



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTILÁN**

**“EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE  
BIÓXIDO DE CARBONO EN LA ATMÓSFERA  
DEL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA**

**P R E S E N T A :**

**CELIA MARTÍNEZ VELÁZQUEZ**

**ASESORES: DR. RODOLFO SOSA ECHEVERRIA  
DR. HUMBERTO BRAVO ÁLVAREZ**

**CUAUTILÁN IZCALLI, EDO. DE MEX. 2009**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNAM  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN  
ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES  
ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 26 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

"Evaluación de las concentraciones de bióxido de carbono en la atmósfera del Sur del Golfo de México".

que presenta la pasante: Celia Martínez Velázquez  
con número de cuenta: 7926923-8 para obtener el título de :  
Química Farmacéutica Bióloga

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 25 de Mayo de 2009

PRESIDENTE	<u>MC. José de Jesús Pérez Saavedra</u>	
VOCAL	<u>MC. Marina L. Morales Galicia</u>	
SECRETARIO	<u>Dr. Rodolfo Sosa Echeverría</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>IA. Natividad Venegas Herrera</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Dra. María Inés Nicolás Vázquez</u>	

## *Agradecimientos*

*Al Dr. Humberto Bravo Álvarez, jefe de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su confianza, su experiencia y su apoyo incondicional para hacer posible la realización de este trabajo de tesis.*

*Al Dr. Rodolfo Sosa Echeverría de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su confianza, asesoría, apoyo, tiempo y guiar el desarrollo de este trabajo de tesis, que fueron de gran valía.*

*Al Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Coordinador de las Campañas Oceanográficas y responsable del proyecto UNAM-PEMEX.*

*Al personal que participó en las campañas oceanográficas y cuyo trabajo fue fundamental para la obtención de información sobre la calidad del aire en el Golfo de México: Biol. Pablo Sánchez Álvarez, Ing. Q. Jorge David Santacruz Morhy, Ing. Q. Pedro Hernández Nieto de la Sección de Contaminación Ambiental, P. de Quim. Armando Retama Hernández del Sistema de Monitoreo Atmosférico del Gobierno del Distrito Federal.*

*A la M en I Mónica Jaimes Palomera por el manejo de la base de datos de calidad del aire.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México por acogerme como alumna de la Facultad de Estudios Cuautitlán y permitirme utilizar sus instalaciones para tener un desarrollo profesional.*

*A los profesores de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por aplicar las estrategias idóneas que logran el aprendizaje y la preparación de los profesionistas egresados de dicho plantel.*

*Al Jurado: MC. José de Jesús Pérez Saavedra, MC. Marina L. Morales Galicia, Dr. Rodolfo Sosa Echeverría, IA Natividad Venegas Herrera y Dra. María Inés Nicolás Vázquez, por las observaciones, correcciones y sugerencias realizadas a este trabajo de tesis que permitieron mejorar su calidad.*

*A los Sinodales: Dr. Rodolfo Sosa Echeverría, Dr. Humberto Bravo Álvarez, por la revisión y sugerencias hechas a este trabajo de tesis.*

*A la MC. Marina L. Morales por las correcciones de redacción, contenido y el tiempo dedicado a la terminación de este trabajo de tesis.*

## *Dedicatorias*

*A mis hijos Edcel y Daniela Fuerte Martínez por su apoyo, por su cariño, por los detalle que tienen para conmigo, por el tiempo que no he estado con ustedes para poder realizar esta tesis, porque los amo y porque son mi motivación para seguir trabajando y superándome.*

*A mi esposo Miguel por su comprensión, apoyo, tolerancia y respeto a mis decisiones.*

*A mi mamá Juana por haberme dado la vida, por ser para mí un ejemplo de honestidad, respeto, tolerancia y trabajo.*

*A mi papá Francisco por la confianza y cariño que siempre me ha dado.*

*A mis hermanos: Gabriel, Bernardo y Teresa por su confianza y cariño.*

*A mis sobrinos: Bernardo, Mauricio, Raúl, Karla, Efrén y Merari por su cariño.*

*Al Dr. Humberto Bravo Álvarez y al Dr. Rodolfo Sosa Echeverría por haber confiado en mi, brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis al abrirme las puertas de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera y facilitarme todos los medios necesarios para la realización de la misma.*

*Muy en especial al Dr. Rodolfo Sosa Echeverría por la motivación, tolerancia, respeto y amistad que me dio durante mi estancia en la Sección.*

*A mis compañeros y amigos de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera con los que compartí gratos momentos: Ana Luisa Alarcón, Gilberto Fuentes, Sandra Viruegas, Jorge Santacruz, Adrián Marin, Iris Violeta Cureño, Magaly Ortega, Gabriela Domínguez, Pedro Hernández y Chedy Herrera.*

*A mis compañeras(os) y amigas(os) de Trabajo: Verónica Sosa, Rocío Peña, Carmen, Lucia Lainez, Marysol, Mayra, Lycha, Héctor Sotelo, Julio César, Oseas Mecinas y Ubaldo; por su confianza, cariño y comprensión.*

---

---

**CONTENIDO**

Resumen.....	iii
Lista de Figuras.....	v
Lista de Tablas.....	vii
Glosario de Términos.....	viii
<b>1.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
Objetivo.....	3
Objetivos específicos.....	3
Importancia del estudio.....	4
<b>2.- ANTECEDENTES.....</b>	<b>6</b>
2.1 El Golfo de México y las actividades petroleras.....	6
2.2 Inventario nacional de gases de efecto de invernadero 2002.....	7
2.3 Emisiones de bióxido de carbono por la industria en los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche.....	8
2.4 Características del bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) en la atmósfera.....	9
2.4.1 Fuentes de CO <sub>2</sub> .....	11
2.4.2 El CO <sub>2</sub> y la lluvia ácida.....	12
2.5 Disolución marina de CO <sub>2</sub> y ventilación oceánica.....	14
2.5.1 Elementos disueltos (solutos).....	14
2.5.2 Intercambio con el aire.....	15
2.5.3 Ventilación oceánica.....	15
2.6 Variaciones climáticas.....	16
2.6.1 Más allá de las variaciones climáticas.....	18
2.7 Medidas de prevención y control de CO <sub>2</sub> en México.....	22
2.7.1 Acciones y arreglo institucional nacional ante las variaciones climáticas.....	22
<b>3.- DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.....</b>	<b>24</b>
3.1 Antecedentes sobre calidad del aire en el Golfo de México.....	25
3.1.1 Mediciones atmosféricas de bióxido de carbono.....	26
3.1.2 Eventos de la deposición ácida durante el otoño de 2003 en un crucero de investigación sobre el golfo de México (SGM-08).....	29
3.1.3 Calidad del aire por partículas en el golfo de México.....	30

---

---

3.1.4 Estimación de emisiones a la atmósfera provenientes de quemadores elevados de instalaciones petroleras en la sonda de Campeche.....	32
<b>4.- METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN.....</b>	<b>36</b>
4.1 Metodología de muestreo y análisis.....	38
4.2 Sitios de muestreo y número de muestras.....	40
4.3 Aseguramiento y control de calidad.....	41
<b>5.- RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>43</b>
5.1 Crucero SGM-08.....	43
5.2 Crucero SGM-09.....	53
<b>6.- EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>66</b>
6.1 Comportamiento por día de las concentraciones de CO <sub>2</sub> para el crucero SGM-08....	69
6.2 Comportamiento por día de las concentraciones de CO <sub>2</sub> para el crucero SGM-09....	74
6.3 Comparación entre las concentraciones de CO <sub>2</sub> registradas en los años 2003 y 2004.....	78
<b>7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>84</b>
7.1 Conclusiones.....	84
7.2 Recomendaciones.....	85
<b>8.- BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>87</b>
<b>9.- ANEXOS.....</b>	<b>93</b>
I Base de datos de CO <sub>2</sub> del crucero oceanográfico del año 2003.....	93
II Base de datos de CO <sub>2</sub> del crucero oceanográfico del año 2003.....	99
III Método de muestreo y análisis.....	105
IV Calibración del equipo de medición.....	109

---

---



## RESUMEN

El bióxido de carbono es un gas que forma parte de la composición química del aire y la presencia de éste en la atmósfera es fundamental para completar el ciclo del carbono. Sin embargo, a través de los años su concentración se ha ido incrementando debido principalmente a las actividades antropogénicas y aproximadamente el 48% de ellas se debe a la quema de combustibles fósiles.

El Golfo de México tiene una intensa actividad petrolera, realizada entre México y Estados Unidos. En México, el 80% de la producción nacional de combustibles fósiles se deriva de pozos marinos en plataformas petroleras.

La Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, en colaboración con otras instituciones, ha realizado a la fecha cinco cruceros de investigación, para evaluar la calidad del aire en el Golfo de México, entre los gases que se han analizado están los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos totales, bióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono, compuestos orgánicos volátiles y bióxido de carbono. Durante el otoño de 2003 y el verano de 2004 se monitoreo el bióxido de carbono en los dos últimos cruceros correspondientes al Sur del Golfo de México.

El vapor de agua, bióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, ozono y los clorofluorocarbonos, son gases que contribuyen al efecto de invernadero, que consiste en que la radiación infrarroja queda atrapada en la atmósfera debido a la presencia de dichos gases, ya que estos tienen diferente capacidad para absorber este tipo de radiación. El incremento en la concentración de los gases de invernadero, en la atmósfera, trae consigo un aumento en la temperatura, provocando variaciones climáticas.

En 1988 se formó el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático; sus objetivos son evaluar las evidencias de cambios en el clima mundial y los efectos ambientales y socio-económicos de estos cambios, así como sugerir estrategias de respuesta.

En este trabajo se hace una evaluación de las concentraciones de bióxido de carbono en el Sur del Golfo de México, la metodología que se utilizó en los cruceros de los años 2003 y 2004, consistió en realizar un monitoreo continuo con equipo automático que operó con radiación infrarrojo, haciendo mediciones durante los aproximadamente treinta días que duró cada uno de los cruceros. No existe metodología para la determinación de bióxido de carbono, que esté regulada por las Normas Oficiales Mexicanas o por la United States Environmental Protection Agency (USEPA), no obstante se utilizó la mejor metodología existente para la determinación automática de CO<sub>2</sub> en aire ambiente.

La evaluación de las concentraciones obtenidas de bióxido de carbono se realizó a través del análisis estadístico, mediante gráficas de caja para comparar las concentraciones obtenidas en los cruceros de los años 2003 y 2004. También se llevaron a cabo las pruebas no paramétrica de Wilcoxon y Friedman para determinar si existe o no una diferencia significativa, presentándose diferencia entre los dos cruceros realizados en 2003 y 2004 con concentraciones promedio de 340.63 y 387.65 respectivamente.

---



---

**LISTA DE FIGURAS**

Figura	Página
1. Emisiones de Gases de Efecto de Invernadero en México por tipo de fuente de emisión (consumo y generación).....	7
2. Fuentes de emisión con base a balance de energía .....	8
3. Molécula de Bióxido de Carbono.....	9
4. Efecto de Invernadero en la Tierra.....	10
5. Solubilidad del Bióxido de Carbono.....	14
6. Sitios de muestreo de CO <sub>2</sub> atmosférico por el SIO .....	17
7. Incremento de la Concentración de CO <sub>2</sub> en Baja California Sur por el SIO.....	18
8. Cambios en el Bióxido de Carbono y Temperatura en los últimos 400,000 años.....	19
9. Presesión de los Equinoccios.....	20
10. Excentricidad de la órbita de traslación de la Tierra alrededor del Sol.....	21
11. Oblicuidad del eje.....	21
12. El Golfo de México.....	24
13. Localización de los sitios de muestreo durante el crucero de Julio-Agosto 1986.....	28
14. Ubicación de la zona de explotación petrolera en el Sur del Golfo de México.....	32
15. Buque Oceanográfico “Justo Sierra” de la UNAM.....	39
16. Derrotero de los cruceros en el Sur del Golfo de México.....	40
17. Analizadores de gases.....	41
18. En esta torre se encuentra ubicada la toma de muestra (teflón) .....	42
19. Torre de meteorología y toma de muestra (teflón) de contaminantes atmosféricos..	42
20. Gráficas del comportamiento diario de CO <sub>2</sub> del 3 de septiembre al 5 de octubre de 2003.....	43
21. Zona de Plataformas.....	46
22. Plano Derrotero para la Campaña Oceanográfica SGM-8.....	47
23. Gráfica del comportamiento diario de Hidrocarburos Totales 2003.....	48
24. Gráfica del comportamiento diario de Bióxido de azufre 2003.....	49
25. Gráfica del comportamiento diario de Óxidos de nitrógeno 2003.....	50
26. Gráficas del promedio diario por semana del SGM -08.....	51
27. Gráficas con el promedio diario sin picos para cada semana del crucero SGM-08....	52
28. Gráficas de comportamiento diario de CO <sub>2</sub> del 9 de mayo al 7 de junio de 2004.....	53
29. Plano Derrotero para la Campaña Oceanográfica SGM-9.....	61

---



---

---

---

30. Comportamiento diario de SO <sub>2</sub> en el Sur del Golfo de México, Mayo-Junio 2004.....	62
31. Comportamiento diario de NO, NO <sub>2</sub> y NO <sub>x</sub> en el Sur del Golfo de México, Mayo-Junio 2004.....	63
32. Gráficas con el promedio diario para cada semana del SGM-09.....	64
33. Gráficas con el promedio diario sin picos para cada semana del crucero SGM-09.....	65
34. Representación de un diagrama de caja.....	68
35. Grafica de caja por día de las concentraciones de CO <sub>2</sub> para el año 2003.....	70
36. Gráfica de comparación entre noche y día para el año 2003.....	71
37. Grafica de caja por día de las concentraciones de CO <sub>2</sub> para el año 2004.....	75
38. Gráfica de comparación entre noche y día para el año 2004.....	76
39. Gráfica de comparación de concentraciones entre los años 2003 y 2004.....	78
40. Comparación entre los cruceros SGM08 y SGM09 sin picos.....	81
41. Diagrama del sistema de bloques.....	105
42. Rueda del filtro de correlación de gases.....	107
43. Ilustración de la trayectoria óptica.....	107
44. Fotodetector de Infrarrojo.....	108
45. Calibración del analizador de CO <sub>2</sub> por el método de dilución.....	110
46. Calibración del analizador de CO <sub>2</sub> por el método de cilindros múltiples.....	111

---

---

---

---

**LISTA DE TABLAS**

Tabla	Página
1. Emisiones de CO <sub>2</sub> en Campeche, Tabasco y Veracruz.....	8
2. Muestras de CO <sub>2</sub> y CH <sub>4</sub> , colectadas durante el cruceo de 1986.....	27
3. Resumen de volumen quemado y emisiones generadas para cada período de estudio.....	34
4. Emisiones de cada periodo por contaminante (Toneladas métricas para cada período de estudio).....	34
5. Comparación de los valores de concentración elevada de CO <sub>2</sub> en ppm con los gases HCT, SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> para el cruceo SGM-08.....	45
6. Comparación de los valores de concentración de CO <sub>2</sub> para el cruceo SGM-09 con los gases SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> en ppm.....	54
7. Análisis estadístico de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm (Estadística básica).....	69
8. Estadísticos descriptivos para la comparación de la concentración de CO <sub>2</sub> entre el día y la noche para el año 2003.....	72
9. Estadísticos de contraste de los rangos con signo de Wilcoxon.....	73
10. Estadísticos de contraste para la prueba de Friedman.....	73
11. Análisis estadístico de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm (Estadística básica).....	74
12. Estadísticos descriptivos para la comparación día-noche 2004.....	77
13. Estadísticos de contraste para la prueba de Wilcoxon.....	77
14. Estadísticos Descriptivos de la gráfica comparación de CO <sub>2</sub> para los años 2003-2004.....	79
15. Estadísticos de contraste de la prueba de Wilcoxon.....	80
16. Estadísticos de contraste de la prueba de Friedman.....	80
17. Estadísticos Descriptivos de la gráfica comparación 2003-2004 sin picos.....	82
18. Estadísticos de contraste de la prueba con signos de Wilcoxon.....	82
19. Estadísticos de contraste de la Prueba de Friedman.....	83

---

---

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

bb: billones de barriles  
CAC: Captación y almacenamiento de Carbono  
CCA: Centro de Ciencias de la Atmósfera  
CH<sub>4</sub>: Metano  
CO: Monóxido de Carbono  
CO<sub>2</sub>: Bióxido de Carbono  
COVs: Compuestos Orgánicos Volátiles  
COVNM: Compuestos Orgánicos Volátiles, No Metano  
Gg: Gigagramos  
GMCC: Geophysical Monitoring for Climatic Change  
Gt: Gigatoneladas  
HCT: Hidrocarburos Totales  
IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change  
Mt: Millones de toneladas  
NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration  
NOM: Normas Oficiales Mexicanas  
NO<sub>x</sub>: Óxidos de nitrógeno  
NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: Nitrato  
O<sub>3</sub>: Ozono  
OSTP: Oficina Presidencia para Ciencia y Tecnología  
PEMEX: Petroleos Mexicanos  
Pg: Petagramos (1Pg = 1000 millones de toneladas)  
PM: Partículas de Materia  
SCA: Sección de Contaminación Ambiental  
SGM: Sur del Golfo de México  
SM: Secretaria de Marina  
SO<sub>2</sub>: Bióxido de Azufre  
tcf: trillones de pies cúbicos  
USA: United States of America  
USCUSS: Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura  
USEPA: United States Environmental Protection Agency  
UV: Universidad Veracruzana

---

---

## 1.- INTRODUCCIÓN

Con el propósito de evaluar la calidad del aire en el Golfo de México la Sección de Contaminación Ambiental (SCA) del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en colaboración con otras instituciones, ha realizado a la fecha cinco cruceros de investigación.

En 1986 se realizó un crucero, en el Buque Oceanográfico H-02 de la Secretaría de Marina, en el que se midieron concentraciones de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ), entre otros gases, en la atmósfera del Golfo de México. El propósito de estas mediciones fue: determinar el incremento de sus concentraciones y la distribución regional de estas especies. Es importante conocer el incremento de estos gases, debido al potencial que tienen para absorber la radiación en el espectro de infrarrojo, (Parungo y Miller, 1988).

En este año de 1986, además de los estudios sobre Química Atmosférica, también se realizaron estudios sobre la lluvia ácida en la costa del Golfo de México, por investigadores mexicanos adscritos a la SCA-CCA UNAM. En estos estudios participaron instituciones tales como el Laboratorio Oceanográfico de Veracruz, de la Secretaría de Marina (SM) y la National Oceanic and Atmospheric Administration (US-NOAA) de los Estados Unidos de América; las actividades consistieron en: identificación, transporte, transformación y ocurrencia de contaminantes atmosféricos, así como en la determinación del pH de la precipitación en las regiones costeras del Golfo de México.

Esta colaboración bilateral entre científicos de los Estados Unidos de Norteamérica (USA) y científicos mexicanos, originó resultados muy importantes para el conocimiento de la relación océano-atmósfera en el Golfo de México.

Es hasta el año 2002 cuando se realizan nuevamente las investigaciones sobre calidad del aire en el Golfo de México. Cuatro cruceros se realizaron entre 2002 al 2004, a bordo del buque "Justo Sierra", uno en el Oriente y tres en el Sur del Golfo de México. La meta de estos cruceros fue "la determinación de la calidad del aire en el Golfo de México" buscando obtener la información adecuada, tanto en calidad como en representatividad para lograr obtener resultados estadísticamente significativos. Debido a las emisiones propias de la actividad petrolera de la zona, así como de otras actividades más lejanas, se

---

consideró la necesidad de comprobar la presencia de precipitación ácida y evaluar sus precursores: bióxido de azufre, y óxidos de nitrógeno (Bravo, 2003).

Los gases determinados en estos estudios fueron: monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), hidrocarburos totales (HCT) y bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Las mediciones se hicieron tanto en la costa, como en mar adentro. De acuerdo a lo anteriormente expuesto el presente trabajo se enfocará a la evaluación de los resultados obtenidos durante el monitoreo de gases, en los dos últimos cruceros correspondientes al Sur del Golfo de México, en donde se llevó a cabo la medición de concentraciones en la atmósfera de bióxido de carbono mediante un analizador automático.

A fin de evaluar el potencial de la captación y el almacenamiento de bióxido de carbono como opción para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> mundiales, se ha examinado la actual relación geográfica mundial entre las grandes fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> estacionarias y su proximidad a los posibles lugares de almacenamiento. Las emisiones de CO<sub>2</sub> en los sectores residencial, comercial y de transporte no se han tomado en cuenta en este análisis, ya que cada una de estas fuentes de emisión es pequeña, y a menudo son móviles y por lo tanto, no son apropiadas para la captación y el almacenamiento.



### **OBJETIVO**

Evaluar las concentraciones de bióxido de carbono en la atmósfera del Sur del Golfo de México determinando estadísticamente si existe diferencia significativa entre los periodos en los que se realizaron las mediciones.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Investigar información sobre el bióxido de carbono para conocer la relación de este gas con la atmósfera.
- Revisar y validar los resultados monitoreados de bióxido de carbono de la base de datos, descartando la influencia de diversas fuentes de contaminación.
- Realizar el análisis estadístico correspondiente a las mediciones de bióxido de carbono obtenidas durante los cruceros al Sur del Golfo de México para determinar la tendencia central y la distribución de las concentraciones.
- Identificar estadísticamente si existe diferencia significativa entre las mediciones realizadas durante el día y la noche en cada uno de los cruceros, así como también indicar si existe diferencia significativa entre los dos cruceros.
- Identificar la importancia de este estudio y el impacto que representa en las aportaciones sobre Contaminación Ambiental en el Sur del Golfo de México.

## IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La importancia de realizar una evaluación del bióxido de carbono, se debe a que forma parte de la composición química del aire y porque es uno de los gases causantes del efecto de invernadero, relacionado con las variaciones climáticas.

El sol es la única fuente externa de calor de la Tierra. Cuando su superficie es alcanzada por la radiación solar, en forma de luz visible, una parte de ella es absorbida por la atmósfera y reflejada por las nubes, desiertos y nieves. La radiación remanente es absorbida por la superficie terrestre, calentándola y entibiando la atmósfera, generándose, la emisión de radiación infrarroja. Debido a que la atmósfera permite relativamente el paso a la radiación solar, pequeñas cantidades de gases presentes en ella - conocidos como gases de efecto invernadero (GEI) - absorben la radiación infrarroja, actuando como una capa que previene el escape de la radiación hacia el espacio, calentando la superficie de la Tierra al disminuir la emisión de radiación. Este es el llamado efecto de invernadero, el cual ha operado en la atmósfera de la Tierra por billones de años, debido a la presencia de los GEI naturales: vapor de agua, bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano, ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ) y ozono ( $\text{O}_3$ ). Si no existiesen estos gases, la temperatura promedio de la Tierra sería  $30\text{ }^\circ\text{C}$  más baja que en la actualidad, haciéndola inhabitable. [www.sinia.cl](http://www.sinia.cl).

El nivel de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera está aumentando de modo alarmante durante los últimos decenios, debido a las actividades antropogénicas. Las emisiones de dicho gas rebasan las capacidades de los procesos geológicos y biológicos naturales para capturar y almacenar el carbono emitido, por lo que está aumentando el efecto invernadero natural de la tierra.

En un inventario de emisiones que considera 174 plataformas en el Golfo de México, la estación de la recompresión en Atasta, Dos Bocas, (terminal marina para el almacenaje y el tratamiento de petróleo crudo) y la estación de transbordo en Cayo de Arcas, indica que la masa total de los contaminantes atmosféricos emitidos fue casi 660,000 toneladas por año. Para estimar las emisiones de  $\text{CO}_2$ , se consideraron las recomendaciones del IPCC, de que el 99.5% del carbono presente en el gas se convierte en  $\text{CO}_2$  durante la combustión (Villaseñor, 2003).

---

Aunque existe polémica en torno a las variaciones climáticas, es un hecho que se requieren evaluaciones serias de los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera local, regional y global y este estudio es una contribución en México.

## **2.- ANTECEDENTES**

### **2.1.- GOLFO DE MÉXICO Y LAS ACTIVIDADES PETROLERAS**

El Golfo de México es uno de las regiones petroleras más grandes del mundo. La porción sureste es altamente productiva de petróleo y contiene más del 80% de las reservas totales de crudo en México (Brooks, 1990). La exploración en la cuenca del sureste, que abarca Salina Cruz, Chiapas, Tabasco, Campeche y Macuspana, comenzó a finales de 1920s y los principales descubrimientos ocurrieron en los 1950s para la cuenca Salina y en los 1970s e inicios de 1980s para las áreas de Chiapas-Tabasco y Campeche; con excepción de la cuenca Macuspana, la cual es básicamente de gas, todas las cuencas son de petróleo. Los recursos petroleros de estas cuencas están concentrados en el área de la Sonda de Campeche la cual tiene más del 80% de las reservas así como la producción total de México (Guzmán Vega y Mello, 1999).

