2		5.85	12.918	2164.64	344.6
3		10.96	1.391	233.09	90.5
4		11.08	6.526	1093.56	268.3
5		13.04	3.999	670.11	273.2
6		16.15	2.761	462.62	160.8
7		21.31	6.939	1162.81	308.9
8		26.25	1.323	221.67	62.0
9		28.69	2.976	498.69	153.2
10		30.89	3.986	667.99	163.6
11		33.56	11.015	1845.83	521.1
12		35.23	19.942	3341.66	690.6
13		39.36	15.327	2568.31	376.4
TOTAL			100.000	16757.29	3805.6

**Cromatógrama de una Corrida Muestra de la Campaña Oceanográfica del 2002.**



\*\*\*\*\* Result \*\*\*\*\*



Sampling conditions

Sample flow rate : 21 ml/min  
 Sampling time : 4 min  
 Trap temp : 10°C  
 Trap drying trap : 2 min  
 Purge gas flow : 20 ml/min  
 Trap : HC special, 1/8 in. 15 cm long

Sample introductions conditions

Desorption temp : 250°C  
 Desorption time : 4 min

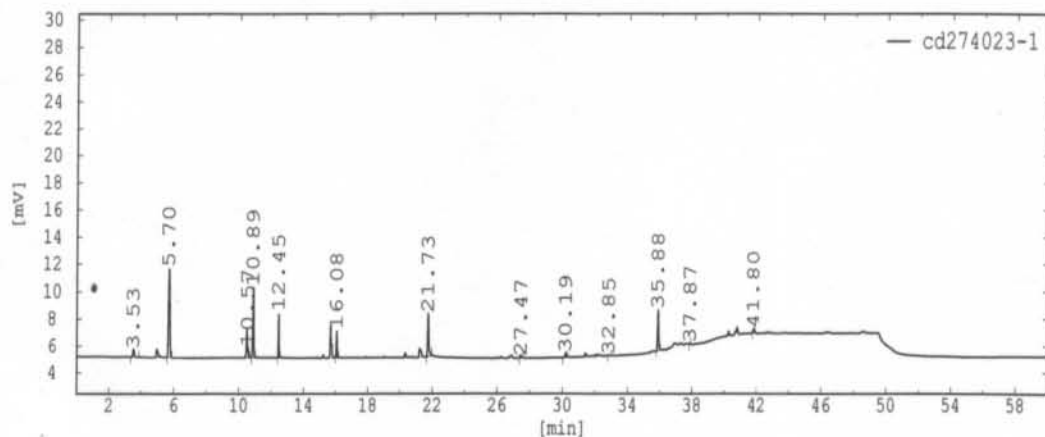
Analytical conditions

Column : Alumina PLOT i.d.0.53 mm, 30m +  
 Methylsilicone i.d. 0.5 mm, 1.5 film, 30m long  
 Carrier gas : He, 6 ml/min  
 Oven temp. : 40°C, 4 min, 8°C/min up to 100°C, 6°C/min up to 240°C, 10 min  
 Detector : FID, 300°C  
 Humidifier condition : 25°C, dry by molecular sieve

PKNO	NAME	TIME MARK	CONC	AREA	HEIGHT
1		3.52	2.700	204513.65	20883.9
2		5.58	5.368	406641.21	57623.3
3		10.36	5.280	399959.92	107881.2
4		10.64	V 7.788	589927.27	115848.8
5		12.17	4.618	349786.44	67545.1
6		15.62	8.693	658509.75	166664.6
7		20.54	8.395	635895.34	77892.4
8		25.30	9.632	729612.08	106357.9
9		27.62	8.476	642069.76	43645.0
10		29.77	11.275	854027.93	93524.5
11		32.27	8.796	666306.99	53436.2
12		33.89	10.773	816043.20	77343.4
13		36.85	8.205	621528.38	57384.8
TOTAL			100.000	7574821.94	1046031.1

Cromatógrama del Estándar para la Campaña Oceanográfica del 2003

\*\*\*\*\* Result \*\*\*\*\*



Sampling conditions

Sample flow rate : 21 ml/min  
 Sampling time : 4 min  
 Trap temp : 10°C  
 Trap drying trap : 2 min  
 Purge gas flow : 20 ml/min  
 Trap : HC special, 1/8 in. 15 cm long