Sin duda, la contaminación marina por la actividad petrolera en las costas mexicanas es un problema de gran importancia ambiental en la actualidad. Esto se debe a que nuestro país es uno de los principales productores y exportadores de petróleo y sus derivados para Latinoamérica, Estados Unidos, Canadá, Europa y Asia; en el Golfo de México se localizan las más grandes provincias petroleras del mundo, cuyos recursos se estiman entre 2.24 y 21.9 bbl de petróleo crudo y de 5.48 a 44.4 tcf de gas natural (Foote et al., 1983); en octubre de 2003 se alcanzó la producción máxima de petróleo con la cifra de 3,688,000 barriles, generando un ingreso de 341 mil millones de pesos para este mismo año lo cual representó el 54% de las ventas totales nacionales, es importante mencionar que PEMEX destinó 19 mil millones de pesos para el rubro ambiental (Ponce, 2005)

En el año de 1999 para las actividades petroleras en el Golfo de México se realizó un inventario de emisiones por el Instituto Mexicano del Petróleo, para determinar los impactos de emisiones por la explotación y producción de petróleo y gas por la Industria Mexicana en los estados de Campeche y Tabasco. Este inventario es hasta ahora el registro más detallado que se ha desarrollado por la industria petrolera mexicana en esta área. (Villaseñor, et al 2003).

La Sonda de Campeche, localizada en la porción del suroeste del Golfo de México, en la costa de los estados de Tabasco y de Campeche en México, representa una región importante para incrementar el desarrollo económico de México. Esta región es un sistema oceanográfico complejo y dinámico, caracterizado por su producción béntica. Además de los recursos de la industria pesquera, es un área estratégico crucial para la industria del petróleo en México,

---

puesto que, aproximadamente el 80 % de la producción nacional de combustibles fósiles se deriva de pozos marinos en plataformas petroleras. En esta región, las dos industrias más importantes son: la pesquera de camarón y la producción del petróleo que han coexistido desde 1976, cuando se dio inicio a las principales operaciones de extracción de petróleo.

## 2.2 INVENTARIO NACIONAL DE GASES DE EFECTO DE INVERNADERO 2002

En el inventario nacional de Gases de Efecto de Invernadero (GEI) para México, correspondiente al año 2002, se registran los cálculos de emisiones de GEI para cinco de las seis categorías de emisión del IPCC (Figura 1): la categoría de energía representó el 61% de las emisiones con 389,497 Gg; le siguen las categorías de uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS) con 14% de las emisiones totales (89,854 Gg), residuos con 10% (65,584 Gg), procesos industriales con 8% (52,102 Gg) y agricultura con el 7% (46,146 Gg).

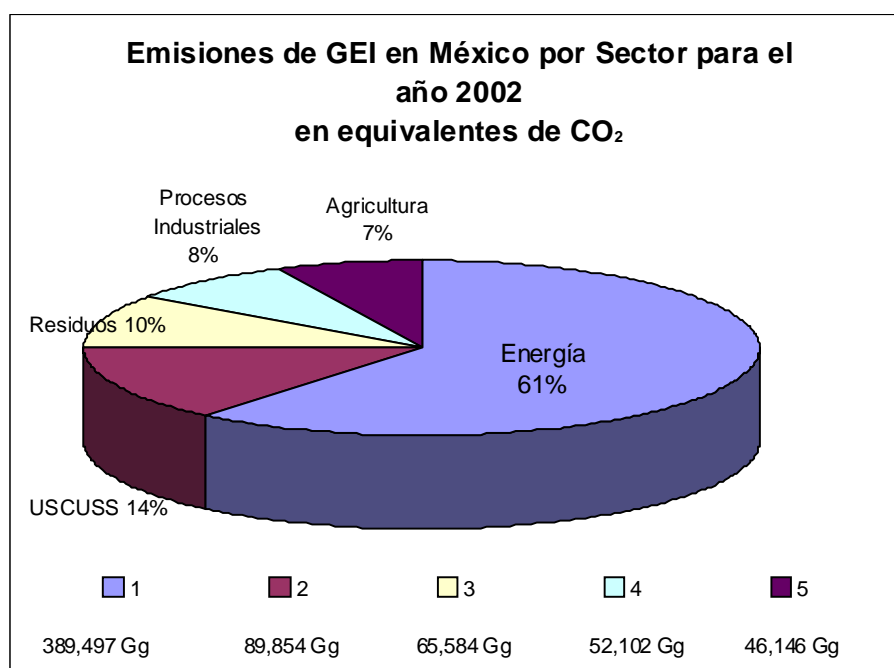


Figura 1. Emisiones de Gases de Efecto de Invernadero en México por tipo de fuente de emisión (consumo y generación).

Las principales fuentes de emisión por uso y generación de energía, contribuyeron con los porcentajes que se muestran en la figura 2, también en el año 2002.

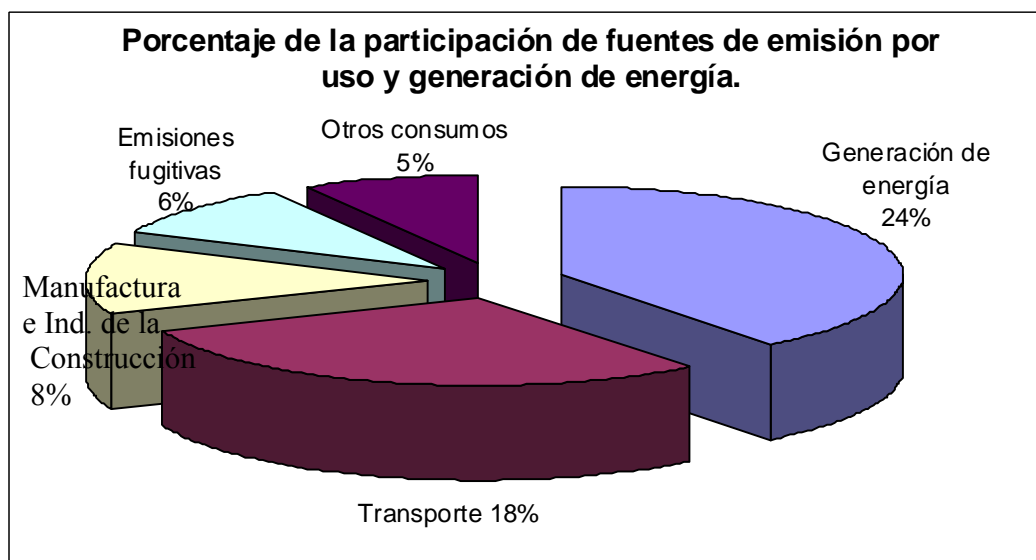


Figura 2. Fuentes de emisión con base a balance de energía

### 2.3 EMISIONES DE BIÓXIDO DE CARBONO POR LA INDUSTRIA EN LOS ESTADOS DE VERACRUZ, TABASCO Y CAMPECHE

En la tabla 1, se muestran las emisiones de bióxido de carbono en los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche generadas por la industria en el año 2004 reportadas por el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), para que las fuentes emisoras evalúen su desempeño y puedan identificar sus áreas de oportunidad para la reducción de las emisiones y transferencias.

Tabla 1. Emisiones de CO<sub>2</sub> en Campeche, Tabasco y Veracruz

Estado	CO <sub>2</sub> en Ton. métricas
Campeche	4 701 299.5139
Tabasco	9 448 776.8577
Veracruz	13 667 718.9926

---

El sector industrial que principalmente genera bióxido de carbono en el estado de Campeche es el de petróleo y petroquímica.

Los principales sectores que emiten el bióxido de carbono en el estado de Tabasco son actividades petroleras y en menor proporción el de tratamiento de residuos peligrosos.

Los sectores responsables de la emisión de bióxido de carbono en el estado de Veracruz son actividades petroleras, generación de energía eléctrica y consumo industrial, agricultura y doméstico.

Se puede observar que el estado de Veracruz es el que más bióxido de carbono emite entre los estados Campeche, Tabasco y Veracruz.

#### 2.4.- CARACTERISTICAS DEL BIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) EN LA ATMÓSFERA.

La presencia de este gas en la atmósfera es fundamental para completar el ciclo del carbono. El carbono se encuentra en la naturaleza en varias formas; como carbonato contenido en rocas calcáreas y sobre todo en el CO<sub>2</sub> contenido en la atmósfera (Figura 3) y el disuelto en el agua.

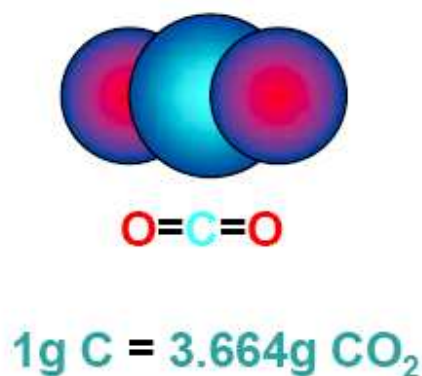


Figura 3. Molécula de Bióxido de Carbono

Las plantas verdes a través del mecanismo de la fotosíntesis capturan el  $\text{CO}_2$  del agua o del aire y lo transforman en compuestos orgánicos, que servirán para el crecimiento de las propias plantas, de alimento a los consumidores y a los degradadores.

La respiración, deforestación, el procesamiento de minerales y la combustión de los combustibles fósiles y de la biomasa son algunos de los mecanismos que inyectan el  $\text{CO}_2$  a la atmósfera para completar el ciclo. Estos mecanismos de captura y de devolución del carbono han permitido el establecimiento de un sistema equilibrado y autorregulado que ha logrado durante diferentes períodos la compensación de las concentraciones de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, conocido como efecto invernadero (figura 4) de acuerdo con la Oficina Presidencial para la Ciencia y la Tecnología (OSTP). Sin embargo, desde la revolución industrial, se ha producido un desbalance en el ciclo global de  $\text{CO}_2$ , lo cual ha resultado en un aumento en las concentraciones del mismo en la atmósfera. Uno de los efectos directos de este incremento, ha sido el aumento de la temperatura media mundial. Aunque existe otro grupo de científicos que sostienen que este aumento de temperatura no necesariamente ha sido originado por el incremento de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera (Ernst, 2007).



Figura 4. Efecto de Invernadero en la Tierra. Castro T. CCA, UNAM. 9ª Feria de Posgrados, 2008.



### 2.4.1.- FUENTES DE CO<sub>2</sub>

Las emisiones de CO<sub>2</sub> originadas por actividades humanas proceden de diversas fuentes, en su mayor parte de la combustión de combustibles fósiles utilizados en la generación de energía, el transporte, los procesos industriales y los edificios residenciales y comerciales. El CO<sub>2</sub> también se emite en la producción de ciertos procesos industriales, como la fabricación de cemento o la producción de hidrógeno y durante la combustión de biomasa.

A escala mundial, las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por la utilización de combustibles fósiles en el año 2000 ascendieron a un total aproximado de 23,5 Gt de CO<sub>2</sub> al año (6 Gt de carbono al año). Cerca del 60 por ciento de esas emisiones correspondía a grandes (>0,1 Mt de CO<sub>2</sub> al año) fuentes de emisión estacionarias.

Los mares polares y ecuatoriales constituyen, respectivamente, los principales sumideros y fuentes de CO<sub>2</sub> a escala planetaria (Tans et al., 1990, Watson et al., 1991). La lentitud de los procesos verticales de mezcla en los océanos hace que sólo un 40 % de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera sean asimiladas por el agua de mar (IPCC, 1995).

Las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera son generalmente de tipo antropogénico y aproximadamente el 48% del ellas se debe a la quema de combustibles fósiles.

Aproximadamente el 50% de las emisiones permanecen en la atmósfera, el otro 50% es secuestrado por el océano y la vegetación terrestre (Siegenthaler, et al 1993). Por tanto, el océano se comporta como un sumidero de CO<sub>2</sub> secuestrando alrededor de 2 Pg de carbono antropogénico al año, jugando un gran papel como depósito de CO<sub>2</sub>, conteniendo unas 50 veces más que la atmósfera y 20 veces más que la biosfera. Los sumideros terrestres son muy sensibles a la variabilidad del clima, siendo aún más sensible en años cálidos.

El CO<sub>2</sub> emitido durante el proceso de producción del cemento representa la fuente más grande de las emisiones industriales de este gas, sin generar energía (Longoria, 2005).

---

---

---

El Golfo de México tiene una muy intensa actividad petrolera, realizada entre México y Estados Unidos. En el caso de México, aproximadamente el 80% de la producción nacional del combustible fósil se deriva de pozos marinos en plataformas petroleras.

Las fuentes de emisiones más importantes de la industria del petróleo son: quemadores, descargas en el agua de recortes por actividades de perforación y derrames de petróleo crudo. De dichas fuentes, los quemadores emiten aproximadamente el 82% de todos los contaminantes atmosféricos por la industria del petróleo en esta región. El análisis químico de las emisiones a la atmósfera por los quemadores indica que los hidrocarburos no quemados (HC), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y las partículas (PM) son los componentes principales. Según un informe reciente sobre emisiones (PEMEX, 2001), el SO<sub>2</sub> es el segundo agente contaminante emitido al aire, después de los hidrocarburos.

#### **2.4.2 EL CO<sub>2</sub> Y LA LLUVIA ÁCIDA**

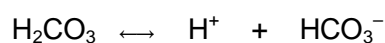
La presencia de acidez en la precipitación ha llevado a la creación del término “lluvia ácida”, el cual ha preocupado a la comunidad internacional por su enorme efecto potencial sobre ecosistemas, materiales, monumentos y bienes en general. La convención de definir con el término de lluvia ácida a aquella precipitación que presenta un pH menor a 5.65, a diferencia de lo que comúnmente se define como solución ácida (pH menor a 7.0), se debe a que el agua presente en la atmósfera, en forma de pequeñas gotas, ya tiene cierta acidez natural. Esto es debido a que en el ambiente existen ciertos gases en forma natural, tales como: (CO<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>), etc., algunos de los cuales pueden reaccionar con el agua de la lluvia impartándole características ácidas, como es el caso del bióxido de carbono. Este gas al ponerse en contacto con el agua da lugar a la formación de ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).



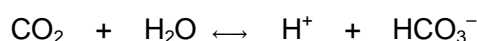
---

---

El ácido carbónico es un ácido débil que se disocia sólo parcialmente en ion hidronio y en ion bicarbonato:



Al sumar las dos ecuaciones químicas anteriores, se obtiene:



Esta ecuación indica por lo tanto, que una lluvia “limpia” por naturaleza tendrá cierto grado de acidez al ponerse en contacto con el bióxido de carbono de la atmósfera. El valor de pH de 5.65 resulta al resolver las ecuaciones anteriores en términos de concentración y de las constantes de equilibrio de las reacciones involucradas.

Cuando el pH de la lluvia es menor al valor antes mencionado, significa que el contenido de  $\text{H}^+$  aumentó respecto al observado naturalmente, y en estas condiciones se habla de una lluvia con características propiamente ácidas. Los principales contribuyentes de iones  $\text{H}^+$  en la atmósfera son fundamentalmente el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), ya que son ácidos fuertes y, en menor grado algunos ácidos orgánicos.

La formación de lluvia ácida por el contacto de  $\text{SO}_x$  y  $\text{NO}_x$  con el agua en la atmósfera, no es inmediata, sino que se requiere cierto tiempo de mezclado y transformación que puede ir de varias horas hasta algunos días. Por esta razón los receptores de la precipitación ácida muchas veces se localizan a varios cientos de kilómetros viento abajo de la zona donde las nubes en formación incorporaron las emisiones de los contaminantes ya mencionados (precursores de precipitación ácida).

Los aerosoles y los gases solubles en agua pueden ser incorporados a las gotas en las nubes y en el agua de lluvia, por lo tanto, la composición química del agua de la nube y de la precipitación es muy variable (Granat, 1978).

El término “lluvia ácida” es usado para describir a la precipitación con un valor de pH de 5.62 a 5.65 el valor de pH de agua destilada a 25°C en equilibrio, con una concentración de 300 a 365 ppm de  $\text{CO}_2$ , respectivamente, a una presión total de una atmósfera o 101.3 KPa (Krupa, 2002).

---

---

## 2.5 DISOLUCIÓN MARINA DE CO<sub>2</sub> Y VENTILACIÓN OCEÁNICA

El mar contiene en disolución 50 veces más carbono que el CO<sub>2</sub> del aire: 40,000 PgC y 750 PgC, respectivamente. Entre su superficie y el aire existe en ambos sentidos, un continuo flujo de CO<sub>2</sub>. En algunas épocas el mar actúa como fuente de CO<sub>2</sub> atmosférico, y en otras como sumidero.

### 2.5.1 ELEMENTOS DISUELTOS (SOLUTOS)

La abundancia de carbono en el reservorio oceánico se explica, por la alta solubilidad del CO<sub>2</sub> y por su facilidad para reaccionar químicamente con el agua. Ocurre que el bióxido de carbono disuelto se combina con el agua del mar y forma ácido carbónico, que inmediatamente se disocia en iones de bicarbonato y de carbonato (Uriarte, 2003) (Figura 5).

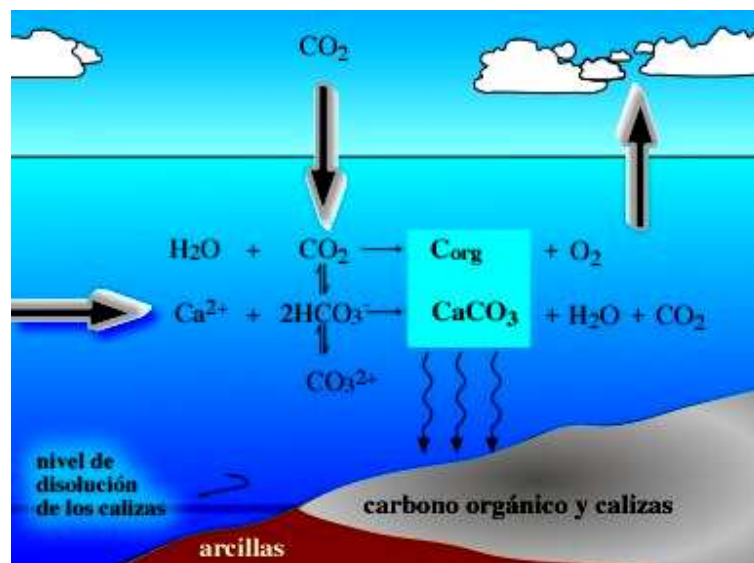


Figura 5. Solubilidad del Bióxido de Carbono.

Casi todo el carbono disuelto está en forma de estos iones: un 85% en forma de bicarbonato, y un 15 % en forma de carbonato.

Tan sólo el 0,5 % de todo el carbono inorgánico disuelto en el mar está en forma de CO<sub>2</sub> gaseoso, y la concentración de ácido carbónico es aún menor.

---

El conjunto total del carbono de los solutos ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{=}$ ) se suele representar por el acrónimo CID (carbono inorgánico disuelto), para distinguirlo del carbono orgánico COD contenido en la biomasa marina (carbono orgánico disuelto).

Reacciones reversibles establecen y mantienen un equilibrio entre los solutos, que depende de la temperatura, la salinidad y la alcalinidad del agua.

### 2.5.2 INTERCAMBIO CON EL AIRE

El intercambio de  $\text{CO}_2$  entre el mar y la atmósfera depende directamente de la pequeña fracción del carbono presente en la superficie del mar en forma de  $\text{CO}_2$ . Su presión en la superficie del agua ( $p\text{CO}_2$ ) se mantiene en equilibrio con su presión parcial en la atmósfera, existiendo un continuo flujo molecular aire-mar/mar-aire, que regula y hace variar las concentraciones de carbono en ambos reservorios. Si por algún motivo, disminuye la presión  $p\text{CO}_2$  del agua, se produce un pase neto de moléculas de  $\text{CO}_2$  del aire al mar. Esto es, el océano absorbe  $\text{CO}_2$  del aire, y aumenta la  $p\text{CO}_2$  del agua de nuevo, y viceversa.

La  $p\text{CO}_2$  del agua depende directamente de su concentración  $[\text{CO}_2]$  (moles de  $\text{CO}_2$  por kg de solución) e inversamente de su solubilidad. Por ejemplo, cuando el agua se enfría, la solubilidad del  $\text{CO}_2$  aumenta (pues los gases son más solubles en agua fría que caliente), con lo que disminuye la presión  $p\text{CO}_2$  del agua. Se produce un desequilibrio entre las presiones  $p\text{CO}_2$  de la superficie del agua y del aire en contacto con ella, y entonces el agua absorbe más  $\text{CO}_2$ , aumentando su concentración  $[\text{CO}_2]$ . Como consecuencia, disminuye la concentración  $[\text{CO}_2]$  del aire. El proceso inverso ocurre cuando el agua se calienta. Por lo tanto, en principio, en las épocas de enfriamiento de las aguas, el océano absorbe  $\text{CO}_2$  del aire y hace disminuir su concentración en la atmósfera, y, por el contrario, en las épocas en que las aguas se calientan, el océano suelta  $\text{CO}_2$  y aumenta su concentración atmosférica.

### 2.5.3 VENTILACIÓN OCEÁNICA

En los procesos de intercambio entre el mar y el aire es importante tener en cuenta las corrientes termohalinas, las cuales hacen que en algunas regiones se hundan, y en otras afloren, masas de agua que llevan consigo  $\text{CO}_2$  disuelto.

---

Actualmente, en algunas regiones oceánicas de las latitudes altas —Mares Nórdicos y de Labrador, en el norte, y mares costeros de la Antártida, en el sur— el agua fría superficial, rica en CO<sub>2</sub>, se hunde acarreado el carbono que luego las corrientes reparten por las profundidades de todos los océanos.

A la vez, en otras zonas marinas el agua profunda aflora en superficie, se sobrecarga al calentarse, y lo suelta al aire. Las zonas más importantes de ventilación se encuentran en la zona tropical del Pacífico y en los Mares del Sur. También se produce afloramiento de CO<sub>2</sub> en las zonas litorales del margen oriental de los anticiclones subtropicales, en áreas de corrientes frías, como las de California y Canarias, en el hemisferio norte, y las de Humboldt y Benguela, en el hemisferio sur.

Por lo tanto el hundimiento y el afloramiento de agua provocado por estas corrientes termohalinas, cuyos flujos globales de carbono son muy importantes y algo diferentes, de unas 25 y 28 PgC/año respectivamente, contribuyen al intercambio del CO<sub>2</sub> entre el mar y el aire. Su alteración modifica los flujos de intercambio y altera transitoriamente la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Si la intensidad de ventilación se detiene, las aguas oceánicas profundas no liberan el CO<sub>2</sub> del que se van cargando en el bombeo biológico (exportación de carbono orgánico desde la zona eufótica hacia las profundidades del océano, mediado por la actividad del plancton) y, en consecuencia, la concentración de CO<sub>2</sub> disminuye en la atmósfera. Por el contrario, si el circuito termohalino se intensifica, la ventilación oceánica aumenta y la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera aumenta.

## **2.6 VARIACIONES CLIMÁTICAS**

En las últimas décadas, el bióxido de carbono atmosférico, ha aumentado debido a las actividades antropogénicas de 300 a 380 partes por millón (ppm), mientras que la temperatura media de la tierra ha aumentado aproximadamente 0.7°C (1.3°F).

El Grupo de Investigación de CO<sub>2</sub>, Scripps Institution of Oceanography (SIO) de la Universidad de California (La Jolla, California), tiene una red de sitios de muestreo de CO<sub>2</sub> atmosférico, en Mauna Loa, Hawaii; Baja California Sur, México; entre otros, los cuales se muestran en la figura 6.