Sample introductions conditions

Desorption temp : 250°C  
 Desorption time : 4 min

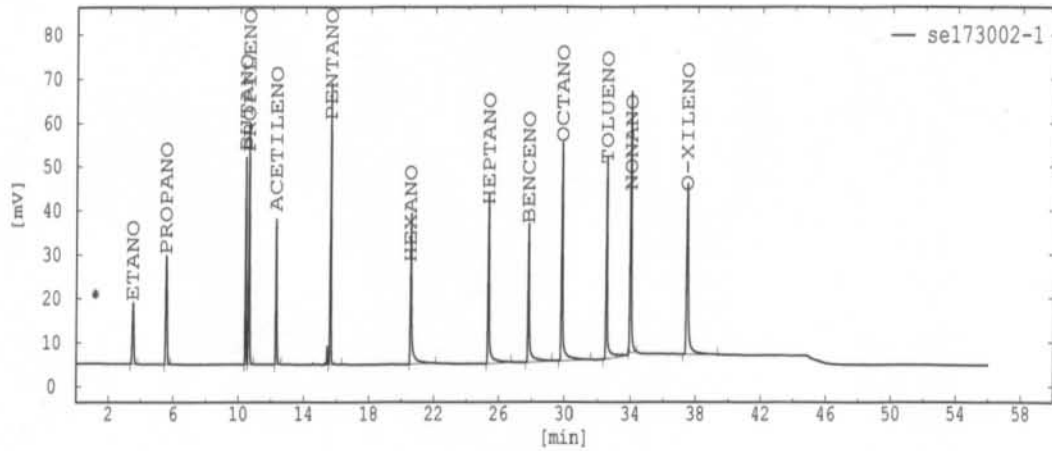
Analytical conditions

Column : Alumina PLOT i.d.0.53 mm, 30m +  
 Methylsilicone i.d. 0.5 mm, 1.5 film, 30m long  
 Carrier gas : He, 6 ml/min  
 Oven temp. : 40°C, 4 min, 8°C/min up to 100°C, 6°C/min up to 240°C, 10 min  
 Detector : FID, 300°C  
 Humidifier condition : 25°C, dry by molecular sieve

PKNO	NAME	TIME MARK	CONC	AREA	HEIGHT
1		3.53	2.865	3354.29	588.1
2		5.70	V 31.716	37129.73	6589.9
3		10.57	V 1.971	2307.58	801.4
4		10.89	18.767	21970.20	5212.2
5		12.45	7.470	8744.77	3404.0
6		16.08	6.056	7089.95	2060.7
7		21.73	14.353	16802.73	3225.9
8		27.47	0.892	1044.75	132.5
9		30.19	1.355	1585.79	352.6
10		32.85	0.190	222.40	54.4
11		35.88	12.424	14544.79	3020.2
12		37.87	0.150	175.52	54.0
13		41.80	V 1.792	2097.40	331.5
TOTAL			100.000	117069.89	25827.3

Cromatógrama de una Corrida Muestra de la Campaña Oceanográfica del 2003.

\*\*\*\*\* Result \*\*\*\*\*



Sampling conditions

Sample flow rate : 21 ml/min  
 Sampling time : 4 min  
 Trap temp : 10°C  
 Trap drying trap : 2 min  
 Purge gas flow : 20 ml/min  
 Trap : HC special, 1/8 in. 15 cm long  
 Sample introductions conditions  
 Desorption temp : 250°C  
 Desorption time : 4 min

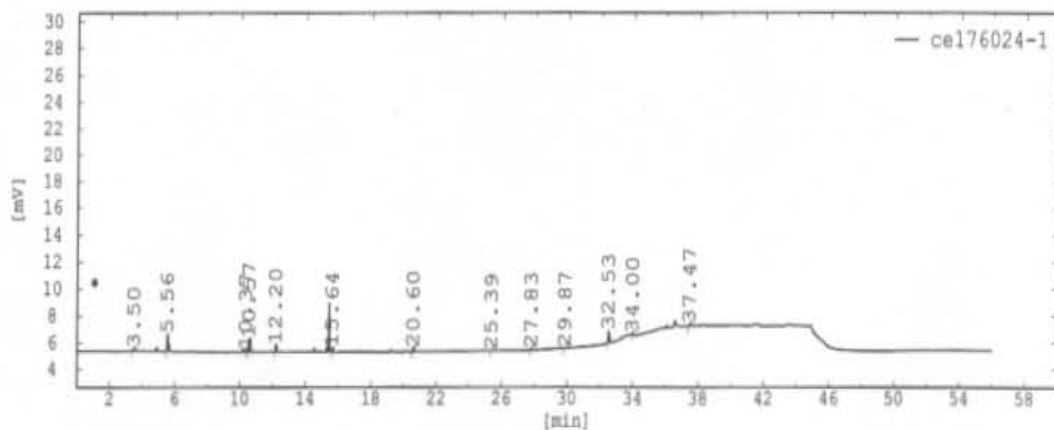
Analytical conditions

Column : Alumina PLOT i.d.0.53 mm, 30m +  
 Methylsilicone i.d. 0.5 mm, 1.5 film, 30m long  
 Carrier gas : He, 6 ml/min  
 Oven temp. : 40°C, 4 min, 8°C/min up to 100°C, 6°C/min up to 240°C, 10 min  
 Detector : FID, 300°C  
 Humidifier condition : 25°C, dry by molecular sieve