---

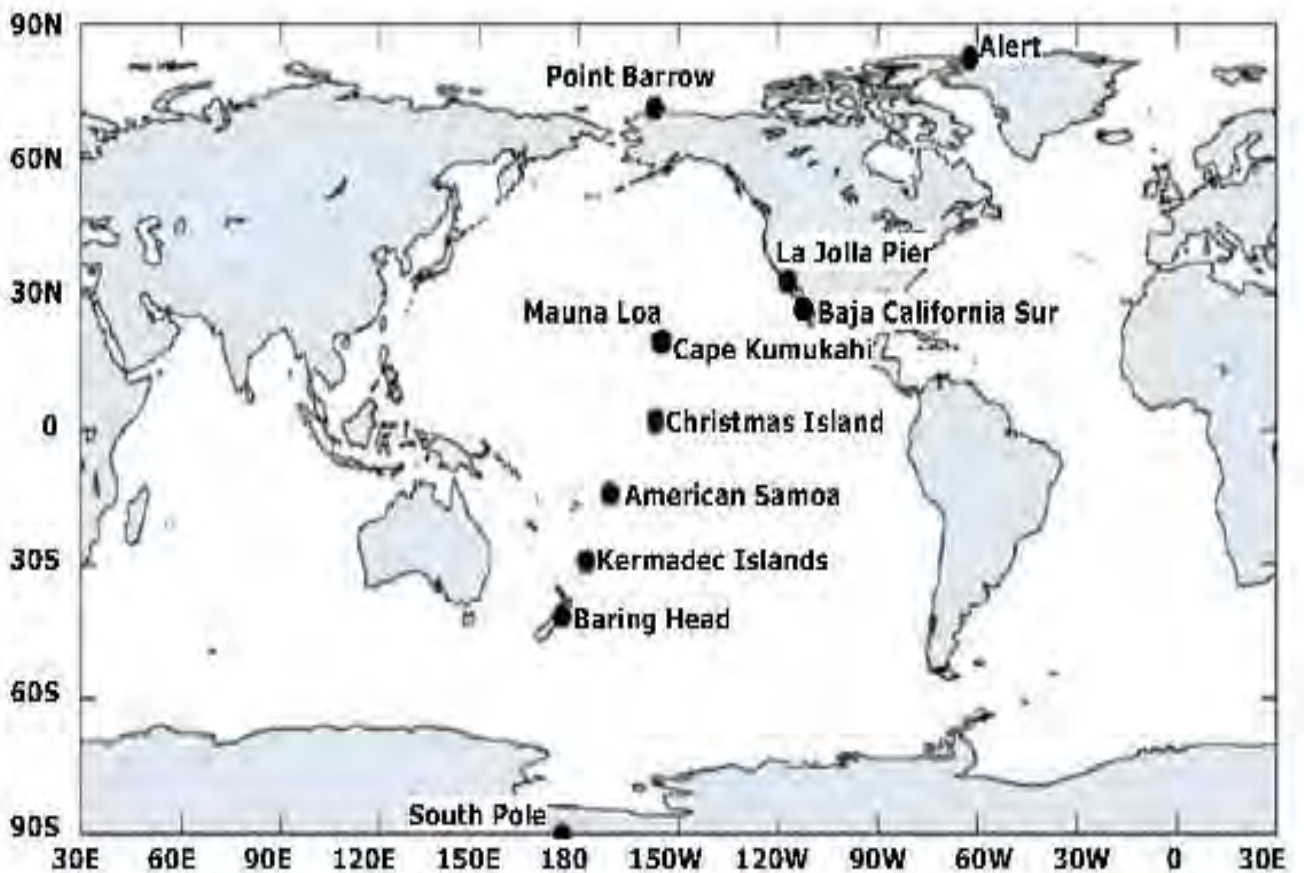


Figura 6. Sitios de muestreo de CO<sub>2</sub> atmosférico por el SIO.

En Baja California Sur, México, se empezó a medir el CO<sub>2</sub> en el año de 1998 y la fecha se sigue midiendo. La figura 7, muestra la gráfica que representa los valores promedio de concentraciones de CO<sub>2</sub> por año desde 1998 hasta 2007, en donde el promedio anual de las concentraciones de CO<sub>2</sub>, pasó de 367.63 en 1998 a 386.06 ppmv en 2007. Esto representa una tasa media de crecimiento anual de 2.05 ppmv en los valores registrados.

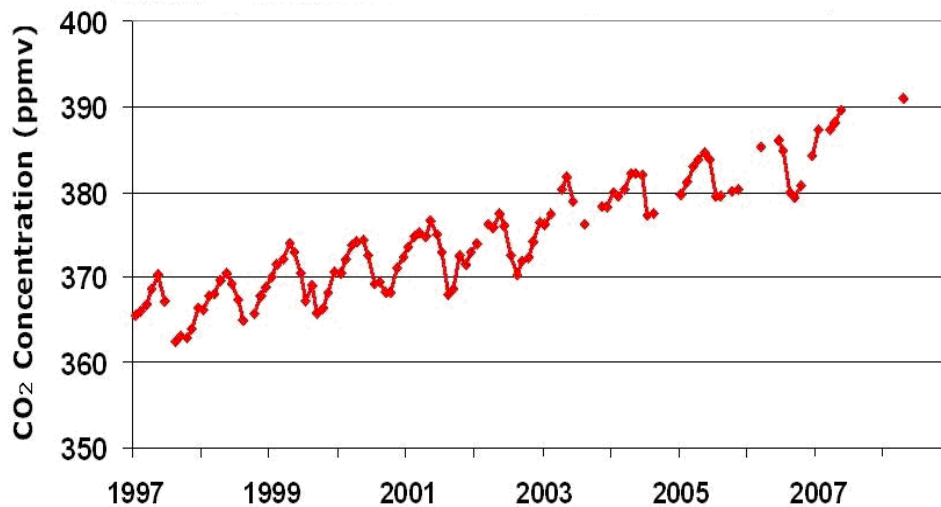


Figura 7. Incremento de la Concentración de CO<sub>2</sub> en Baja California Sur por el SIO.

### 2.6.1 MÁS ALLÁ DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS

Las causas que han conducido a las variaciones climáticas en el pasado, incluyen:

- ✓ Cambios en la órbita de la Tierra: Los cambios en la forma de la Tierra (o de la excentricidad) también como la inclinación y el lugar que ocupa la tierra en el sistema solar afectan la cantidad de luz del sol recibida en la superficie de la tierra.
- ✓ Cambios en la intensidad del Sol: Los cambios que ocurren en el interior del sol pueden afectar la intensidad de la luz solar que alcanza la superficie de la Tierra. La intensidad de la luz solar puede causar un calentamiento (si la intensidad solar es fuerte) o enfriamiento (sí la intensidad solar es débil).
- ✓ Erupciones Volcánicas: Los volcanes afectan el clima porque emiten aerosoles y bióxido de carbono a la atmósfera.
  - Emisiones de aerosoles: Los aerosoles volcánicos tienden a bloquear la luz del sol y contribuyen a enfriamiento a corto plazo. Los aerosoles no producen el cambio a largo plazo porque salen de la atmósfera poco tiempo después de ser emitidos. De acuerdo con la United States Geological Survey (USGS), la erupción del Volcán Tambora en Indonesia en 1815 bajó temperaturas globales de



---

aproximadamente 5°F y acontecimientos históricos en Nueva Inglaterra describen a 1816 como “el año sin un verano”.

- Emisiones de bióxido de carbono: Los volcanes también emiten el bióxido de carbono, cerca de dos tercios de los últimos 400 millones de años, la evidencia geológica sugiere, que los niveles de CO<sub>2</sub> y las temperaturas fueron considerablemente más altas que en la actualidad. Una teoría es que las erupciones volcánicas en el fondo del mar expandieron elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub>, aumentando los efectos de invernadero y elevando la temperatura. Sin embargo, la evidencia de esta teoría no es concluyente y hay evidencias alternativas para los niveles históricos de CO<sub>2</sub> (NRC, 2005). Mientras que los volcanes pudieron haber elevado los niveles de CO<sub>2</sub> y las temperaturas en la prehistoria, de acuerdo con la USGV Volcano Hazards Program, las actividades humanas ahora emiten 150 veces más CO<sub>2</sub> que los volcanes (U.S. EPA, 2007).

Durante los últimos 420,000 años, los niveles de CO<sub>2</sub> tuvieron una tendencia para seguir los ciclos glaciares (IPCC, 2001). Es decir, durante los periodos interglaciares calientes, los niveles de CO<sub>2</sub> han sido altos y durante los periodos glaciares fríos, los niveles de CO<sub>2</sub> han sido bajos. (Figura 8).

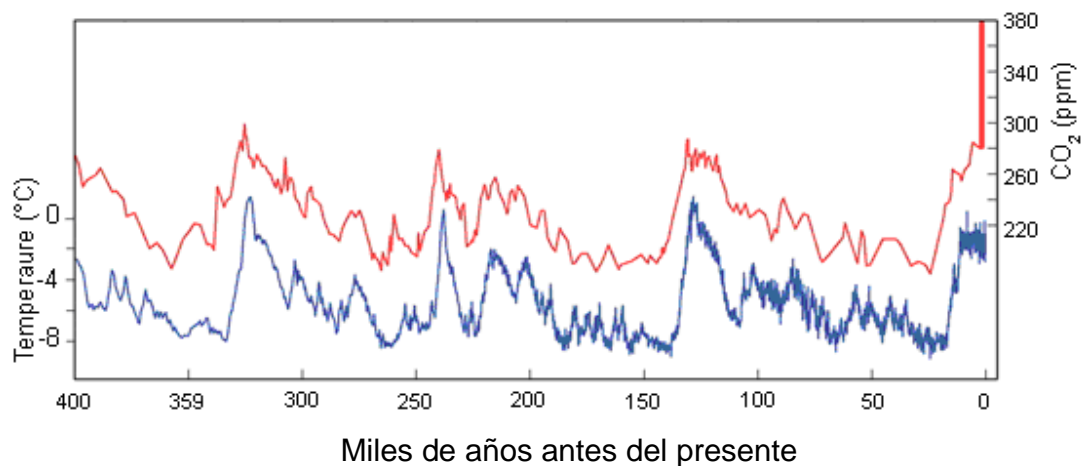


Figura 8. Cambios en el Bióxido de Carbono y Temperatura en los últimos 400,000 años

Fluctuaciones en la temperatura (azul) y en la concentración atmosférica del bióxido de carbono (rojo) sobre los últimos 400.000 años según lo deducido de expedientes Antárticos del corazón de hielo. La barra vertical roja muestra el incremento en los niveles de bióxido de carbono sobre los dos últimos siglos y antes del 2006. De A.V. Fedorov et al. Science 312,1485 (2006).

---

- 
- 
- ✓ Ciclo de Milankovitch: Otro factor que ha contribuido a la variación de clima es el propuesto por Milankovitch, que calculó las variaciones en la cantidad de radiación solar que recibe la Tierra debidas a cambios en los movimientos de traslación y de rotación del planeta, y propuso un mecanismo astronómico para explicar los ciclos glaciales basado en tres factores:

a) La relación del momento de los equinoccios y de los solsticios con respecto al momento de mayor a menor lejanía de la Tierra al Sol (precesión de los equinoccios) (Figura 9).

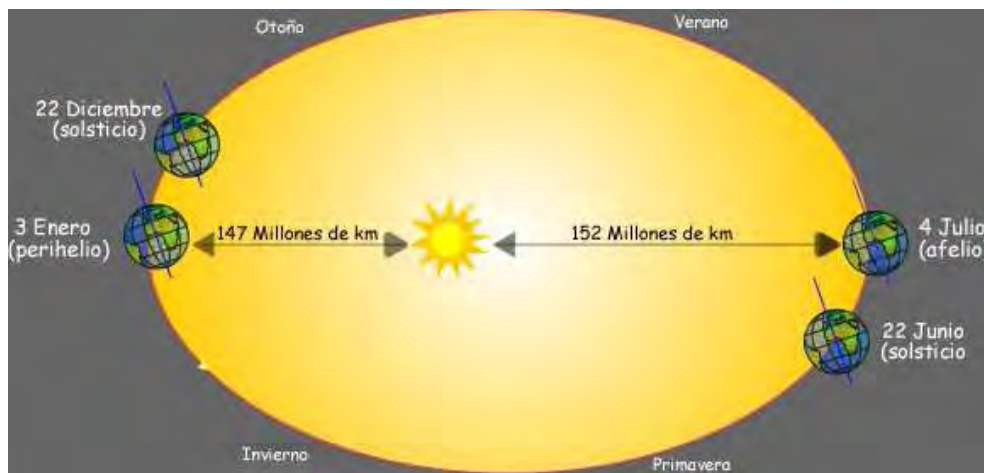


Figura 9. Precesión de los Equinoccios.

A lo largo de los milenios van cambiando las fechas de perihelio y de afelio. Hace 11 mil años el perihelio ocurría en Junio y el afelio en Diciembre. Lo contrario de ahora (Uriarte, 2003).

- b) La forma ligeramente elíptica de la órbita terrestre (excentricidad de la órbita) (Figura 10).



Figura 10. Excentricidad de la órbita de traslación de la Tierra alrededor del Sol.

La órbita pasa de ser casi circular a ser marcadamente elíptica en periodicidades de cientos de miles de años (100,000 y 400,000 años). La distancia al Sol en cada estación del año es diferente y variable, por lo que la insolación también lo es (Uriarte, 2003).

- c) La inclinación del eje de rotación de la Tierra (oblicuidad del eje) (Figura 11).

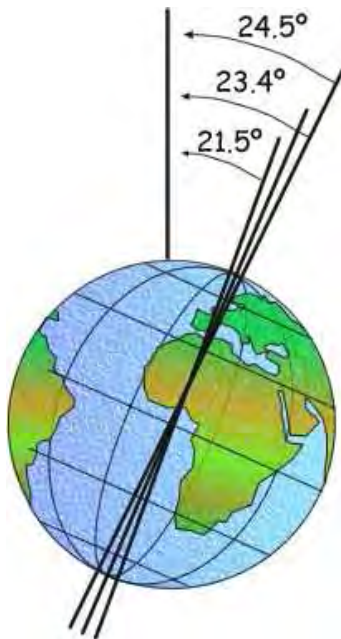


Figura 11. Oblicuidad del eje.

La inclinación del eje terrestre de rotación varía con una periodicidad de unos 41,000 años. Cuando el valor es alto, la diferencia de insolación estacional es grande, y viceversa. El valor actual es de 23.4° y durante los dos últimos millones de años ha variado entre un valor máximo de 24.5° y un mínimo de 21.5°. (Uriarte, 2003).

Al combinarse los tres ciclos de variación, con sus diferentes periodicidades e intensidades, se producen variaciones complejas en la cantidad de radiación solar interceptada en cada latitud y en cada estación del año.

En la teoría de Milankovitch se asume que la energía solar incidente en la Tierra en su globalidad y durante un año completo es siempre la misma (excepto en los cambios de excentricidad, en donde se admite un ligero cambio). La variación relevante radica en el diferente reparto de la energía en cada estación del año y en cada hemisferio, según van variando a lo largo de los años las características de la órbita.

También es interesante mencionar que cada uno de los tres ciclos de Milankovitch puede producir efectos climáticos que son diferentes en cada latitud.

## **2.7 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE CO<sub>2</sub> EN MÉXICO.**

### **2.7.1 ACCIONES Y ARREGLO INSTITUCIONAL NACIONAL ANTE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS.**

Se recomienda que México contemple de manera objetiva los distintos problemas ambientales y evitar caer en la inercia del llamado cambio climático que aun a la fecha requiere de información suficiente y confiable en países como México.

En nuestro país, a través del Instituto Nacional de Ecología (INE) se coordina la elaboración de inventarios nacionales de emisiones de Gases de Efecto de Invernadero (GEI), alternativas de mitigación de GEI, elaboración de normas para el monitoreo de emisiones de GEI y otros contaminantes tóxicos de incidencias en zonas metropolitanas y la participación de México en algunos foros, en coordinación con diversas instancias de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Relaciones Exteriores (SER).

El 25 de abril de 2005 se creó, con carácter formal y permanente, la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), constituida por siete secretarías de Estado.

---

La SEMARNAT ocupa permanentemente su Presidencia, y el Secretariado Técnico queda a cargo de su Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental, a través de la Dirección General Adjunta para Proyectos De Cambio Climático.

La CICC se encarga de: Expedición de Cartas de Aprobación a proyectos mexicanos relacionados con el manejo de residuos pecuarios, manejo de residuos en rellenos sanitarios, eólicos, hidroeléctricos, cogeneración y eficiencia de energía, México se pronuncia a favor de que ningún país tiene derecho a generar emisiones de GEI per cápita más que los otros y dar igual atención a las actividades de adaptación, así como a las de mitigación de GEI.

La Universidad Veracruzana (UV) junto con el Instituto Nacional de Ecología y al Embajada Británica, propuso un Plan Estatal de Acción Climática para el estado de Veracruz en el que se proponen acciones políticas para atender, mitigar y prevenir las variaciones climáticas, este plan se ha convertido en un modelo que otros estados pueden adoptar.

A nivel internacional existen estudios sobre la captación y almacenamiento de CO<sub>2</sub>, que describen las fuentes, los procesos de captación, transporte y almacenamiento, también se examinan los costos. Entre las opciones de almacenamiento que se han evaluado figuran el almacenamiento geológico, el almacenamiento en los océanos y la carbonatación mineral. El bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) capturado de las emisiones o removido del aire puede ser almacenado por largo tiempo en la vegetación, en el suelo y en depósitos subterráneos; inyectado a profundidad en los océanos; o convertido a materiales sólidos similares a la roca. Estos proyectos son teóricos no se sabe en realidad que efectos podría tener los océanos y la superficie terrestre, no se sabe si sean benéficos o perjudiciales para el ambiente.

---

### 3 DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

El Golfo de México es un sistema ambiental de los más ricos de la tierra. Pocas zonas del planeta pueden ofrecer, a distancias relativamente cortas, la gran diversidad de 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 hábitats.

En una cuenca de tan sólo  $1.6 \times 10^6 \text{ Km}^2$ , que almacena cerca de  $2.3 \times 10^6 \text{ Km}^3$  de agua, se suceden una serie de procesos físicos, químicos y biológicos (corrientes oceánicas, anillos ciclónicos y anticiclónicos, tormentas tropicales y extratropicales, huracanes, nortes, y cascadas) 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 su situación geopolítica y económica, convierten al Golfo de México (Figura 12) en la mayor y más importante cuenca de aguas protegidas de la América Neotropical.

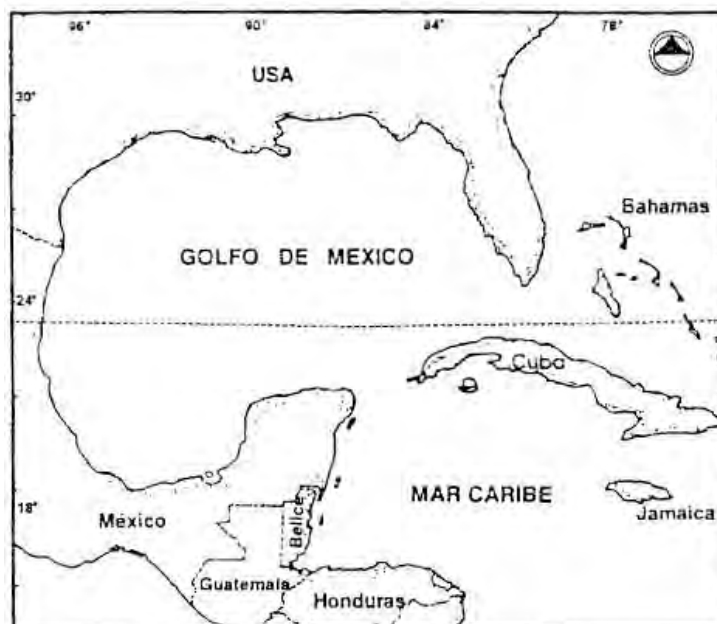


Figura 12. El Golfo de México

---

---

### **3.1 ANTECEDENTES SOBRE CALIDAD DEL AIRE EN EL GOLFO DE MÉXICO, CONSIDERADA COMO LA ZONA DE ESTUDIO.**

En el verano de 1986, un crucero de investigación de colaboración bilateral entre Estados Unidos y México fue realizado en el Golfo de México. El propósito fue investigar la interacción océano/atmósfera/costa en esta región.

El aire sobre el golfo contiene mezclas y productos químicos de las masas de aire marinas y continentales naturales más la contaminación atmosférica urbana e industrial. Así, las variabilidades espaciales y temporales de composiciones químicas en el aire y en la precipitación dependen de intensidad de las emisiones de las fuentes de contaminantes atmosféricos y de los parámetros meteorológicos.

Durante el crucero se colectaron y analizaron muestras de aerosoles y de agua de lluvia; se midieron concentraciones de sulfuro de dimetilo en el agua de mar y en el aire; también se determinaron bio-partículas suspendidas en la superficie del agua de mar.

Los datos meteorológicos fueron obtenidos a bordo del buque, se usaron modelos de trayectoria del aire o imágenes basadas en los satélites. La información se utiliza para estudiar las fuentes, el transporte, la transformación, y los sumideros de azufre y de compuestos nitrosos, así como el ciclo de la lluvia ácida en el área. También se realizaron mediciones de Bióxido de Carbono y Metano.

### 3.1.1 MEDICIONES ATMOSFÉRICAS DE BIÓXIDO DE CARBONO.

La National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) junto con el programa de Monitoreo Geofísico para el Cambio Climático (NOAA/GMCC) midieron la concentración de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{CH}_4$  atmosféricos, con el propósito de determinar los coeficientes de incremento y la distribución global de estos gases. Conocer la distribución ayudó en la determinación de una escala regional significativa global, tanto de las fuentes como de los sumideros  $\text{CO}_2$  y de  $\text{CH}_4$ .

Los sitios de muestreo se localizaron en zonas marinas alejadas de la contaminación urbana e industrial, para asegurar que las muestras de aire fueran realmente representativas de la región y así reducir la influencia de fuentes locales o sumideros. Para estos propósitos el Golfo de México represento un sitio ideal para el muestreo de concentraciones de fondo debido a la proximidad de fuentes antropogénicas costeras y marinas de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{CH}_4$ , así como flujos a la biosfera probablemente grandes y variables.

En julio y agosto de 1986, 26 muestras fueron recogidas, por la NOAA, USA, SCA, UNAM en forma conjunta a bordo del Buque de Investigación H-02 (de la Armada de México) en el Golfo de México. Según lo esperado, las concentraciones medidas de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  en estas muestras tienden a ser altas y más variables que en los sitios de red del GMCC (Geophysical Monitoring for Climatic Change) en latitudes similares, aunque las concentraciones medidas más bajas son similares a las encontradas en los sitios de la red del GMCC. El tiempo, la posición del muestreo y las concentraciones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  se presentan en la Tabla 2. Los Trece pares de muestras fueron colectados en los sitios mostrados en la Figura 13.



Número de Muestra	Fecha	Tiempo (GMT)	Latitud (Grad. min N)	Longitud (Grad. min. W)	Muestra	CO <sub>2</sub> (ppm)	Δ	CH <sub>4</sub> (ppb)
1	21 Jul 86	2125	27 40	96 58	1-83 G2-83	348.94 348.70	0.24	1656
2	23 Jul 86	0330	23 59	97 27	753-83 G754-83	348.30 348.13	0.17	1733
3	25 Jul 86	1845	21 42	97 18	859-83 G860-83	347.47 349.09	1.82	1683
4	26 Jul 86	0930	20 02	96 26	709-85 G710-85	351.25 353.95	2.70	1689
5	30 Jul 86	0615	18 45	95 01	365-85 G366-85	351.27 350.35	0.92	1656
6	6 Aug 86	0615	23 29	89 51	699-83 G700-83	345.35 346.02	0.67	1658
7	6 Aug 86	1830	24 54	89 43	1307-82 G1308-82	348.85 348.74	0.11	1667
8	7 Aug 86	1330	27 40	89 33	385-85 G386-85	346.22 344.23	1.99	1654
9	7 Aug 86	1830	28 28	90 00	815-83 G816-83	345.12 345.02	0.10	1652
10	7 Aug 86	1840	28 28	90 00	627-83 G628-83	348.82 346.16	2.66	1669
11	8 Aug 86	1430	28 38	91 58	745-82 G746-82	346.73 346.96	0.23	1681
12	8 Aug 86	2000	28 52	92 45	341-85 G342-85	345.97 344.59	1.38	1666
13	8 Aug 86	2215	28 59	93 57	371-85 G372-85	355.08 354.26	0.82	--

Tabla 2. Muestras de CO<sub>2</sub> colectadas durante el crucero de 1986.

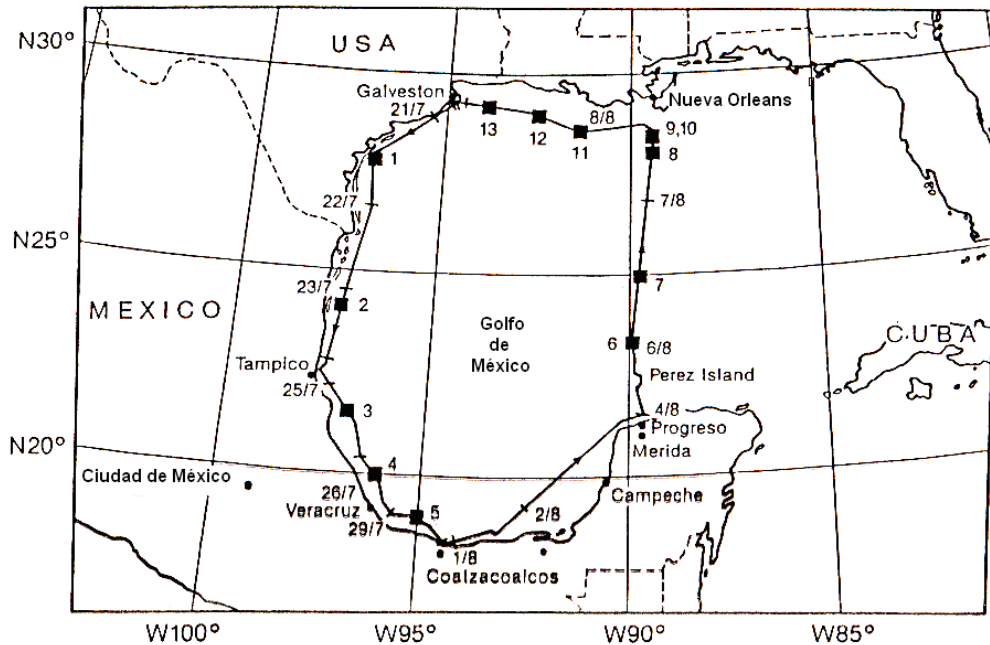


Figura 13. Localización de los sitios de muestreo durante el crucero de Julio-Agosto 1986

Los datos de  $\text{CO}_2$  que se obtuvieron en el crucero fueron comparados con los datos de  $\text{CO}_2$  Julio y Agosto de Key Biscayne, Florida (KEY) y St. Croix, de Islas Vírgenes Americanas (AVI). Las concentraciones  $\text{CO}_2$  en KEY y AVI disminuyeron durante ese período y el valor medio en KEY fue más alto que en AVI. Estas características en los resultados de la concentración de  $\text{CO}_2$  se debieron a la temporada de incorporación del  $\text{CO}_2$  a la biosfera durante el verano y el gradiente meridional en los resultados de las concentraciones de  $\text{CO}_2$  por las emisiones de la quema de combustibles fósiles en latitudes medidas en el Hemisferio Norte.

Las concentraciones más bajas de  $\text{CO}_2$  medidas en las muestras del crucero fueron similares a las concentraciones de fondo en KEY y AVI. El resto de las muestras del crucero es más alto y demuestra más variabilidad que los datos de la línea de fondo.

El patrón observado en estos datos sugirió que el aire del Golfo de México estuvo mezclado con el aire de las zonas en las cuales las fuentes regionales inyectaron altas concentraciones de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{CH}_4$ . Las fuentes emisoras de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{CH}_4$  incluyen centrales eléctricas, actividad industrial, los automóviles, los barcos y las plataformas de perforación.

---

---

Todas estas fuentes son frecuentes y están alrededor del Golfo de México. La variabilidad observada en los datos  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  es el resultado de la proximidad a las fuentes y de las limitadas mezclas de las chimeneas con aire de fondo. Debido a el número limitado de muestras y de la posibilidad que algunas muestras fueron contaminadas, no se pudieron establecer conclusiones referentes a muestras individuales.

### **3.1.2 EVENTOS DE LA DEPOSICIÓN ÁCIDA DURANTE EL OTOÑO DE 2003 EN EL CRUCERO DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL GOLFO DE MÉXICO (SGM-08).**

En el otoño de 2003, el crucero de investigación fue realizado en el Golfo de México (SGM-8). El objetivo fue investigar la calidad del aire y los eventos de lluvia ácida asociados a la contaminación atmosférica en esa región (donde el aire interacciona con el mar y la tierra). El aire en esta región contiene los productos químicos de origen: marino, masas de aire continentales, más la contaminación atmosférica urbana e industrial. Debido a la variabilidad espacial y temporal de la composición química en el aire y en la precipitación, las fuentes de emisión y los parámetros meteorológicos desempeñaron un papel importante en la acidez de la lluvia.

En esta investigación se analizaron los eventos de la lluvia ácida presentados durante la travesía del crucero y se determinaron los factores del enriquecimiento para  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{OH}^-$ . El análisis de las trayectorias de retroceso fue aplicado a las muestras de la precipitación para determinar el transporte y las regiones de procedencia de las fuentes potenciales de precursores de la precipitación ácida.

El pH de las muestras de lluvia fue medido con un pHmetro inmediatamente después de cada evento de la lluvia, y después llevadas al laboratorio de la SCA. En este crucero se presentaron 13 eventos de lluvia, de estos, 11 presentaron un pH ácido ( $< 5.6$ ), en una gama de 4.2 a 5.4.

La colección de las muestras fue hecha con un colector automático (Aerochem-Metrics modelo 301). Las concentraciones iónicas de las muestras de la lluvia fueron determinadas en el laboratorio por medio de un cromatógrafo de líquidos de alta

---

---

---

---

resolución. Los cationes evaluados fueron  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , mientras que los aniones fueron  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ . Se observó una fuerte correlación entre  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Cl}^-$  que demuestran la influencia del océano con los eventos de precipitación.

Tres eventos de lluvia con altas concentraciones de  $\text{Cl}^-$ , fueron detectados en Coatzacoalcos, Veracruz, probablemente debido al hecho de que varias industrias asociadas a la producción y al uso del cloro están situadas en el área.

El componente principal que causó la acidez de la lluvia en el sur del Golfo de México fue el  $\text{HNO}_3$ , puesto que el  $\text{NO}_3^-$  presentó una buena correlación con  $\text{H}^+$  y una contribución no marina del 99.98%.

El análisis de las trayectorias de retroceso reveló que las fuentes potenciales de precursores de la acidez de la precipitación están situadas en el Golfo meridional de México, de la península de Yucatán y de las regiones mexicanas de la costa del golfo.

### **3.1.3 CALIDAD DEL AIRE POR PARTÍCULAS EN EL GOLFO DE MÉXICO.**

La caracterización de las partículas atmosféricas se llevó a cabo muestreando las partículas suspendidas totales (PST) mediante métodos que cumplen con las Normas Oficiales Mexicanas, así como con los Métodos de Referencia de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para partículas suspendidas totales (Método de Altos Volúmenes). El muestreo de las partículas se realizó de las 08:00 h a las 20:00 h y de las 20:00 h a las 8:00h del día siguiente.

Las concentraciones de las PST ( $32.1$ ,  $13.6$ ,  $19.9$ ,  $25.7$  y  $38.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) colectadas durante la noche en los cinco cruceros fueron aparentemente más altas que las colectadas durante el día ( $18.4$ ,  $15.6$ ,  $16.4$ ,  $23.6$  y  $34.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); sin embargo, al aplicar pruebas de hipótesis para evaluar estadísticamente si existían diferencias (a un nivel de confianza del 95%), éstas no fueron significativas.

Por otra parte, al llevar a cabo la determinación de las PST, integrando diariamente las dos muestras de doce horas, su Norma Mexicana de Calidad del Aire, la cual era de 260

---

---

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas (hasta junio de 2005), y actualmente de  $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas, nunca se excedió.

La circulación de la brisa marina/terrestre, a lo largo de la costa del Golfo de México, es un factor que puede dar lugar a una distribución y a un transporte muy característico de los contaminantes atmosféricos.

Otro factor que puede tener influencia sobre las diferentes concentraciones de las PST encontradas en los diferentes cruceros, es la presencia de lluvias. En el primer crucero se presentaron ocho eventos de lluvia, en el segundo, tercero y cuarto cruceros, se tuvieron tres, dos y doce eventos de lluvia respectivamente (Bravo et al., 2006) mientras que en el último crucero, no se presentó ningún evento de lluvia, y fue en éste, en el que se observaron las mayores concentraciones de partículas (PST) que no excedieron la norma.

Con el objeto de lograr un mejor entendimiento acerca del transporte y dispersión de los contaminantes atmosféricos en la región del Golfo de México, la información obtenida en los cruceros de investigación se debe complementar con la información obtenida en diversas estaciones de monitoreo localizadas en sitios estratégicos de la costa del Golfo de México.

### 3.1.4 ESTIMACIÓN DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE QUEMADORES ELEVADOS DE INSTALACIONES PETROLERAS EN LA SONDA DE CAMPECHE

La industria petrolera es uno de los ramos industriales más importantes para el país. El organismo responsable de la exploración y explotación de los yacimientos de hidrocarburos del país es PEMEX/Exploración y Producción, siendo las Regiones Marinas Noreste (RMNE) y Suroeste (RMSO) las encargadas de realizar las actividades de extracción y transporte de petróleo crudo y gas natural en el Sur del Golfo de México (Figura 14), específicamente en la Sonda de Campeche (Mendoza, 2005).

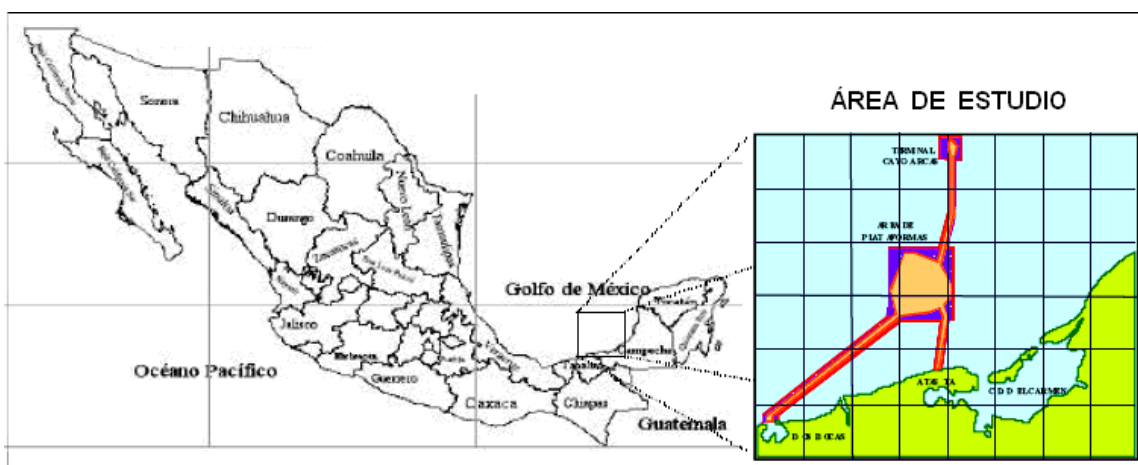


Figura 14. Ubicación de la zona de explotación petrolera en el Sur del Golfo de México

De esta zona se extrae más del 80% de la producción nacional de petróleo crudo, del cual, el 85% le corresponde a la RMNE, el 15% a la RMSO y el 33% a la producción del gas natural, perteneciéndole el 60% a la RMNE y el 40% a la RMSO (PEMEX, 2004).

De los activos que conforman la RMNE, Cantarell aporta más del 85% de la producción de petróleo crudo de dicha región, y más del 70% del gas natural (PEMEX, 2004). El gas natural que se extrae en esta zona viene asociado al petróleo crudo. La mezcla de petróleo y gas extraída es separada en las instalaciones de producción, para posteriormente enviar el petróleo crudo a las Terminales Marítimas, Cayo de Arcas y Dos Bocas.

Por otra parte, el gas natural asociado, conocido también como gas amargo por contener ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) y bióxido de carbono ( $CO_2$ ), es comprimido y enviado al Centro de Proceso y Transporte de Gas en la Península de Atasta (CPTGA), en Campeche.

Cabe mencionar que el  $H_2S$  a concentraciones mayores de 250 partes por millón en volumen (ppmv) causa edema pulmonar y superiores a 1,000 ppmv puede ser mortal por causar parálisis respiratoria (USEPA, 1990). Para evitar riesgos, el gas amargo rechazado es enviado a quemadores elevados tipo “antorcha”. Como resultado de la combustión del gas amargo, además de  $CO_2$  y agua, se emite bióxido de azufre ( $SO_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), partículas suspendidas (PS), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos no quemados y  $H_2S$  no oxidado.

Estimaciones recientes (Villaseñor, 2003), indican que cerca del 82% del total de contaminantes emitidos a la atmósfera en las regiones marinas proviene de estas operaciones de quemado de gas. En dicho estudio se presentan estimaciones de las emisiones provenientes de los quemadores elevados tipo antorcha de gas operados por PEMEX en la RMNE derivadas de la aplicación de una técnica para calcular la eficiencia de los quemadores con base en las condiciones meteorológicas imperantes, y así corregir las estimaciones de las emisiones obtenidas puramente por factores de emisión. Esta información es relevante, ya que se puede emplear como base para estudiar posteriormente el efecto potencial de las emisiones a lo largo de la costa del Golfo de México, tanto en la salud de los habitantes, en actividades como la agricultura y en los bienes materiales (por ejemplo, lluvia ácida), así como en la visibilidad de la región.

Debido a que la altura de los quemadores tipo antorcha típicamente rebasa los 18 metros y no se cuenta con tecnologías para la medición rutinaria de estas emisiones, generalmente se realiza una estimación de la emisión de los contaminantes empleando factores de emisión reportados en la literatura.

Se utilizó información correspondiente al período de noviembre del 2000 a noviembre del 2001 con el fin de observar las variaciones estacionales de las emisiones. Se estimaron las emisiones horarias de  $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NO_x$ , CO,  $CO_2$ , partículas, y compuestos orgánicos totales (COT) provenientes de 16 quemadores elevados, así como un quemador de fosa. La tabla 3 presenta un resumen del volumen de gas enviado a quemadores y las emisiones estimadas producto de su combustión. En el período Invierno 2, el volumen

---

quemado fue considerablemente mayor que en los demás períodos, por consiguiente, la carga de contaminantes fue también superior en ese mismo período (Mendoza, 2006).

Tabla 3. Resumen de volumen quemado y emisiones generadas para cada período de estudio (Mendoza, 2006).

Periodo	Volumen de gas quemado (Millones de ft <sup>3</sup> )	Emisiones totales (Toneladas métricas)	Promedio diario de emisiones por quemador (Toneladas métricas)
Otoño 1	3,087	122,211	690
Otoño 2	1,626	65,042	271
Invierno 1	3,692	146,865	541
Invierno 2	6,205	240,409	1,000
Primavera	2,941	117,168	611
Verano	2,235	85,822	538

En la tabla 4 se muestra un desglose de las emisiones de cada período por contaminante. Como es de esperarse, las emisiones de CO<sub>2</sub> representan un porcentaje considerable del total emitido. Debido a las ineficiencias estimadas en la operación de los quemadores, las emisiones de H<sub>2</sub>S son mayores a las de SO<sub>2</sub>, mientras que la emisión de hidrocarburos no quemados es apreciable.

Tabla 4. Emisiones de cada período por contaminante (Toneladas métricas para cada período de estudio) (Mendoza, 2006).

Periodo	Contaminante						
	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NO <sub>x</sub>	CO	PS	CO <sub>2</sub>	COT
Otoño 1	653	1,410	146	794	9	49,837	69,361
Otoño 2	357	736	77	418	5	27,263	36,185
Invierno 1	795	1,679	174	950	11	60,651	82,604
Invierno 2	1,209	2,889	293	1,597	19	92,236	142,166
Primavera	637	1,335	139	757	9	48,592	65,699
Verano	420	1,049	106	575	7	32,035	51,630



El inventario de emisiones generado, refleja variabilidades en las emisiones de gases enviados a la atmósfera en los diferentes períodos de análisis. Esta variabilidad es resultado de tres factores fundamentales. En primer lugar, por variaciones a través del año en los volúmenes de gas quemado, debidas primordialmente a cuestiones operativas (sobrepresionamientos); otra variable involucrada, es el origen del gas, ya que éste viene asociado al petróleo crudo que se extrae en el área marina, siendo diferente la fracción de gas en cada campo de extracción, y por ende, dependiendo de las tasas de extracción en cada campo será la cantidad de gas producido. En tercer lugar, se tiene que las variaciones meteorológicas impactan las eficiencias de los quemadores. Velocidades de viento típicamente altas en las zonas marinas conllevan bajas eficiencias de combustión, tal como se presentó en este estudio.

#### 4 METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN

Con el propósito de interpretar la tendencia que siguen los datos de las concentraciones de bióxido de carbono en los cruceros de los años 2003 y 2004 en el Sur del Golfo de México, se hizo necesario aplicar métodos estadísticos que describen el comportamiento de los fenómenos aleatorios, la Estadística, el aspecto más importante es la obtención de conclusiones basadas en los datos experimentales.

Se trabaja con una base de datos ya generada, que en este caso son las concentraciones de bióxido de carbono registradas durante los cruceros de los años 2003 y 2004 en el Sur del Golfo de México, fueron analizados estadísticamente con el propósito de identificar si existía alguna diferencia significativa entre los niveles de CO<sub>2</sub> medidos en ambos cruceros, mediante pruebas de hipótesis.

Para ello se utilizó el programa SPSS (Statistical Product and Service Solutions, edición 15), el cual permite analizar datos de forma multivariada.

Se inicia el análisis estadístico validando los datos a través de la determinación de la estadística básica como algunas medidas de tendencia central (media, mediana) y medidas de dispersión (mínimo, máximo, desviación estándar) para ambos cruceros, concentrándolas en una tabla por crucero.

Se comparan los valores de las concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> con otros contaminantes (HCT, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>) también medidos durante los mismos cruceros a través de una matriz, para cada crucero.

Se realizaron gráficas de barra con el promedio diario por semana con y sin las concentraciones pico, para observar el comportamiento de las mediciones del CO<sub>2</sub>.

Se elaboraron gráficas de caja por día para cada crucero, que es un diagrama que proporciona información sobre el centro, la dispersión, la simetría o sesgo y utiliza cuartiles, en ellas se observó claramente el comportamiento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en cada día de cada uno de los cruceros. Una gráfica de caja se elabora ordenando los datos de menor a mayor, construyendo una recta numérica con ellos y se marcan en ella los tres cuartiles. Se dibuja una caja rectangular sobre la recta con los extremos

---

localizados en el primer y tercer cuartiles. Se traza un segmento de recta vertical por el punto correspondiente a la mediana dentro de la caja. Se dibujan dos rectas horizontales, llamadas extensiones, una desde la mediana hasta la medida del valor mínimo y otra de la mediana a la medida del extremo del valor máximo.

Con el propósito de verificar si los resultados obtenidos, obedecen a una distribución simétrica, se realizó una prueba de normalidad, comúnmente conocida como la campana de Gauss, generalmente esta prueba se realiza mediante la conocida prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov que se utiliza para determinar la bondad de ajuste de la distribución de datos.

Se hizo una comparación de las concentraciones de CO<sub>2</sub> durante el día y la noche, mediante gráficas de caja y pruebas no paramétricas para dos muestras relacionadas, como son la prueba de Wilcoxon y Friedman.

Para ver si existe o no una diferencia significativa entre los niveles de concentración registrados de CO<sub>2</sub> durante los cruceros SGM-08 y SGM-09 se realizó una gráfica de caja y para confirmar el resultado se aplican pruebas no paramétricas como la de Wilcoxon y Friedman que son pruebas para dos y mas muestras relacionadas respectivamente.

El protocolo que siguió el SCA del CCA para la toma de muestras de dióxido de carbono en el sur del Golfo de México durante el verano y otoño de los años 2003 y 2004 respectivamente, se describe a continuación en: la metodología de muestreo y análisis, sitios de muestreo y número de muestras, así como el aseguramiento y control de calidad. El método de muestreo y análisis, así como, la calibración del equipo de medición se puede ver en el anexo III y IV.

---

#### 4.1 METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS DEL SCA DEL CCA

La metodología que se utilizó para medir las concentraciones de bióxido de carbono en los cruceros de los años 2003 y 2004 en el Sur del Golfo de México, consistió en realizar un monitoreo continuo mediante un analizador automático (figura 17) operando bajo el principio de absorción en el espectro del infrarrojo. Las mediciones se llevaron a cabo durante los treinta y tres días para el crucero SGM-08 y treinta días para el SGM-09.

Hasta la fecha no existe metodología recomendada oficialmente para la determinación de Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), que este regulada por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), ni por la “United States Environmental Protection Agency” (USEPA), no obstante el equipo que se usa normalmente para determinar CO<sub>2</sub> en aire ambiente opera bajo el principio de absorción en el infrarrojo, muy similar a los empleados para monóxido de carbono (CO), cuyos analizadores si están aceptados en la normatividad ambiental vigente en México y por la USEPA como métodos oficiales. Esta situación se da debido a que los métodos certificados, ya sea de referencia o equivalentes se enfocan a contaminantes criterio. No obstante si podemos decir que es una metodología adecuada y vigente.

La determinación de bióxido de carbono se llevó a cabo con el propósito de determinar sus concentraciones en la región sur del Golfo de México debido a su importancia como un gas causante del efecto de invernadero y a la presencia de fuentes potenciales de este contaminante en la región estudiada.

Desde el año 2002 se inició la colaboración entre el Laboratorio de Físicoquímica Marina (LFM) del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICM y L) 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 participó en la campaña oceanográfica en el Sur del Golfo de México (SGM) SGM-07 llevada a cabo de Noviembre a Diciembre de 2002, después en la campaña SGM-08 que se llevó a cabo de Septiembre a Octubre de 2003 y el crucero SGM-09 realizado de Mayo a Junio de 2004, a bordo del buque “Justo Sierra de la UNAM (figura 15). Correspondió a la SCA, la responsabilidad de la “Evaluación de la Contaminación Atmosférica en el Golfo de México”.

Durante los cruceros SGM-08 y SGM-09 se realizaron las mediciones continuas de CO<sub>2</sub> con equipo automático marca Monitor Labs Ecotech modelo ML@9820, con el propósito de tener un monitoreo representativo de CO<sub>2</sub> en la región de estudio, realizándose campañas de 33 días para el SGM-08 y de 30 días para el SGM-09, de esta manera se cumplió con el número mínimo de días necesarios para un análisis estadístico representativo, además de cumplirse satisfactoriamente con el mínimo de suficiencia de información de monitoreo requerida, que es mayor del 75%.



Figura 15. Buque Oceanográfico "Justo Sierra" de la UNAM.

## 4.2 SITIOS DE MUESTREO Y NÚMERO DE MUESTRAS.

En las campañas oceanográficas, el Buque Justo Sierra partió en Tuxpan, Veracruz y el arribo fue en el mismo lugar.

El SGM 08 se inició el día 3 de septiembre de 2003 y terminó el 5 de octubre del mismo año mientras que el SGM 09 se realizó del 9 de Mayo al 7 de Junio de 2004. El área estudiada en el Sur del Golfo de México (SGM-08, -09) (latitud N 20°-25° y longitud W 90° - 95°). El área de estudio durante las campañas es representada en el mapa del derrotero presente en la figura 16.

Las concentraciones de bióxido de carbono fueron determinadas minuto a minuto durante el periodo de realización de los cruceros. Lo anterior permitió validar la información, ordenarla e integrarla en intervalos de una hora, para su posterior análisis estadístico, además se cumplió con el mínimo de suficiencia de información registrada.

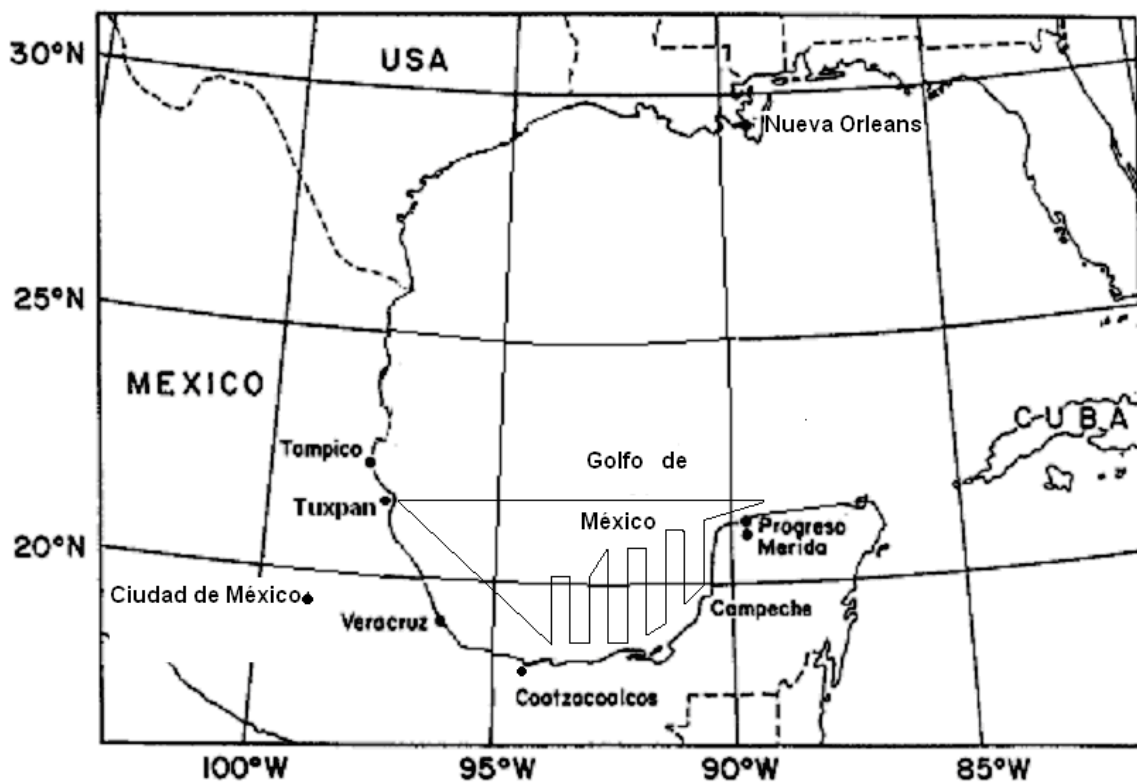


Figura 16. Derrotero de los cruceros en el Sur del Golfo de México.