PKNO	NAME	TIME MARK	CONC	AREA	HEIGHT
1	ETANO	3.51	100.860	90928.64	14255.6
2	PROPANO	5.57	100.843	156087.47	24874.8
3	BUTANO	10.43	87.626	154632.52	48602.2
4	PROPILENO	10.63	V 107.754	229826.38	54672.1
5	ACETILENO	12.28	100.004	137155.55	34746.2
6	PENTANO	15.61	99.449	245921.61	63971.0
7	HEXANO	20.54	106.926	211208.18	23117.9
8	HEPTANO	25.36	99.661	233250.85	35991.6
9	BENCENO	27.80	101.799	195466.47	31377.1
10	OCTANO	29.83	104.021	301866.77	49762.8
11	TOLUENO	32.52	70.841	260927.19	44294.0
12	NONANO	34.01	125.874	330698.52	36715.2
13	O-XILENO	37.43	101.917	330514.81	37012.0
TOTAL			1307.575	2878484.96	499392.6

**Cromatógrama del Estándar para la Campaña Oceanográfica del 2004.**

\*\*\*\*\* Result \*\*\*\*\*



Sampling conditions

Sample flow rate : 21 ml/min  
 Sampling time : 4 min  
 Trap temp : 10°C  
 Trap drying trap : 2 min  
 Purge gas flow : 20 ml/min  
 Trap : HC special, 1/8 in. 15 cm long