### 4.3 ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD

Para el aseguramiento y control de los datos obtenidos durante el muestreo y análisis, el sistema de monitoreo de gases operó con equipó automático marca: Monitor Labs Ecotech modelo ML®9820. Estos sistemas son calibrados automáticamente con gases de concentración conocida y certificados. Las mediciones que se realizaron continuamente, fueron almacenadas en un sistema de adquisición de datos que posteriormente fueron llevados a una computadora personal. La instalación, calibración y operación de este sistema de monitoreo lo efectuó el personal de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Gobierno del Distrito Federal, bajo la coordinación y supervisión de la SCA.



Figura 17. Analizadores de gases

Los equipos de monitoreo fueron localizados en el cuarto de control del buque (Figura 17), lo más cercano a la pared para de ahí conectarlos a un tubo distribuidor (manifold) de vidrio y a la toma de muestra de teflón ubicada sobre una torre instalada exclusivamente para soportar los instrumentos meteorológicos y la toma de muestra de contaminantes atmosféricos (Figuras 18 y 19).

Lo anterior con base en la experiencia en proyectos de investigación conjunta entre la SCA y la National Oceanic and Atmospheric Administration de los Estados Unidos (NOAA) (Parungo et al, 1988 y 1990).



Figura 18. En esta torre se encuentra ubicada la toma de muestra (teflón).



Figura 19. Torre de meteorología y toma de muestra (teflón) de contaminantes atmosféricos.



**5 RESULTADOS Y ANÁLISIS**

**5.1 CRUCERO SGM-08**

Para el caso del crucero SGM-08. Se monitoreo un total de 33 días correspondiendo a 792 horas continuas de mediciones. Lo que se puede observar en la figura 20 que muestra el comportamiento diario de CO<sub>2</sub> en dicho crucero.

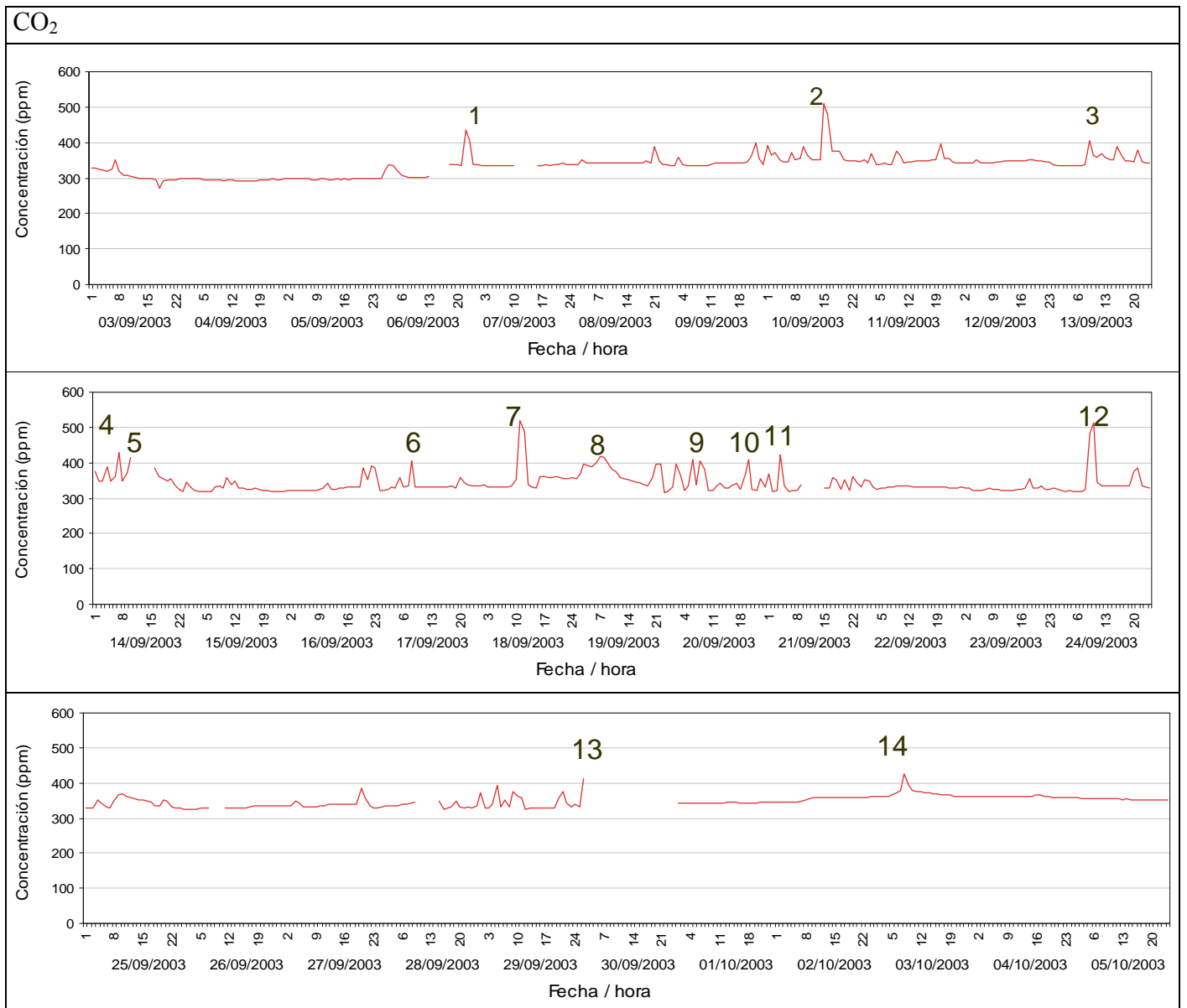


Figura 20. Gráficas de comportamiento diario de CO<sub>2</sub> del 3 de septiembre al 5 de octubre de 2003

---

En la gráfica de la figura 20, se puede observar que hay días en los cuales las concentraciones de CO<sub>2</sub> registradas ascienden a más de 400 ppm en determinadas horas (picos marcados con números), por lo que se realizó una comparación con las concentraciones de los gases Hidrocarburos totales (HCT), Bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), Monóxido de nitrógeno (NO), Bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), que son gases que se generan por la quema de combustibles fósiles, para ver si los valores registrados de las concentraciones de dichos gases, monitoreados simultáneamente durante el crucero SGM-08, también se encuentran elevadas.

En la tabla No. 5, se hace una comparación de los valores de concentración del CO<sub>2</sub> con los gases HCT, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, para mostrar los catorce picos registrados en la gráfica de la figura 20 que rebasan las 400 ppm. Asimismo, se puede observar fecha, hora y estación en la que se registraron las concentraciones de cada uno de los gases monitoreados simultáneamente durante el crucero SGM-08, la meteorología (WD y WS) nos indica si hubo algún cambio brusco en la dirección y velocidad del viento que haya ocasionado que este transportara los gases de la chimenea hacia la toma de muestra. En la tabla No. 5 en la sección de dirección y velocidad del viento se anota el valor anterior al de la fecha y hora indicada, separándolos a través de una diagonal, además las estaciones se identifican con cierta numeración que se puede ver en la figura 20.

En la tabla 5, podemos observar que aunque no hay registro de la concentración de los gases HCT, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> para los picos 2, 7 y 12 (ver figura 20) que registran los valores más altos en la concentración de CO<sub>2</sub> para el crucero SGM-08, ya que ascienden a más de 500 ppm, en general los valores de los picos 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13 y 14 de CO<sub>2</sub> que tienen una concentración de CO<sub>2</sub> entre 400 y 490 ppm, coinciden con un aumento en las concentraciones de los gases mencionados con los que se comparó el CO<sub>2</sub>, además la bitácora reporta que el buque se encontraba en la zona de plataformas.

En la fecha (10/09/03) correspondiente al pico 2 se arribó a la zona de plataformas, aunado con un ligero cambio en la dirección del viento (tabla 5), en la fecha (18/09/03) del pico 7 el barco permaneció durante ese día en la estación 10.72 (tabla 5) (figura 22) que está dentro de la zona de plataformas debido a que con base a la bitácora falló el sistema de arranque de la máquina principal y en el pico 12 con fecha 24/09/03 se observa un cambio brusco en la dirección del viento.

---

Tabla No. 5 Comparación de los valores de concentración elevada de CO<sub>2</sub> en ppm con los gases HCT, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> para el cruce SGM-08

Pico	Fecha	Hora	Estación	CO <sub>2</sub>	HCT	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	WD	WS m/s
1	6/09/03	21:00	12.14	435	1	c-s	0.095	0.095	0.095	33 /158	7/9.1
		22:00		406	0	c-s	c-s	c-s	c-s	150	9.6
2	10/09/03	14:00	12.9	511	1	c-s	c-s	c-s	c-s	43 /75	15.4/10
		15:00		480	1	c-s	c-s	c-s	c-s	49	15.2
3	13/09/03	08:00	CHA-52	407	1	0.034	1.446	0.106	1.549	239/202	10.7/19.2
4	14/09/03	06:00	11.6	428	1	0.034	1.608	0.09	1.668	100/136	20.9/21.4
		09:00		414	1	0.028	0.975	0.085	1.052	232/167	13.1/19.3
6	17/09/03	07:00	9.7	407	1	0.023	0.653	0.052	0.645	89 /175	19.5/15.9
7	18/09/03	10:00	COATZA	520	1	c-s	c-s	c-s	c-s	2 /19	5.3/5.7
		11:00	10.72	488	1	c-s	c-s	c-s	c-s	337	5.6
8	19/09/03	05:00	COATZA	401	3	0.027	0.013	0.026	0.039	339 /2	3.1/1.8
		06:00	10.72	418	3	0.015	0.037	0.031	0.068	68	2.6
		07:00		416	4	0.020.	0.036	0.031	0.067	16	3.2
9	20/09/03	05:00	8.6	409	4	0.029	1.43	0.114	1.536	6 /93	18.6/23.4
		07:00	8.7	404	2	0.032	1.51	0.089	1.61	96 /113	24.4/21.2
10		19:00	8.9	409	1	0.03	1.2	0.077	1.269	107/118	20/20.2
11	21/09/03	03:00	8.10	422	1	0.04	1.842	0.119	1.955	70 /141	21.2/19.2
12	24/09/03	08:00	5.9	482	c-s	c-s	c-s	c-s	c-s	155/304	11.1/14.9
		09:00		514	c-s	c-s	c-s	c-s	c-s	287	16.8
13	30/09/03	01:00	X	411	1	0.001	0	0.001	0.001	360/336	28.1/35.4
14	03/10/03	07:00	COATZA	426	5	0.008	0.052	0.033	0.085	invalido	3.3/3.8

Verificación de c-s (cero-span)

---

El buque permaneció en la zona de plataformas desde el día 10 hasta el día 21 de septiembre de 2003, es decir 12 días, representados por el grupo de picos marcados del número 2 al 11. En la figura 27, se observa la presencia del buque en la zona de plataformas en donde se ve la combustión en las chimeneas y como consecuencia un impacto en la concentración de CO<sub>2</sub>.



Figura 21. Zona de Plataformas

Al observar la tabla No. 5, se puede decir que las concentraciones pico se deben a que las muestras se registraron en la zona de plataformas y a que los gases de la chimenea fueron arrastrados ocasionalmente por el viento hacia la toma de muestras, según lo indican los cambios en la dirección del viento.

La figura 22, correspondiente al plano derrotero para la Campaña Oceanográfica SGM-8, que se encuentran en la latitud 18° 20' – 22° N y longitud 91° – 93° W, se ubican las estaciones circundadas de color rosa dentro de la zona de plataformas en las que se registraron las altas concentraciones de CO<sub>2</sub>.

---

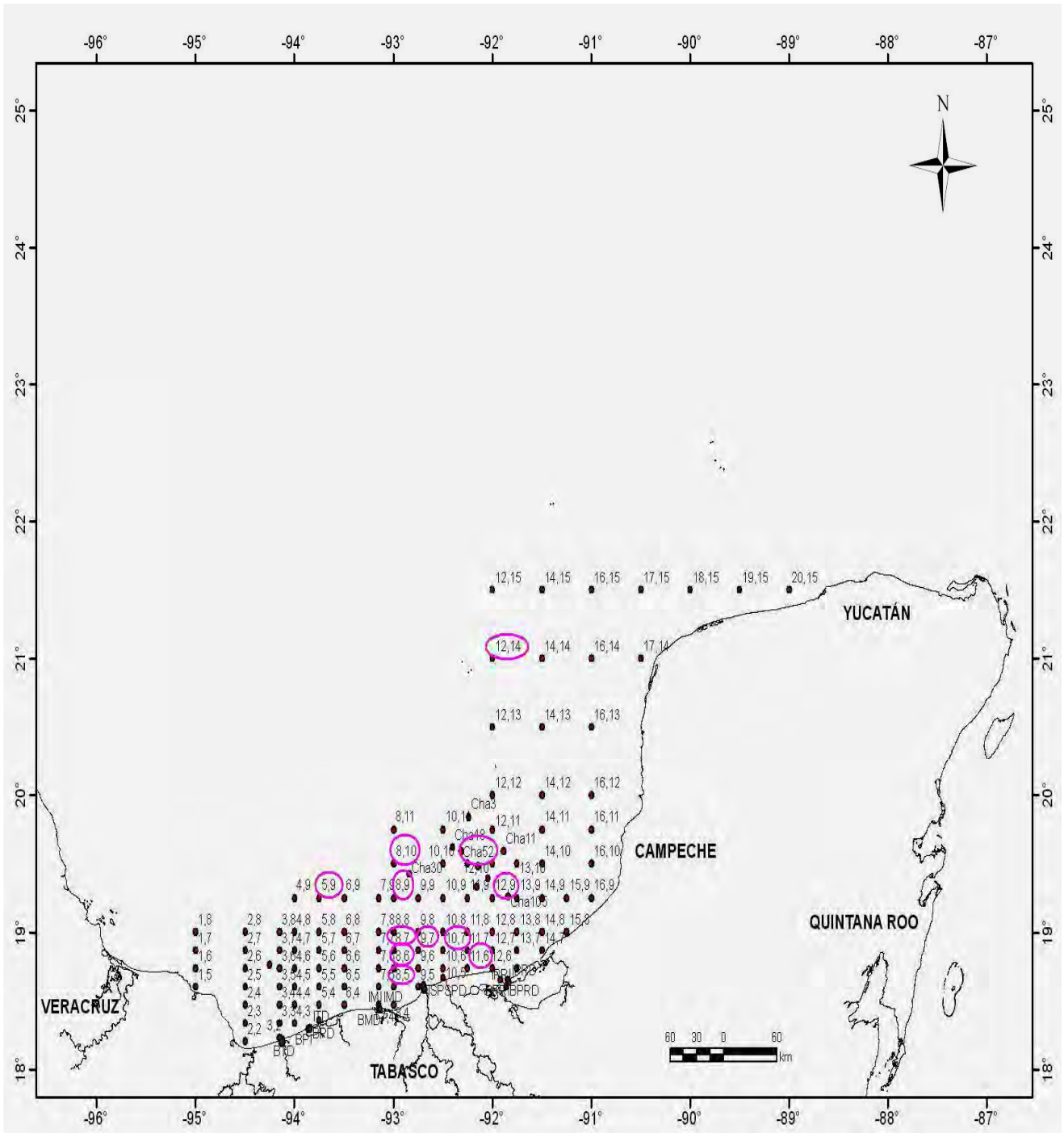


Figura 22. Plano Derrotero para la Campaña Oceanográfica SGM-8

En las gráficas de comportamiento diario de los gases HCT, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en las figuras 23, 24 y 25, se señalan con óvalos los picos de los gases mencionados que coinciden con las concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> en los días y horas indicados en la tabla No. 5. En donde también se puede observar que hay un cambio brusco en la dirección del vientos en los días y horas indicados.

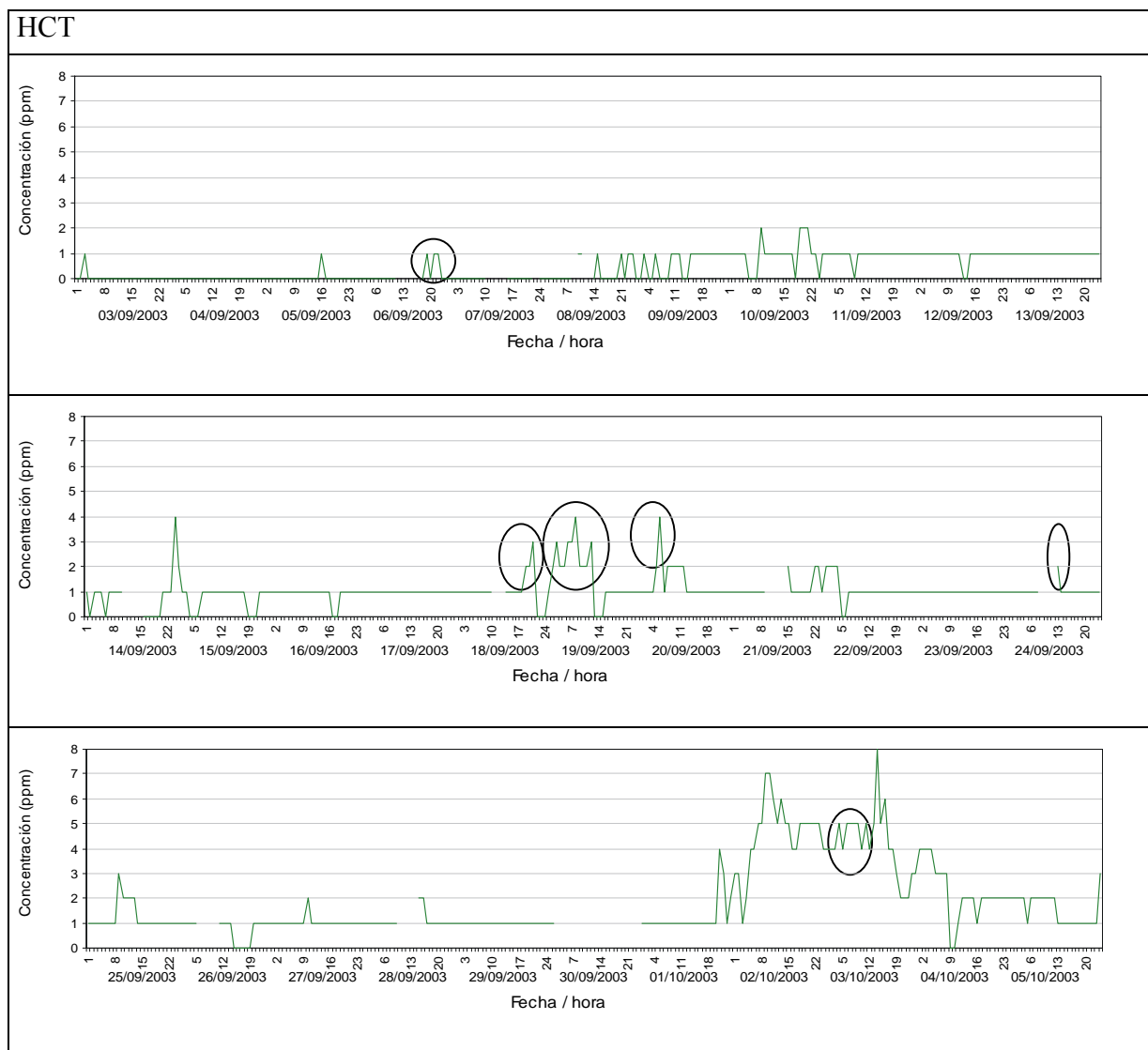


Figura 23. Gráfica de comportamiento diario de Hidrocarburos Totales 2003.

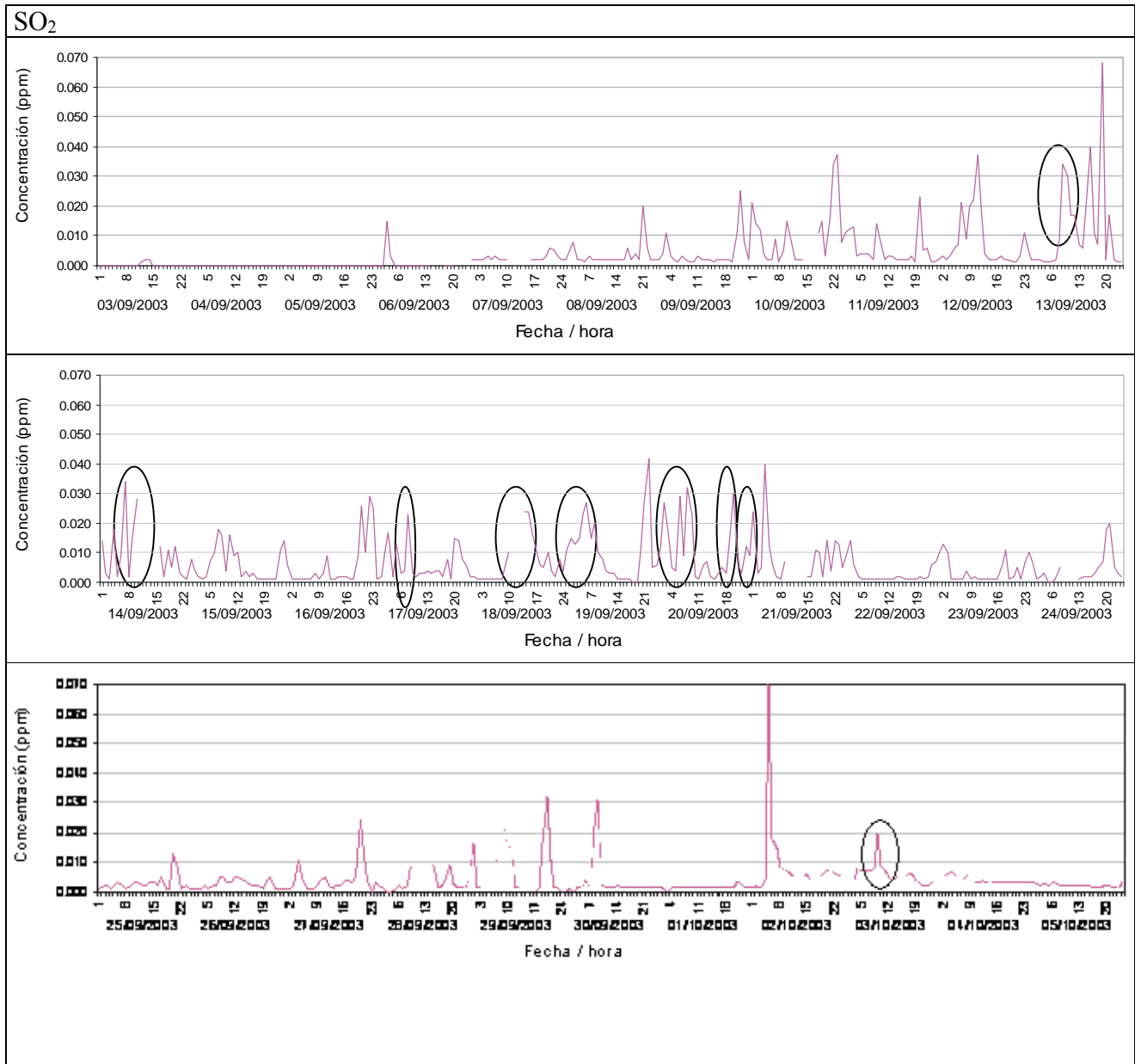


Figura 24. Gráfica de comportamiento diario de Bióxido de azufre 2003.

NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>

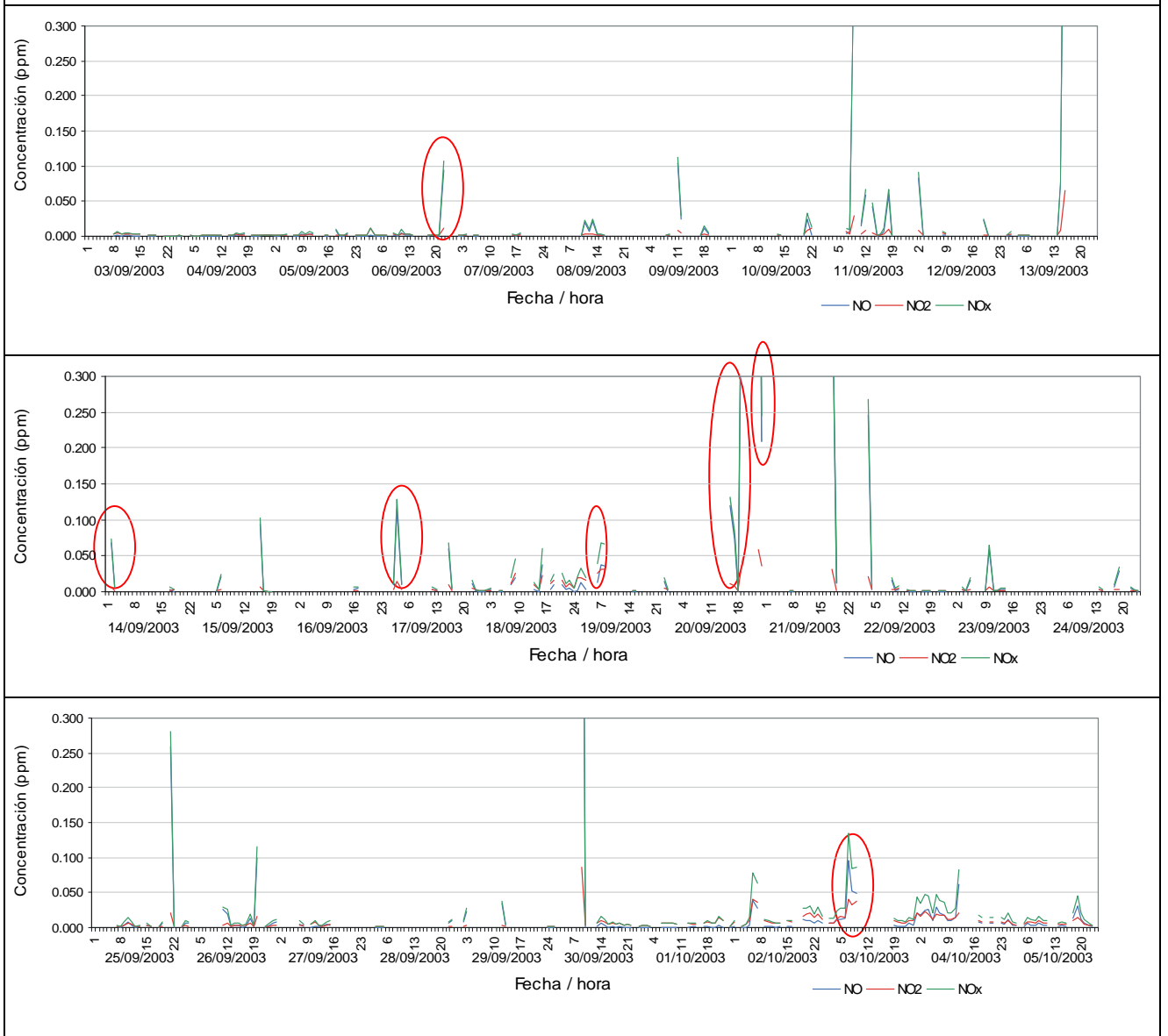


Figura 25. Gráfica de comportamiento diario de Óxidos de nitrógeno 2003.



La figura 26, muestra las gráficas de barra con el promedio diario para las semanas en las que se registraron las concentraciones de CO<sub>2</sub> durante el crucero SGM-08 donde se observa que el comportamiento de las concentraciones de dicho gas fue diferente en cada uno de los días y en cada una de las semanas estudiadas.

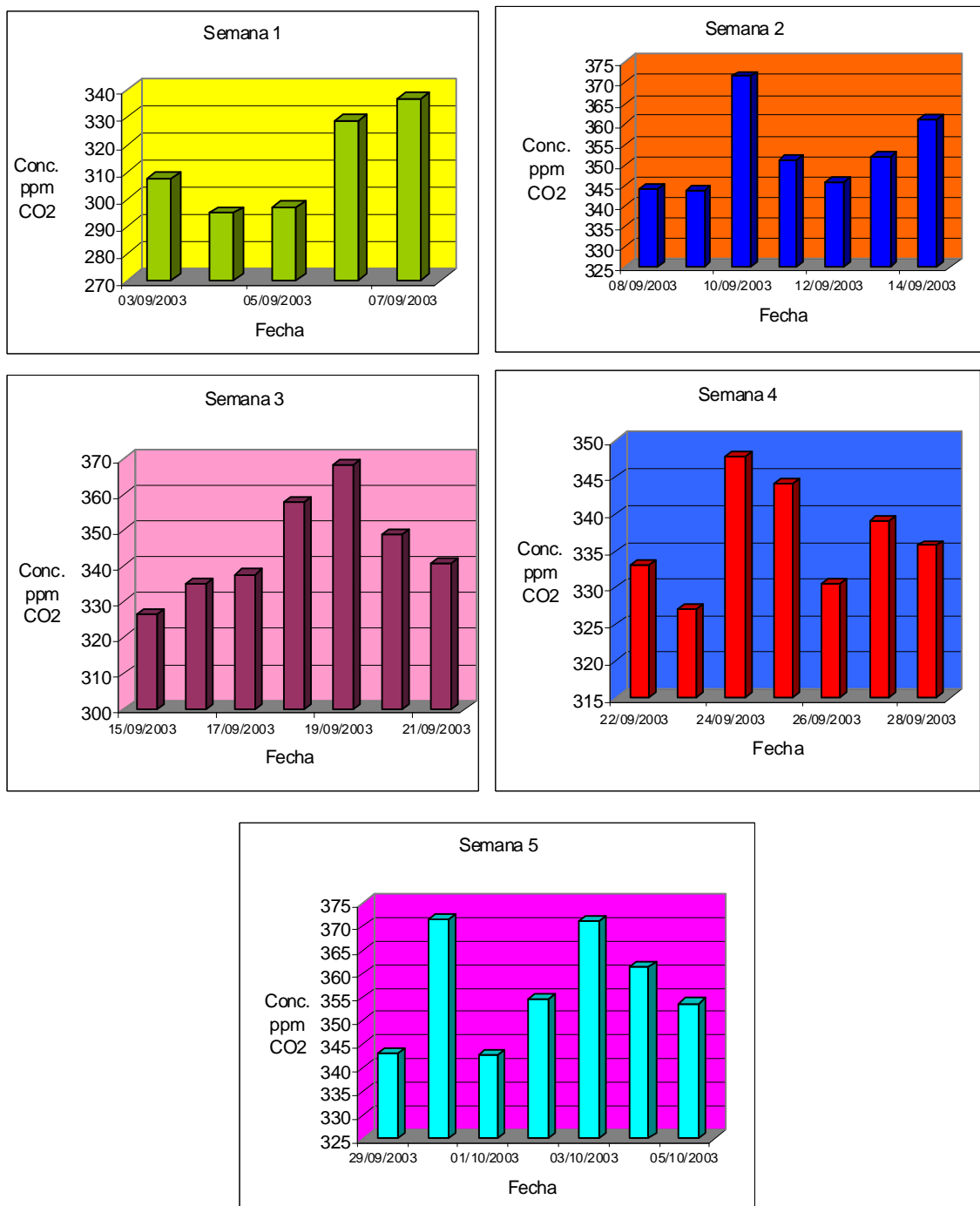


Figura 26. Gráficas de promedio diario por semana del SGM -08

Al observarse que en las fechas en las que aparecen los picos en las gráficas de comportamiento diario el buque se encontraba en zona de plataformas, y que las emisiones de la chimenea del barco son transportadas por el viento hacia la toma de muestras como lo indica la meteorología en la tabla 5, se eliminaron los valores de las concentraciones de CO<sub>2</sub> de los picos que exceden las 400 ppm. Lo anterior se muestra en las gráficas de barras con el promedio diario de cada semana durante el crucero SGM-08 en donde se muestra una disminución en los valores promedio (figura 27).

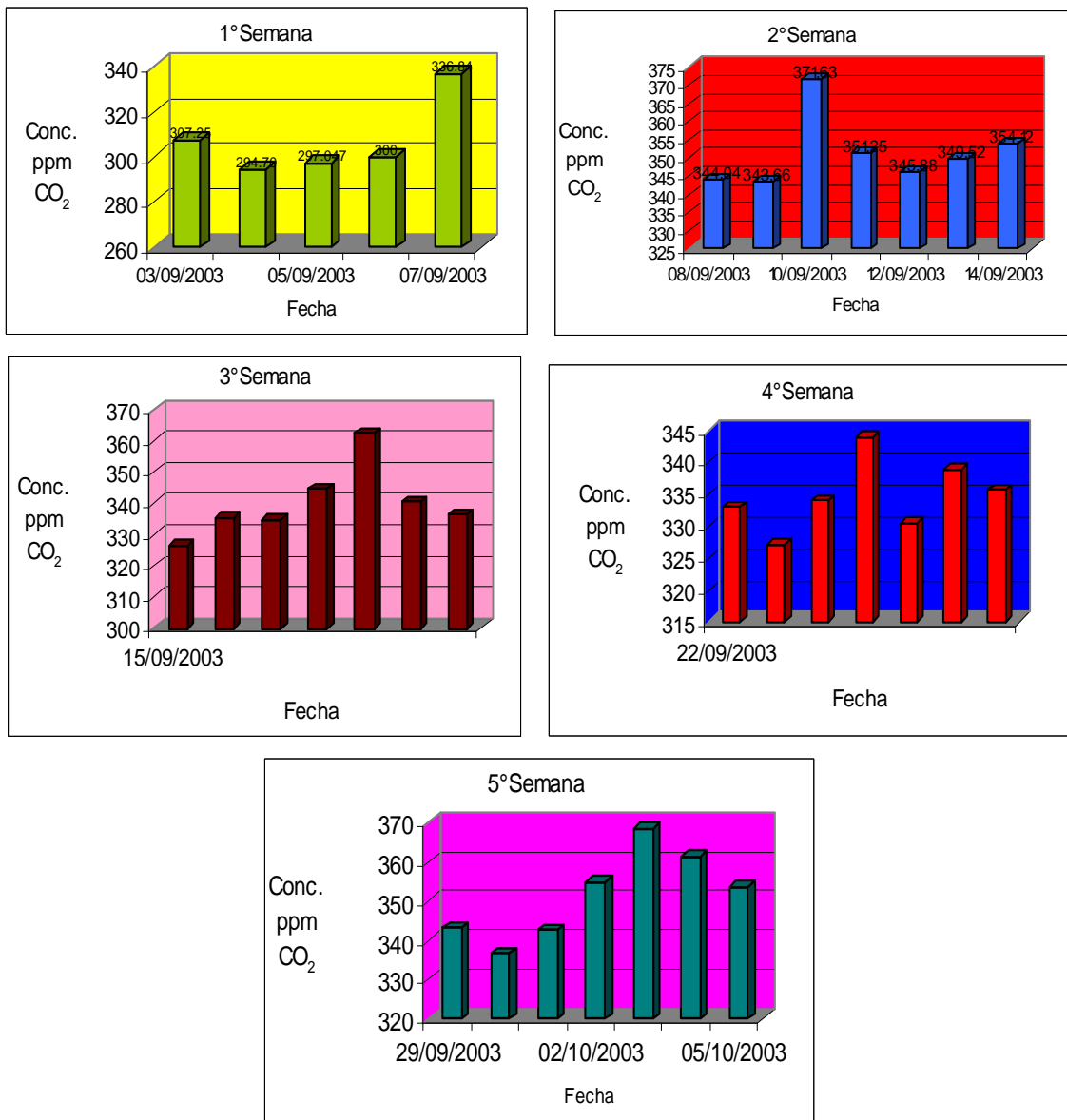


Figura 27. Gráficas con el promedio diario sin picos para cada semana del crucero SGM-08.

## 5.2 CRUCERO SGM-09

Se monitoreo un total de 30 días correspondiente a 699 horas continuas de medición, como se muestra en la figura 28 el comportamiento diario de CO<sub>2</sub>. En la gráfica de la figura 28 se observa que para la mayor parte de los días estudiados, la concentración de CO<sub>2</sub> fue mayor a 400 ppm.

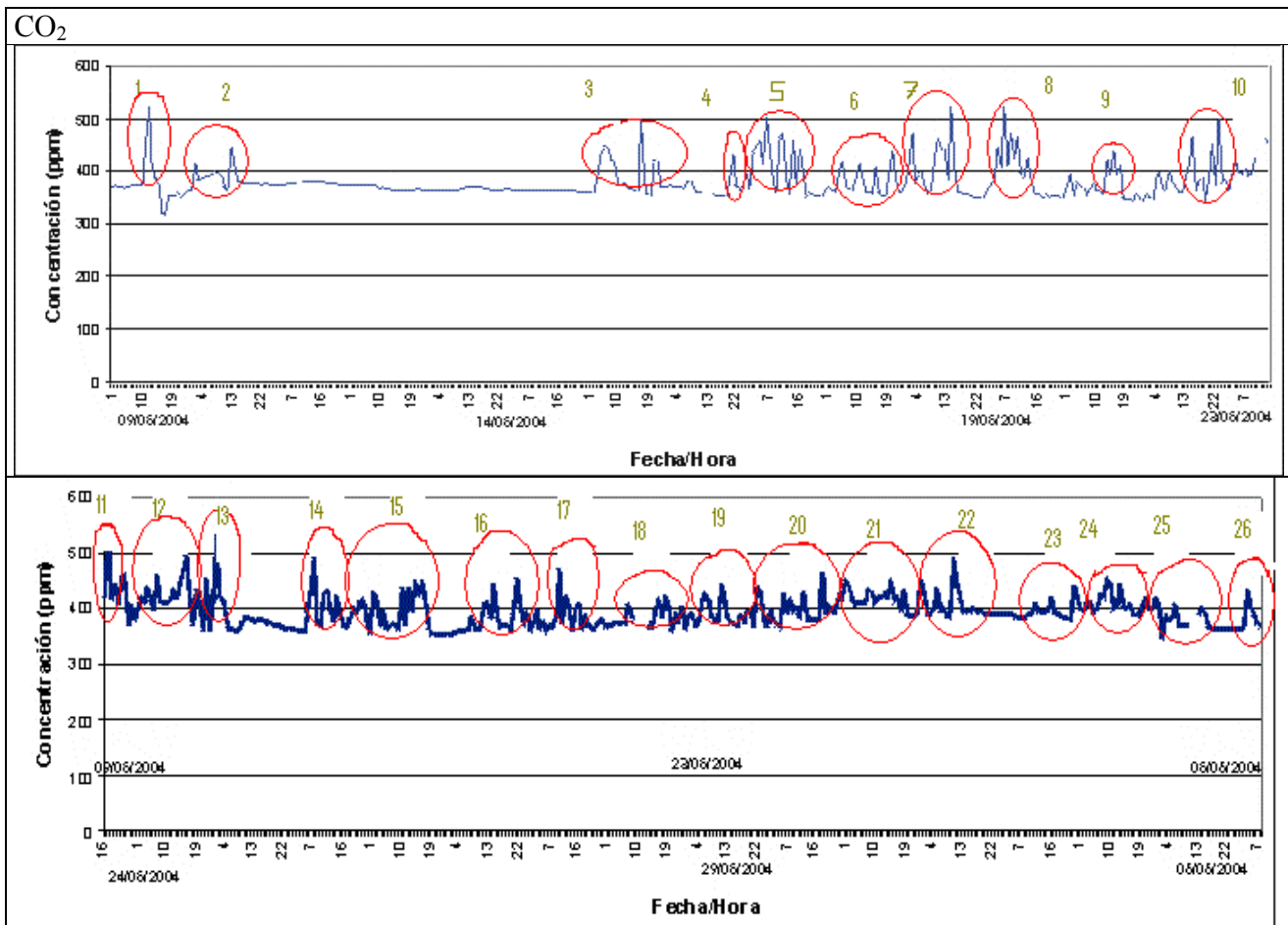


Figura 28. Gráficas de comportamiento diario de CO<sub>2</sub> del 9 de mayo al 7 de junio de 2004.

En el crucero SGM-09 también se monitorearon simultáneamente con el bióxido de carbono los gases SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, con los cuales se hace una comparación para ver si coinciden los momentos en los cuales se elevan las concentraciones de dichos gases y las del CO<sub>2</sub>.

En la gráfica de la figura 28, se enumeran los picos de los días que presentaron altas concentraciones de CO<sub>2</sub> circundándolos en color rojo.

En la tabla 6, se anota en número de los picos que corresponden a los días en donde las concentraciones de bióxido de carbono se encontraron elevadas haciendo la comparación con las concentraciones de los gases SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, también se indica la fecha, hora, estación, dirección y velocidad del viento para el crucero SGM-09. En la tabla 6, en la sección de dirección y velocidad del viento se anota el valor anterior al de la fecha y hora indicada, separándolos a través de una diagonal. De acuerdo al derrotero del crucero, a las diferentes estaciones se les asigna una clave que aparece posteriormente en la figura 29.

Tabla 6. Comparación de los valores de concentración del CO<sub>2</sub> para el crucero SGM-09 con los gases SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>. (en ppm)

Pico	Fecha	Hora	Estación	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	WD	WS m/s
1	09/05/04	10:00		445	0	0	14	14	sin reg.	sin reg.
		11:00		523	-	-	-	-	"	"
		12:00		407	-	-	-	-	"	"
2	10/05/04	1:00		413	8	173	12	199	34 / 231	3/5
		12:00		447	6	62	35	88	181 / 171	4/6
		13:00		416	0	3	4	7	120	7
3	15/05/04	3:00	P58	404	21	-	-	-	36 / 93	32/22
		4:00		432	48	-	-	-	150	13
		5:00		448	48	-	-	-	164	10
		6:00		448	82	-	-	-	156	12
		7:00		419	97	-	-	-	96	15
		8:00		418	41	-	-	-	326	17
		16:00	P56	500	208	-	-	-	285 / 149	10/15
		20:00	25-32	420	14	-	-	-	341 / 276	22/6
		21:00	25-32	418	46	-	-	-	255	10
4	16/05/04	20:00	17-28	431	50	-	-	-	110 / 102	16/20
5	17/05/04	2:00	17-28	440	17	-	-	-	157 / 194	7/4
		3:00		448	18	-	-	-	190	4

		4:00		459	20	-	-	-	227	4
		5:00		414	11	-	-	-	183	4
		6:00	13-32	501	134	-	-	-	149	15
		7:00	13-32	446	89	-	-	-	129	16
		10:00	CH13	466	-	-	-	-	60 / 148	16/14
		11:00	CH13	474	-	-	-	-	148	14
		14:00	P55	459	132	-	-	-	318 /137	20/15
		16:00	P55	443	96	-	-	-	287 /131	16/16
		17:00	P54	409	90	-	-	-	209	14
<b>6</b>	18/05/04	4:00		405	44	-	-	-	300 /136	25/18
		5:00	13-24	420	125	-	-	-	132	15
		10:00	15-24	417	70	-	-	-	81 /142	15/13
		15:00	17-24	410	53	-	-	-	331 /111	24/18
		20:00	19-24	440	19	-	-	-	128 /208	22/14
<b>7</b>	19/05/04	1:00	17-20	407	12	-	-	-	91 /229	20/8
		2:00		474	31	-	-	-	232	5
		9:00	CH12	433	69	-	-	-	134 /157	3/11
		10:00	CH12	462	83	-	-	-	154	16
		11:00	CH12	443	75	-	-	-	134	16
		12:00	CH12-R2	445	128	-	-	-	132	15
		14:00	13-20	521	182	-	-	-	156 /145	6/13
<b>8</b>	20/05/04	4:00	P51	446	63	-	-	-	254 / 153	21/18
		5:00	P51	409	39	-	-	-	156	19
		6:00	P49	523	126	-	-	-	138	18
		7:00	P49	412	41	-	-	-	80	22
		8:00	P48	474	101	-	-	-	134	18
		9:00	P48	425	38	-	-	-	78	23
		10:00	P50	466	91	-	-	-	138	16
		13:00	13-16	424	94	-	-	-	211 /123	15/13
<b>9</b>	21/05/04	13:00	17-12	421	64	-	-	-	339 /117	7/10
		15:00	17-12	440	64	-	-	-	82 /197	17/7
		17:00	17-10	411	88	-	-	-	148 /117	14/17
<b>10</b>	22/05/04	5:00	15-12	400	19	-	-	-	149 /157	19/17
		8:00	15-14	401	23	-	-	-	66 /170	18/16
		14:00		414	55	-	-	-	237 /154	8/13
		15:00	13-14	466	125	-	-	-	153	11
		21:00	P-47	453	111	-	-	-	115 /113	16/19

		23:00		499	45	-	-	-	220 /164	20/13
<b>11</b>	23/05/04	4:00	P-45	419	57	-	-	-	41 /163	23/13
		5:00	P-45	400	13	-	-	-	55	21
		7:00	P-44	403	19	-	-	-	145 /200	18/21
		10:00	P-41	429	67	-	-	-	225 /92	16/15
		13:00	P-38	463	107	-	-	-	115 /119	15/16
		14:00	13-12	451	61	-	-	-	153	12
		15:00	13-12	418	76	-	-	-	114	14
		16:00	13-12R1	577	284	-	-	-	143	11
		17:00	13-12R1	413	94	-	-	-	126	9
		18:00	13-12R2	447	149	-	-	-	135	12
		19:00	13-12R2	407	53	-	-	-	29	16
		20:00	P-39	456	90	-	-	-	147	16
		21:00	P-39	462	95	-	-	-	154	21
23:00	P-37	406	26	-	-	-	263 /124	23/19		
<b>12</b>	24/05/04	02:00	P-34	422	22	-	-	-	149 /159	7/18
		03:00	P-34	409	11	-	-	-	222	16
		04:00	P-32	443	37	-	-	-	156	18
		05:00	P-32	414	12	-	-	-	177	17
		07:00	P-31	461	97	-	-	-	252 /132	21/18
		08:00	P-31	412	24	-	-	-	113	21
		09:00	P-29	408	27	-	-	-	134	19
		10:00	P-29	408	35	-	-	-	147	17
		11:00	P-33	414	51	-	-	-	112	16
		12:00	P-33	437	109	-	-	-	118	16
		13:00	CH-16	417	45	-	-	-	146	13
		14:00	CH-16	447	57	-	-	-	176	10
		15:00	CH-16	472	135	-	-	-	157	11
		16:00	P-36	498	187	-	-	-	147	10
		17:00	P-30	406	33	-	-	-	105	11
		19:00	P-35	438	60	-	-	-	76 /129	14/15
20:00	P-35	405	56	-	-	-	115	19		
22:00	P-40	457	113	-	-	-	56 /131	24/21		
<b>13</b>	25/05/04	00:00		404	10	-	-	-	119 /177	16/6
		01:00		534	40	-	-	-	193	8
		02:00		422	18	-	-	-	179	6
		03:00		415	14	-	-	-	191	5
<b>14</b>	26/05/04	06:00	CH-14	431	41	185	26	211	92 /127	23/22

		07:00	P-25	493	33	246	37	283	171	17
		10:00	P-26	424	37	188	28	215	260 /175	16/19
		11:00	P-26	435	67	225	20	245	153	19
		14:00	P-23	421	46	173	14	187	51 /118	22/15
		19:00	ABKATUM	400	151	316	17	329	52 /140	17/14
		21:00	ABKATUM	409	27	201	48	249	230 /154	15/15
		22:00	ABKATUM	416	41	205	32	238	129	18
<b>15</b>	27/05/04	01:00	ABKATUM	429	63	232	21	255	334 /130	23/17
		02:00	ABKATUM	413	58	141	32	168	120	17
		10:00	ABKATUM	440	37	182	26	207	55 /135	28/20
		12:00	P-27	439	78	294	37	331	74 /130	23/16
		14:00		451	148	385	27	412	41 /131	16/12
		15:00	13-10	422	59	184	20	204	94	14
		16:00	13-10	453	114	314	30	345	130	11
		17:00	13-10	420	81	181	28	213	103	8
<b>16</b>	28/05/04	11:00		406	68	206	20	226	35 /110	31/20
		12:00	P-24	409	64	158	24	182	67	16
		14:00	P-24	445	32	269	30	300	139 /147	9/7
		21:00	P-22	456	131	388	20	409	87 /157	15/9
		22:00	P-19	408	66	183	20	203	101	7
<b>17</b>	29/05/04	03:00	P-17	399	15	133	19	152	10 /126	22/24
		10:00	P-16	472	90	331	31	362	251 /149	23/15
		12:00	11-18	423	71	215	23	239	247 /127	17/12
		13:00	11-18	404	40	136	13	149	34	12
		16:00	P-13	408	69	200	21	218	191 /138	13/13
<b>18</b>	30/05/04	07:00	CH-8R2	407	12	89	24	114	298 /130	31/25
		16:00	CH-11	417	22	134	24	158	157 /156	10/7
		18:00	CH-11	423	20	194	27	218	210 /208	11/10
		19:00	CH-9	400	21	152	9	161	48	14
		23:00	9-14	401	11	122	15	137	142 /12	8/11
<b>19</b>	31/05/04	05:00	9-12	411	54	226	38	263	172 /153	16/17
		06:00	CH-7	424	76	185	18	203	107	19
		07:00	CH-7	415	13	89	24	111	122	21
		11:00	9-8	447	78	282	35	316	67 /137	23/17
		12:00	9-8	417	53	156	21	177	161	15
		22:00	9-6	442	96	336	18	354	38 /125	15/12
		23:00	9-6R1	429	95	261	26	289	129	16

<b>20</b>	01/06/04	02:00	9-6R2	400	38	161	24	187	293 /139	23/16
		06:00	9-4	428	24	140	43	179	313 /125	30/22
		08:00	9-10	417	23	113	25	136	121 /120	23/20
		12:00	P-6	433	-	-	-	-	320 /121	28/15
		18:00		492	25	234	39	273	106 /209	17/11
		20:00	7-4	402	22	103	18	121	147 /124	27/20
		23:00	7-6	422	17	101	18	120	132 /177	16/13
<b>21</b>	02/06/04	00:00	7-6	413	31	126	18	143	177 /161	13/14
		01:00	7-6	451	28	130	40	170	166	15
		02:00	7-6	447	34	151	18	169	180	12
		03:00	7-6	413	3	14	11	25	335	17
		04:00		406	0	6	4	10	337	7
		05:00	CH-5	408	0	3	2	5	19	3
		06:00	CH-5	408	0	1	2	3	349	8
		07:00	CH-5	408	0	2	3	4	321	8
		08:00	CH-5	435	34	118	7	125	78	11
		09:00	CH-5	430	46	136	15	151	150	9
		10:00	7-8	410	13	29	5	35	110	14
		11:00	7-8	418	5	33	7	39	171	8
		12:00	7-8	420	17	80	6	86	108	7
		13:00	7-8	428	8	58	8	65	174	6
		14:00	CH-6	417	17	62	11	77	94	7
		15:00	CH-6	454	70	198	26	226	115	11
		16:00	CH-6	413	17	47	7	54	98	10
17:00		419	39	119	16	136	117	9		
18:00	7-10	394	0	7	0	7	63	7		
19:00	7-10	435	103	220	10	231	113	16		
<b>22</b>	03/06/04	00:00		456	50	193	17	210	94 /145	23/17
		01:00		434	52	147	11	158	108	18
		05:00	CH-5	440	21	116	30	149	110 /134	23/25
		10:00	7-8	493	78	286	21	308	59 /140	25/23
		11:00	7-8	453	52	178	10	187	119	22
		12:00	7-8	417	12	77	12	88	128	18
<b>23</b>	04/06/04	11:00	CH-3	408	6	54	9	63	176 /161	21/20
		16:00	CH-4	420	22	88	17	105	101 /91	23/23
		23:00	5-8	451	35	170	20	188	251 /148	18/23



<b>24</b>	05/06/04	00:00	5-6	417	12	45	15	62	148 /107	23/21
		03:00		410	23	76	8	84	203 /120	16/16
		04:00	5-6	408	11	39	6	45	48	17
		06:00	5-6	400	7	31	9	40	313 /302	21/17
		07:00		425	10	69	19	87	138	10
		08:00		419	5	50	10	60	110	9
		09:00	5-4	457	21	128	23	150	184	11
		10:00	5-4	445	23	118	31	150	175	10
		12:00	5-4	403	1	41	6	47	342 /21	9/6
		13:00	P-2	447	14	168	31	196	102	7
		14:00	P-2	402	0	2	0	2	54	11
		15:00		400	0	1	0	1	45	24
		16:00	P-1	406	18	51	5	56	98	18
		20:00	3-4	405	8	33	7	41	55 /116	16/11
21:00	3-4	420	5	60	10	70	199	10		
<b>25</b>	06/06/04	00:00	3-6	419	21	123	23	146	349 /184	18/12
		01:00	3-6	401	5	26	3	29	136	11
		06:00	3-6	407	22	81	13	94	156 /200	10/8
<b>26</b>	07/04/0	04:00		437	25	211	52	264	111 /141	4/7
				402	11	117	37	157	230	6

---

---

Al comparar las concentraciones registradas de CO<sub>2</sub> en el crucero SGM-09 con las concentraciones de los gases SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> monitoreadas simultáneamente, se observa que, por lo general cuando aumentan las concentraciones de CO<sub>2</sub> hay un aumento en las concentraciones de los gases mencionados, además de que hay cambios bruscos en la dirección de viento que nos indican la posibilidad de que el viento haya transportado los gases de la chimenea hacia la toma de muestra, o bien, que pudo haber algunas fuentes de combustión como las emisiones atmosféricas de las plataformas petroleras que hayan incrementado momentáneamente el CO<sub>2</sub> y los otros gases, motivo por el cual tanto el CO<sub>2</sub> como los gases SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> presentan concentraciones elevadas en las mismas fechas y a las mismas horas.

#### RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el crucero SGM-09 las estaciones en las cuales se detectaron altas concentraciones de CO<sub>2</sub> se ubican en el plano derrotero para la Campaña Oceanográfica SGM-9 (figura 29), dentro de este plano la zona de plataformas se encuentran en la latitud 18° 20' – 22° N y longitud 91° 93° W, en este crucero el barco permaneció más tiempo dentro de la zona de plataformas. También en el año 2004 hubo mayor actividad petrolera con respecto al año 2003.

En 2004, la producción de gas natural se incrementó 2 por ciento, ubicándose en 4,573 millones de pies cúbicos diarios; mientras que la producción de petróleo crudo pasó de 3,371 mil barriles diarios en 2003 a 3,383 mil barriles diarios en 2004. En 2004 la producción total de hidrocarburos en Cantarell se incrementó 2 por ciento, situándose en 2,325.7 miles de barriles de petróleo crudo equivalente diarios. En 2004 la perforación de pozos exploratorios aumentó 17 por ciento respecto de 2003, alcanzando 103 pozos en 2004 de 88 pozos en 2003. Asimismo, la perforación de pozos de desarrollo se incrementó 24 por ciento, pasando de 505 pozos en 2003 a 624 pozos en 2004 (PEMEX, 2004).

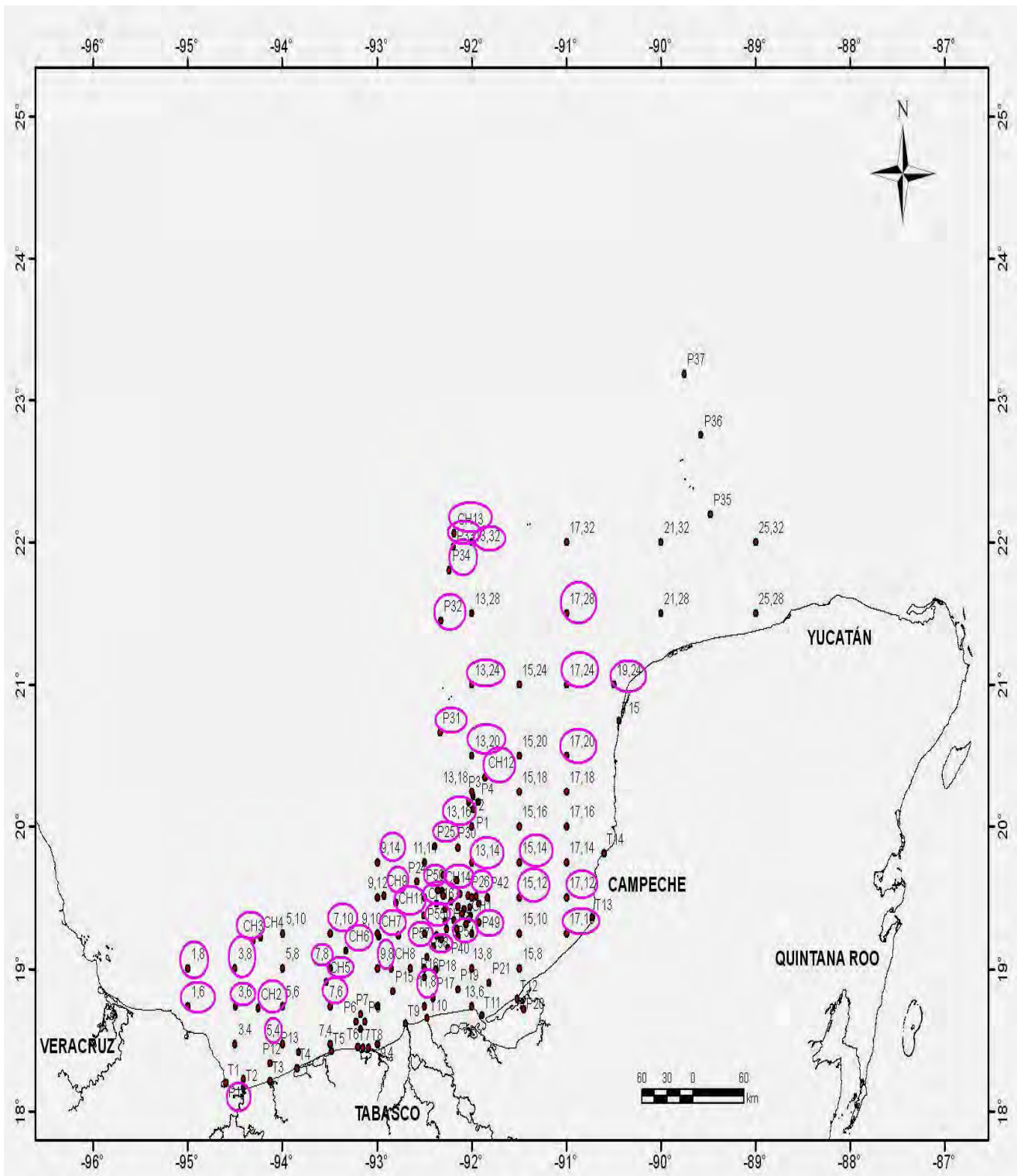


Figura 29. Plano Derrotero para la Campaña Oceanográfica SGM-9

En las figuras 30 y 31, se muestran las gráficas de comportamiento diario de los gases  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , también registrados durante el crucero SGM-09. Los picos que se encuentran encerrados en un ovalo marcan las concentraciones elevadas de los gases que coinciden con los picos registrados de  $\text{CO}_2$ .

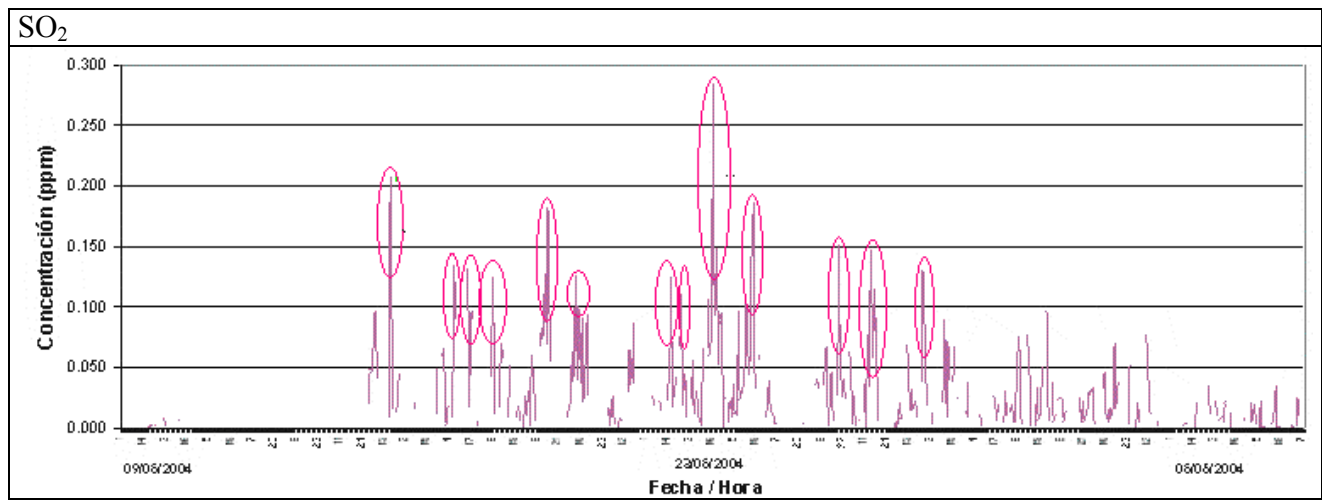


Figura 30. Comportamiento diario de  $\text{SO}_2$  en el Sur del Golfo de México, Mayo-Junio 2004.

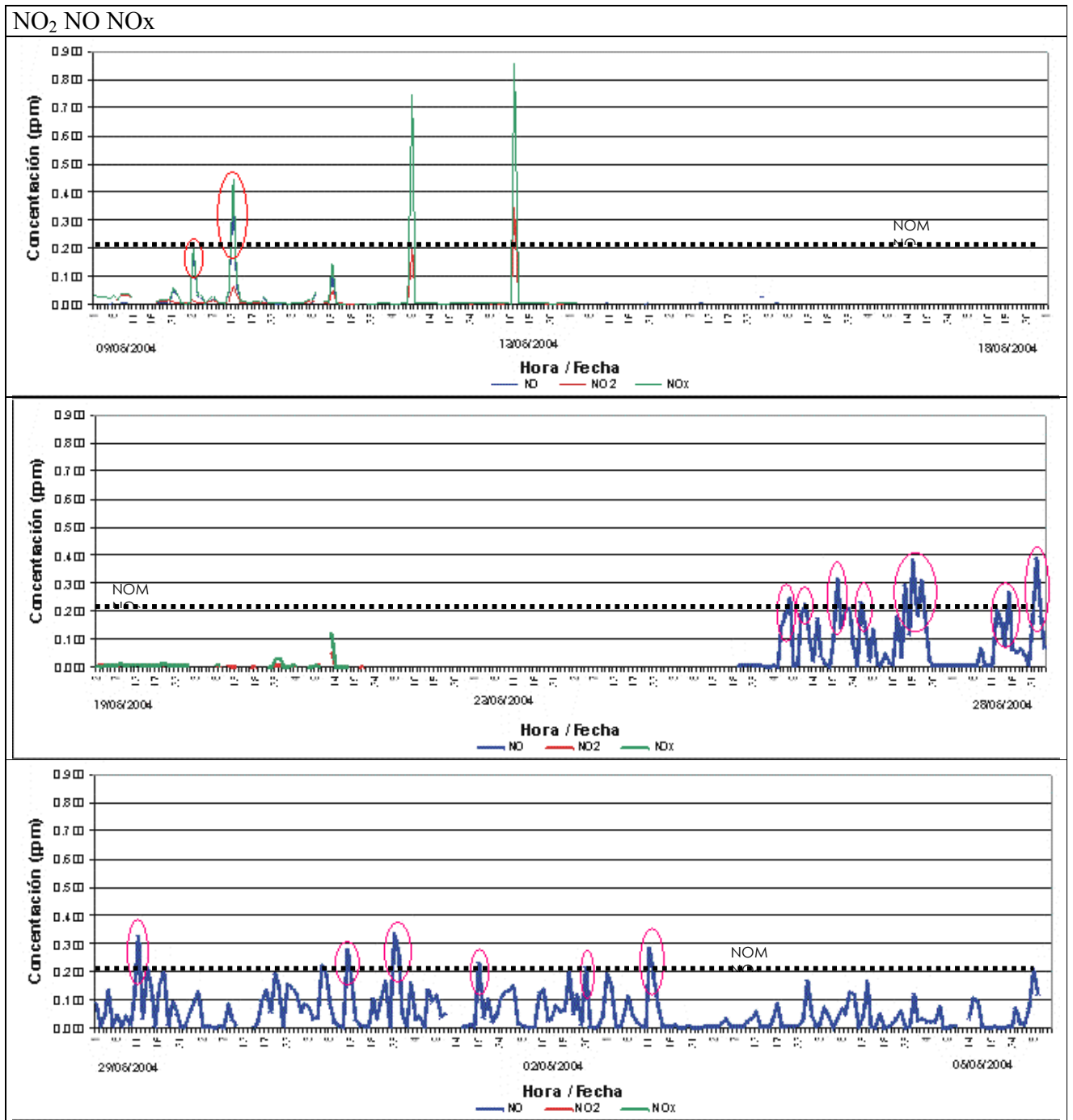


Figura 31. Comportamiento diario de NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en el Sur del Golfo de México, Mayo-Junio 2004.

La figura 32, muestra las gráficas de barra con el promedio diario para las semanas en las que se registraron las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el crucero SGM-09 donde observamos que el comportamiento de las emisiones de dicho gas fue diferente en cada una de las semanas, además de que en este crucero se registraron concentraciones de CO<sub>2</sub> mayores de 400 ppm de forma más frecuente comparadas con el crucero SGM-08.

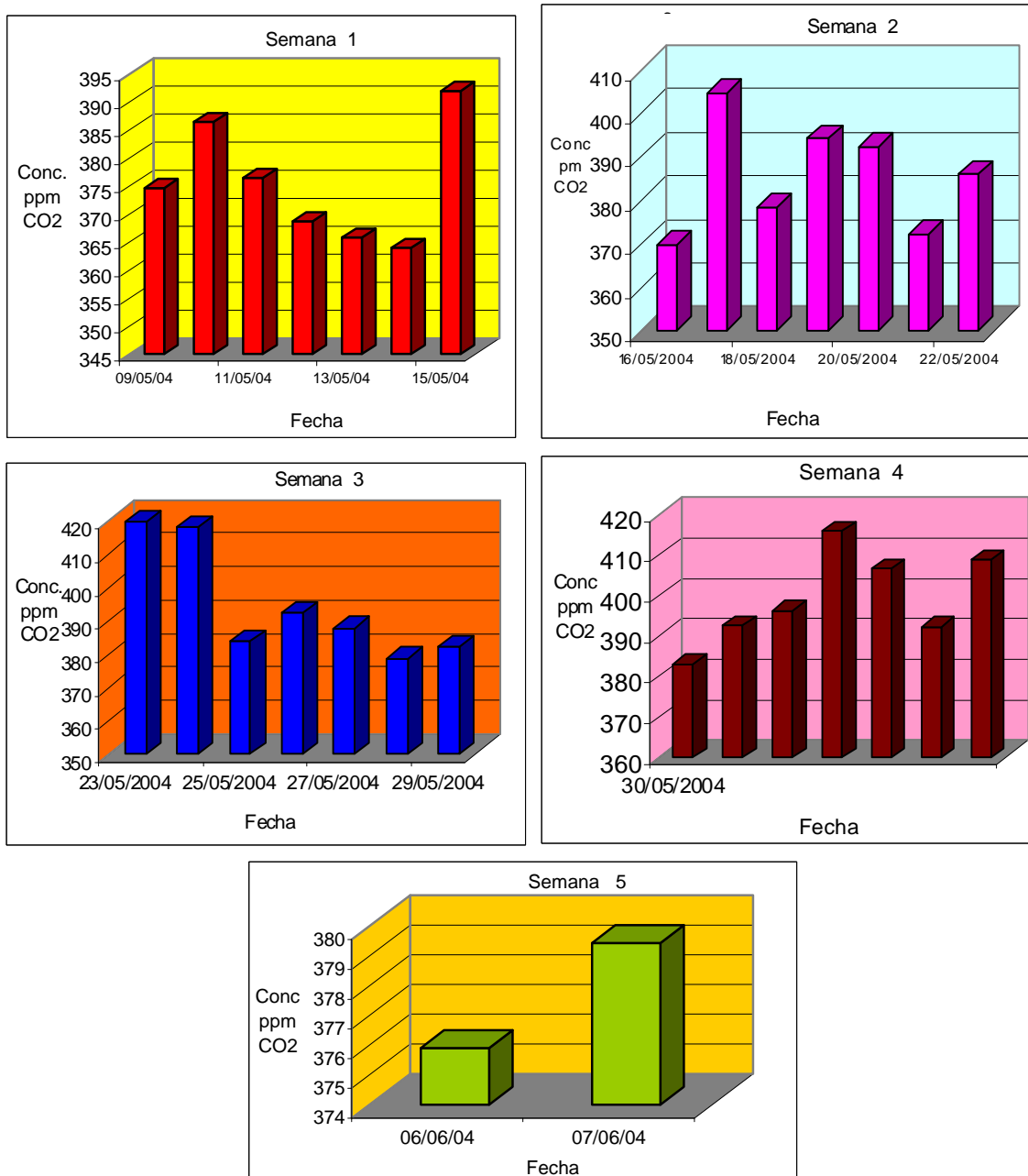


Figura 32. Gráficas con el promedio diario para cada semana del SGM-09

La estancia prolongada del buque en la zona de plataformas y la meteorología (tabla 6) durante el crucero SGM-09 indican que las concentraciones de CO<sub>2</sub> registradas fueron influenciadas, por lo que se eliminaron las concentraciones pico mayores a 400 ppm que muestra la gráfica de comportamiento diario de CO<sub>2</sub>, se realizan nuevamente gráficas de barras en donde se observa que disminuye el promedio por día de forma considerable en algunas barras de las diferentes semanas, (figura 33).

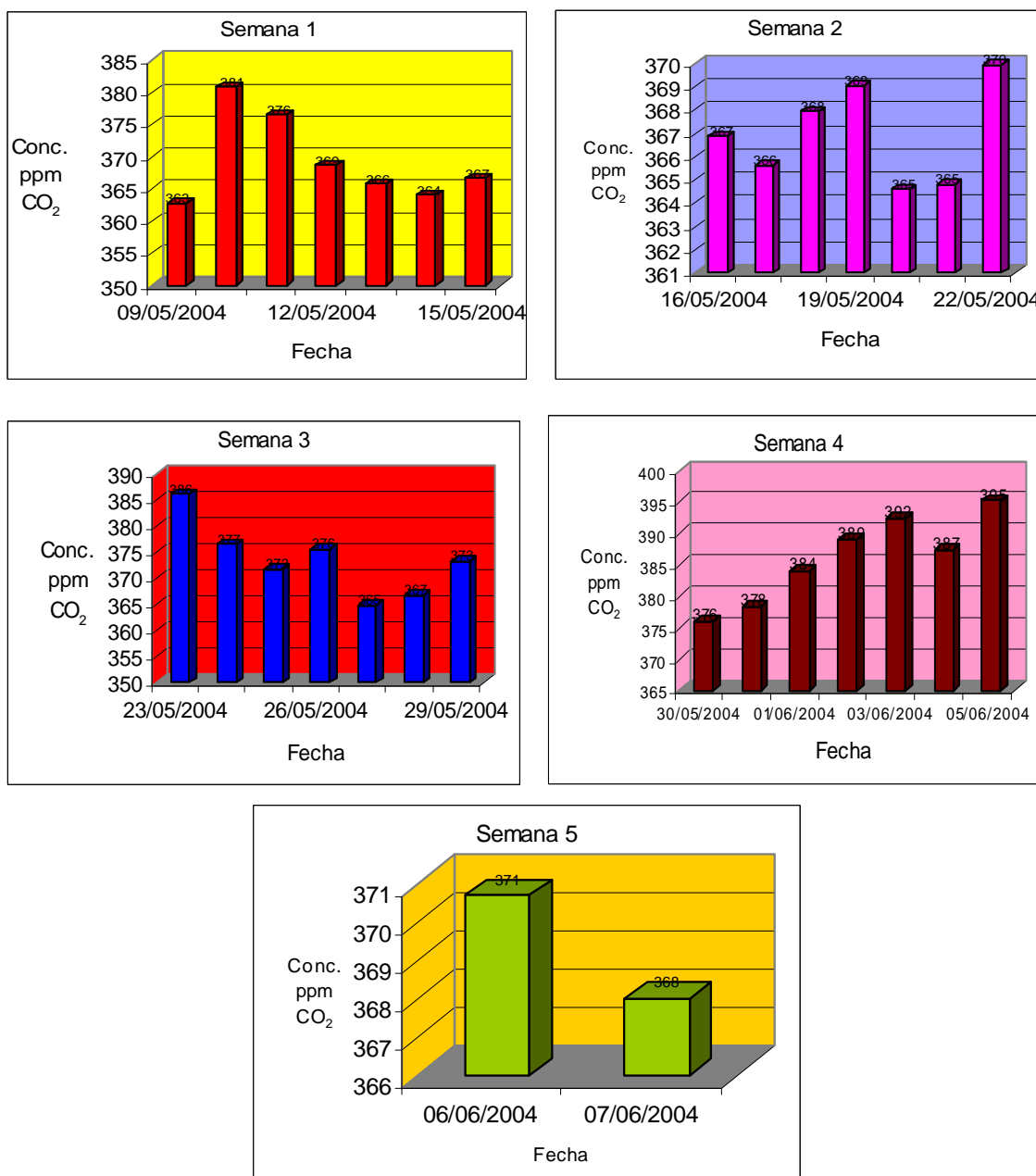


Figura 33. Gráficas con el promedio diario sin picos para cada semana del crucero SGM-09.