Sample introductions conditions

Desorption temp : 250°C  
 Desorption time : 4 min

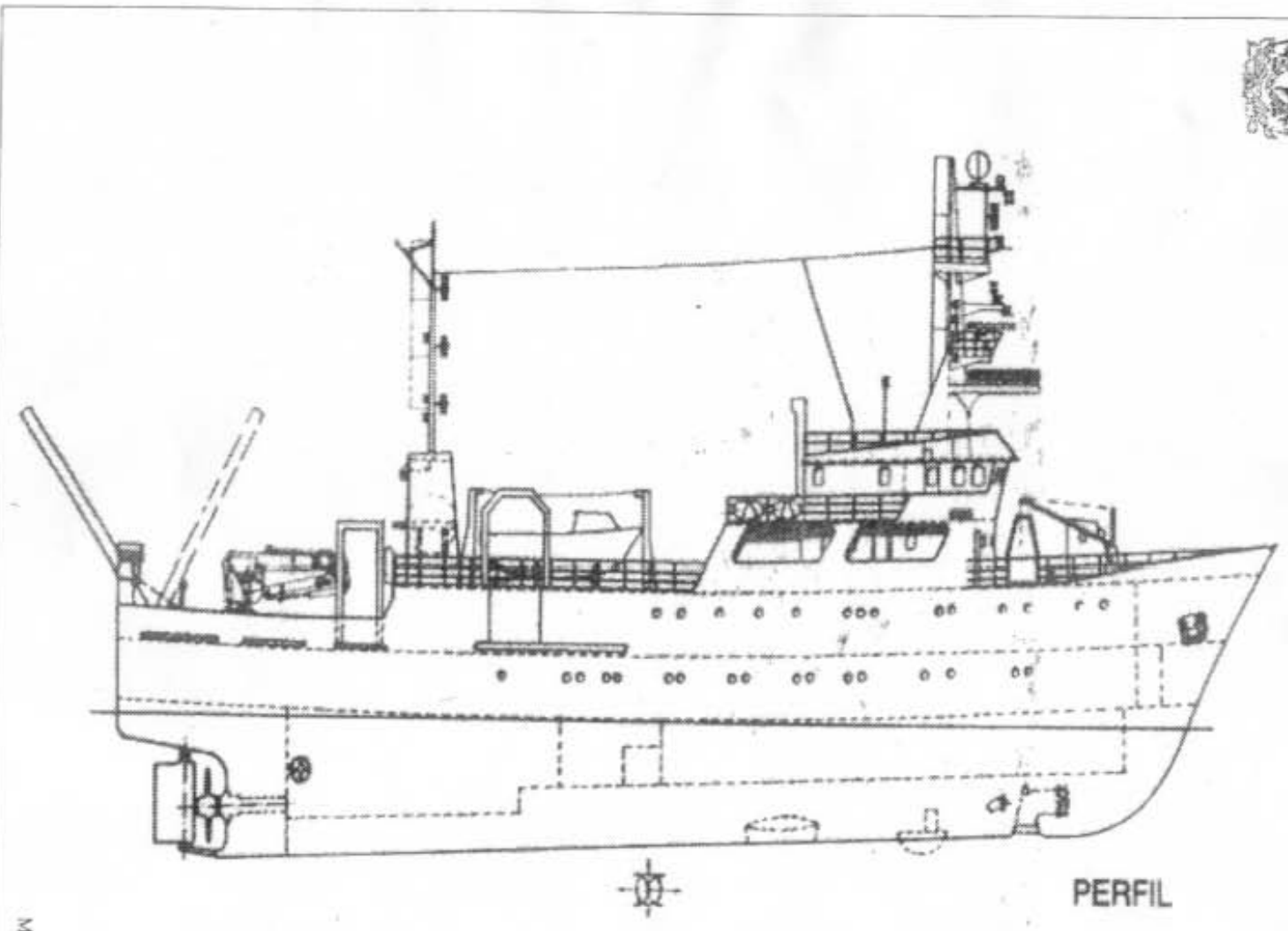
Analytical conditions

Column : Alumina PLOT i.d.0.53 mm, 30m +  
 Methylsilicone i.d. 0.5 mm, 1.5 film, 30m long  
 Carrier gas : He, 6 ml/min  
 Oven temp. : 40°C, 4 min, 8°C/min up to 100°C, 6°C/min up to 240°C, 10 min  
 Detector : FID, 300°C  
 Humidifier condition : 25°C, dry by molecular sieve

PKNO	NAME	TIME MARK	CONC	AREA	HEIGHT
1		3.50	6.659	1422.54	237.4
2		5.56	30.297	6472.22	1306.6
3		10.37	2.340	499.95	178.8
4		10.57	17.275	3690.50	1009.0
5		12.20	6.821	1457.25	531.5
6		15.64	V 5.951	1185.76	316.0
7		20.60	5.783	1235.38	299.4
8		25.39	0.808	172.52	41.9
9		27.83	V 1.682	359.37	93.9
10		29.87	0.794	169.62	32.5
11		32.53	17.761	3794.33	941.5
12		34.00	0.753	160.95	51.0
13		37.47	3.475	742.35	126.5
TOTAL			100.000	21362.72	5165.8

Cromatograma de una Corrida Muestra de la Campaña Oceanográfica del 2004

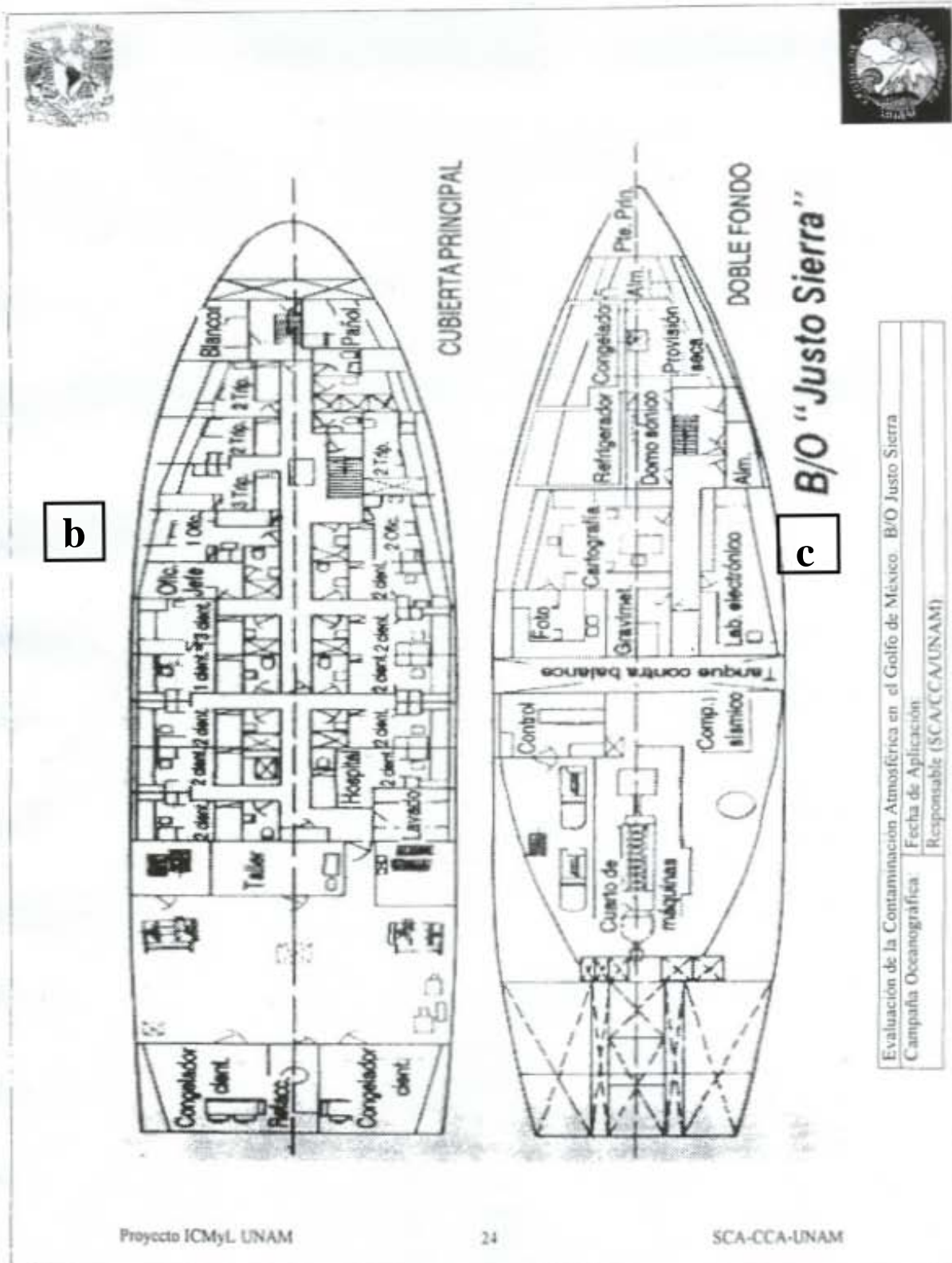
ANEXO V  
PARTES DEL BUQUE OCEANOGRÁFICO  
JUSTO SIERRA  
UNAM



Evaluación de la Contaminación Atmosférica en el Golfo de México. B/O Justo Sierra	
Campaña Oceanográfica:	Fecha de Aplicación:
	Responsable (SCA/CCA/UNAM):



- 2- b) Cubierta Principal
- c) Doble fondo



Proyecto ICMyl UNAM

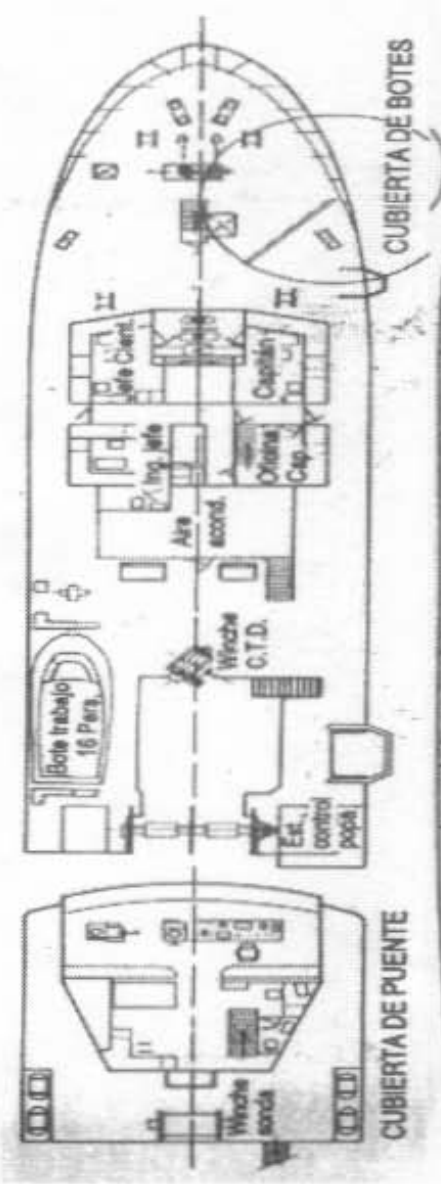
SCA-CCA-UNAM

Evaluación de la Contaminación Atmosférica en el Golfo de México. B/O Justo Sierra
Campaña Oceanográfica
Fecha de Aplicación
Responsable (SCA/CCA/UNAM)

- 3- d) Cubierta Puente
- e) Cubierta Abrigo



**d**



**e**



Evaluación de la Contaminación Atmosférica en el Golfo de México. B/O Justo Sierra	
Campaña Oceanográfica:	Fecha de Aplicación:
Responsable (SCA/CCA/UNAM):	