## 6 EVALUACION DE RESULTADOS

Los datos que se registraron de CO<sub>2</sub> sobre la atmósfera del Sur del Golfo de México son una muestra del impacto real de dicho gas, ya que no hubo control de variables.

Adicionalmente a las gráficas de comportamiento diario de CO<sub>2</sub>, al igual que a las gráficas de barras, la comparación de las concentraciones de CO<sub>2</sub> con otros gases monitoreados simultáneamente durante los cruceros y con el fin de ampliar la interpretación detallada del comportamiento diario de las concentraciones medidas de CO<sub>2</sub> durante los cruceros SGM-08 y SGM-09, se realizó una comparación de las concentraciones registradas de CO<sub>2</sub> durante dichos cruceros. Se realizó un análisis estadístico más intenso para conocer el comportamiento real por día de las concentraciones de dicho gas; una comparación entre las concentraciones registradas durante la noche y durante el día para cada crucero, así como también una comparación entre las concentraciones de ambos cruceros para determinar si existe alguna diferencia significativa entre ellos.

Con la base de datos se realizó una prueba de normalidad con un nivel de significancia de 0.1 para ambos cruceros, obteniendo como resultado que los datos del año 2003 no muestran una distribución normal, mientras que los datos del año 2004 si muestran una distribución normal.

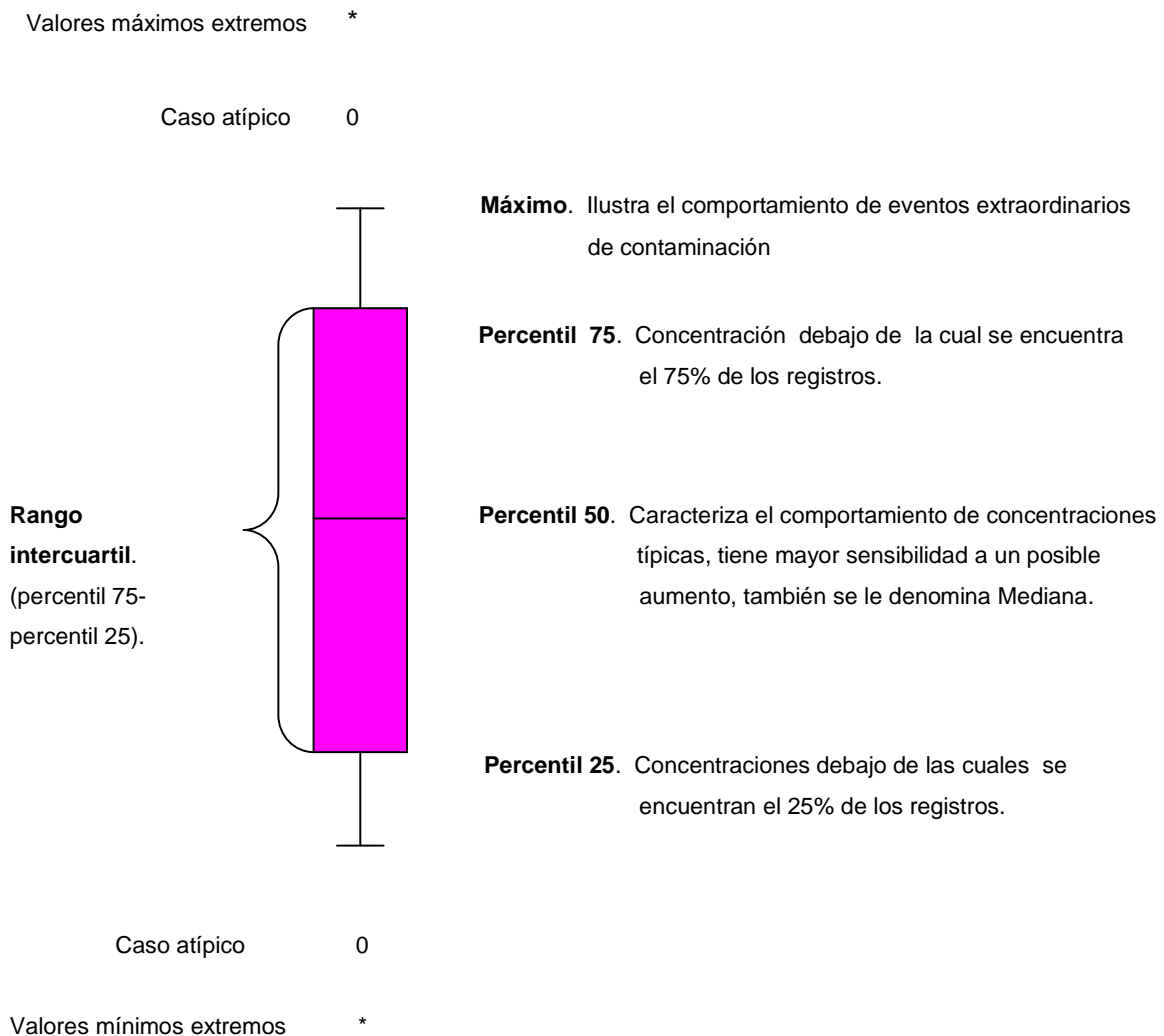
Debido a lo anterior y a que la toma de muestra no se realizó durante todo el año en cada uno de los cruceros, y además es específica para el periodo y los sitios estudiados, se decidió utilizar pruebas no paramétricas para realizar la comparación entre los cruceros y ver si existe alguna diferencia significativa entre ambos cruceros aunado a que las pruebas no paramétricas no requieren de conocer una distribución específica y se pueden utilizar con todo tipo de datos.

Se trabajaron pruebas no paramétricas para dos muestras y/o varias muestras relacionadas como son la prueba de Wilcoxon y la de Friedman respectivamente.



Para ilustrar el comportamiento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> se empleó inicialmente un diagrama de cajas el cual permitió visualizar el comportamiento por día, hacer la comparación entre el día y la noche para cada cruce, así como llevar a cabo una comparación entre ambos cruces.

Una gráfica de caja y extensión es un diagrama que proporciona información sobre el centro, la dispersión y la simetría o sesgo. Esta gráfica encierra el rango intercuartil de los datos en una caja que tiene la mediana representada. El rango intercuartil tiene como extremos el percentil 75 (cuartil superior) y el percentil 25 (cuartil inferior). Además de la caja se prolongan extensiones, que muestran las observaciones extremas tal y como se presenta en la figura 34. No existen reglas empíricas respecto a cuando las gráficas de caja y extensión proporcionan evidencia de diferencias significativas entre las medias. Sin embargo, una pauta aproximada es que si la línea del percentil 25 para una muestra excede la línea de la mediana de la otra muestra, hay fuerte evidencia de una diferencia entre las medias (Weimer, 2000).



**Rango intercuartil.** Caracteriza la variación de concentraciones típicas. Evita la influencia del 25% de las concentraciones más altas y el 25% de las concentraciones más bajas de un conjunto de datos.

Figura 34. Representación de un diagrama de caja.

Los valores máximos extremos o mínimos extremos son valores fuera del rango o aberrantes, son medidas extremas en un conjunto de datos que pueden afectar tanto la media como la desviación estándar del conjunto de datos distorsionando así el centro y la variabilidad por lo que se usa una de las reglas prácticas para detectar este tipo de valores la cual dice “La medida cae más de tres veces IQR (Rango intercuartil) debajo del cuartil menor, o más de tres veces IQR arriba del cuartil superior”. Por lo tanto no se considera en el análisis estadístico.

## 6.1 COMPORTAMIENTO POR DÍA DE LAS CONCENTRACIONES DE CO<sub>2</sub> PARA EL CRUCERO SGM-08.

De los resultados obtenidos a través del monitoreo continuo de CO<sub>2</sub> durante el crucero SGM-08 se obtuvieron las concentraciones hora por hora (Anexo1) (pag. 93), con las cuales se determinó la estadística básica para cada uno de los días estudiados.

Los resultados promedio diarios obtenidos para el crucero del año 2003 (SGM-08) se presentan a continuación en la tabla 7.

Tabla 7. Análisis estadístico de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm (Estadística básica)

Fecha	Promedio diario	Mediana	Mínimo	Maximo	Desv. Est.	No. Muestras
3/9/2003	307.25	300.5	271	352	17.26	24
4/9/2003	294.70	294.5	292	298	1.80	24
5/9/2003	297.04	297	296	299	0.80	24
6/9/2003	328.7	322	300	435	35.46	20
7/9/2003	336.84	336	335	343	2.03	19
8/9/2003	344.04	342	337	389	10.11	24
9/9/2003	343.66	341.5	334	398	13.80	24
10/9/2003	371.62	354	334	398	40.90	24
11/9/2003	351.25	349	339	394	13.31	24
12/9/2003	345.88	345.5	340	352	3.84	24
13/9/2003	351.92	346	334	407	19.01	24
14/9/2003	361.16	355	320	428	27.40	19
15/9/2003	326.63	324.5	317	357	9.81	24
16/9/2003	335.20	326	321	392	21.37	24
17/9/2003	337.75	332.5	323	407	16.83	24
18/9/2003	357.83	345.5	329	520	46.86	24
19/9/2003	368.54	364.5	316	418	29.20	24
20/9/2003	348.92	337	322	409	29.52	24
21/9/2003	340.79	332	319	422	25.04	19
22/9/2003	333.08	332	326	352	5.70	24
23/9/2003	327.13	326	321	356	7.06	24
24/9/2003	347.79	335.5	317	514	49.14	24
25/9/2003	344.04	345.5	328	369	13.10	24
26/9/2003	330.52	330	325	336	3.80	21
27/9/2003	338.96	336.5	329	385	11.43	24
28/9/2003	335.73	334	326	349	6.75	19
29/9/2003	343.08	332.5	325	393	19.93	24
30/9/2003	371.5	371.5	332	411	55.86	2
1/10/2003	342.75	343	341	344	1.11	24
2/10/2003	354.70	358	344	361	6.34	24
3/10/2003	371.04	366.5	361	426	14.12	24
4/10/2003	361.54	362	358	364	1.64	24
5/10/2003	353.66	354	351	357	1.85	24

La estadística básica de la tabla 7 se puede ver ilustrada en la figura 35, donde observamos la mediana, los datos mínimos, los datos máximos, los valores máximos extremos y los casos atípicos para cada uno de los días muestreados en el cruce SGM-08.

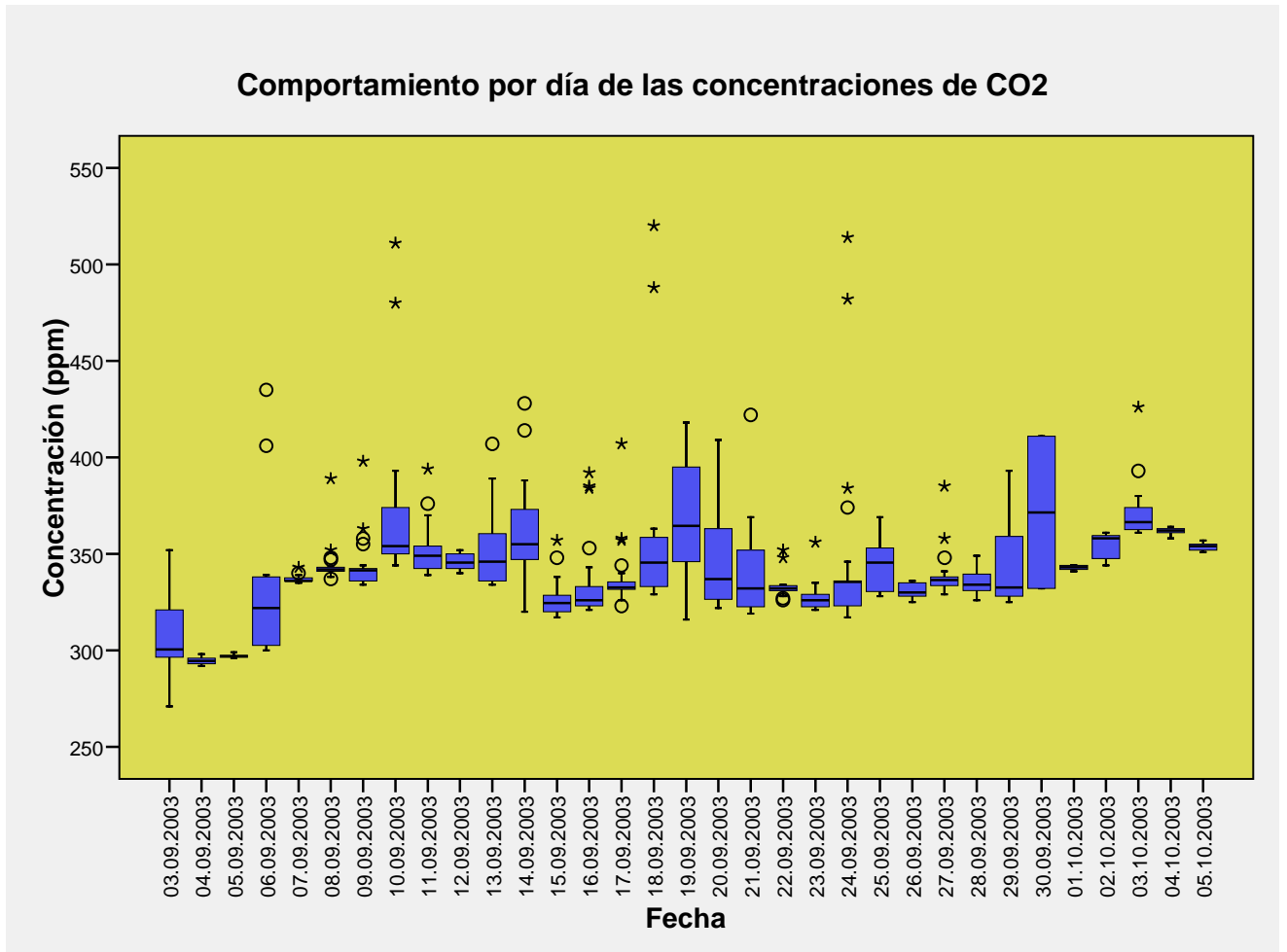


Figura 35. Grafica de caja por día de las concentraciones de CO<sub>2</sub> para el año 2003.

En la figura 35, se muestra la variación de las concentraciones por día del bióxido de carbono monitoreadas en el SGM-08 correspondiente al año 2003, claramente se observa que la mediana para cada uno de los días no se encuentra en el centro de cada una de las cajas, además de que las dos extensiones no son de la misma longitud lo que indica que no hay simetría en las mediciones registradas durante cada uno de los días. Para el día 30-09-2003 no se observan extensiones y la mediana se encuentra en el centro de la gráfica, debido a que en ese día solo hubo dos datos registrados, uno a las 00:00 horas de 332 ppm y el otro a la 01:00 horas de 411 ppm.

En la gráfica de la Figura 36, se muestra una comparación entre los valores registrados durante el día y la noche de los 33 días que duró el crucero SGM-08 en el año 2003, se toma por noche de las 8:00 p.m. a las 8:00 a.m.

### Comparación de las concentraciones de CO<sub>2</sub> durante la noche y el día para el año 2003

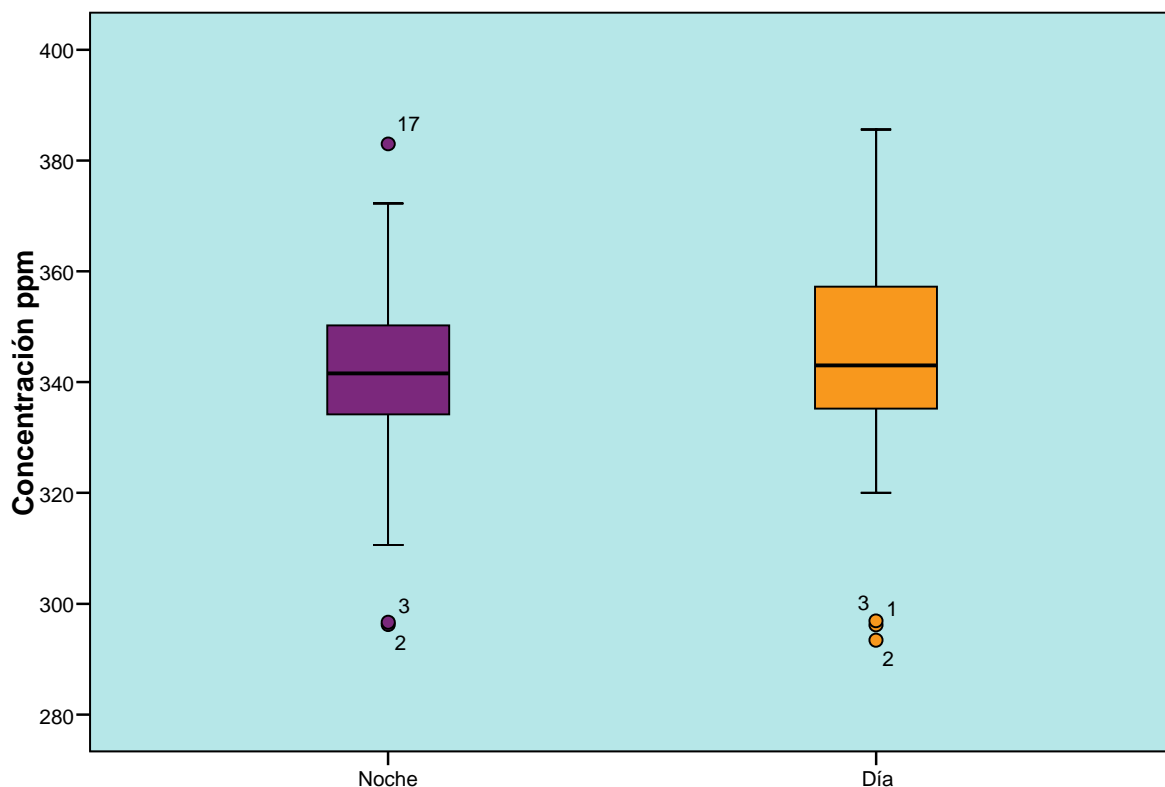


Figura 36. Gráfica de comparación entre noche y día para el año 2003

Se observó en la gráfica de la figura 36 que existen casos atípicos marcados con pequeños números que corresponden a la posición del valor introducido en los datos, tanto para la noche como para el día.

La tabla 8, muestra la estadística que describe a la gráfica de comparación entre el día y la noche para el crucero SGM-08 figura 36, en donde podemos observar que la mediana de la gráfica de caja para la noche es de 341.7778 y la mediana de la gráfica de caja para el día es de 343.000, como se ve la diferencia entre las medianas de las gráficas es mínima, aunado a que existe un traslape entre ambas gráficas, sin embargo para

corroborar que no existe diferencia significativa entre las concentraciones del día y la noche se aplicaron las pruebas no paramétricas de Wilcoxon y Friedman.

Tabla 8. Estadísticos descriptivos para la comparación de la concentración de CO<sub>2</sub> entre el día y la noche para el año 2003.

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50 (Mediana)	75
Noche	34	341.0106	18.57039	296.25	383.00	332.5000	341.7778	351.0000
Día	33	343.1621	21.05826	293.42	385.58	334.0417	343.0000	358.0000

Las prueba no paramétricas o métodos de distribución libre, no presuponen conocimiento alguno sobre la forma de la población de la cual proceden las muestras, excepto quizá que éstas son continuas.

La prueba de Wilcoxon se usa para comparar datos de dos poblaciones relacionadas con la misma forma y dispersión, al aplicarla para las hipótesis:

Hipótesis nula  $H_0$  : Las concentraciones de CO<sub>2</sub> durante el día son semejantes a las concentraciones de CO<sub>2</sub> durante la noche.

Hipótesis alternativa  $H_1$  : No existe semejanza de las concentraciones de CO<sub>2</sub> durante el día con respecto a las concentraciones de CO<sub>2</sub> durante la noche.

Se observa que el valor de significancia (Sig) (tabla 9) que es de 0.183 es mayor a 0.05 por lo cual no se puede rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias, es decir, no existe diferencia significativa entre las concentraciones registradas durante el día, comparadas con las concentraciones registradas durante la noche.

Tabla 9 Estadísticos de contraste de los rangos con signo de Wilcoxon

	DIA - NOCHE
Z	-1.331
Sig.	0.183

La prueba no paramétrica de Friedman permite comparar promedios poblacionales cuando se trabaja con muestras relacionadas.

También se aplicó la prueba de Friedman para comprobar la hipótesis de igualdad de medias para los valores de CO<sub>2</sub> registrados durante el día y la noche, obteniendo como resultado un valor de significancia (Sig.) (tabla 10) de 0.223 que también es mayor a 0.05, lo que confirma que no hay diferencia significativa entre las concentraciones registradas durante el día y la noche para el crucero SGM-08.

Tabla 10 Estadísticos de contraste para la prueba de Friedman

N	33
Chi-cuadrado	1.485
gl	1
Sig. asintót.	0.223

## 6.2 COMPORTAMIENTO POR DÍA DE LAS CONCENTRACIONES DE CO<sub>2</sub> PARA EL CRUCERO SGM-09

Durante el monitoreo continuo de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en el crucero SGM-09 en el año 2004 se obtuvieron las concentraciones hora por hora (Anexo 1) (pag. 99 ), con las cuales se determinó la estadística básica para cada uno de los días estudiados. Los resultados obtenidos en el crucero del año 2004 se presentan a continuación en la tabla 11.

Tabla 11. Análisis estadístico de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm. (Estadística básica)

FECHA	PROMEDIO	MEDIANA	MÍNIMO	MAXIMO	DESV.EST.	NO. MUESTRAS
9/5/2004	374.62	371	318	523	40.05	24
10/5/2004	386.41	379	365	447	18.43	24
11/5/2004	376.43	376	374	379	1.62	23
12/5/2004	368.66	366	364	375	4.21	24
13/5/2004	365.79	365	363	370	1.84	24
14/5/2004	363.96	364	362	366	0.99	24
15/5/2004	391.96	374	356	500	37.75	24
16/5/2004	369.81	368	353	431	16.373	22
17/5/2004	404.66	389	352	501	47.72	24
18/5/2004	378.46	367	355	440	24.20	24
19/5/2004	394.13	379	351	521	46.18	24
20/5/2004	392.21	380	351	523	47.03	24
21/5/2004	372.21	365	346	440	25.31	24
22/5/2004	385.92	376	343	499	39.03	24
23/5/2004	419.41	407	367	577	45.72	22
24/5/2004	417.79	413	359	498	34.52	24
25/5/2004	383.66	375	360	534	35.92	24
26/5/2004	392.21	383	359	493	32.37	24
27/5/2004	387.66	369	352	453	35.79	24
28/5/2004	378.79	367	353	456	27.85	24
29/5/2004	382.13	373	358	472	26.18	24
30/5/2004	382.86	375	358	423	18.09	21
31/5/2004	392.33	386	362	447	24.85	24
1/6/2004	396.08	393	366	492	27.44	24
2/6/2004	415.75	413	385	454	19.52	24
3/6/2004	406.54	395	384	493	27.95	24
4/6/2004	392.20	389	379	451	15.36	24
5/6/2004	408.83	403	387	457	18.64	24
6/6/2004	375.90	369	345	419	18.35	22
7/6/2004	379.44	367	361	437	25.72	9



La estadística básica de la tabla 11 se puede ver ilustrada en la figura 37, donde observamos la mediana, los datos mínimos, los datos máximos, los valores máximos extremos y los casos atípicos para cada uno de los días muestreados en el cruce SGM-09. Además como ya vimos en los resultados en este cruce, hay varios datos que rebasan la concentración de 400 ppm, debido a que como se vio en la tabla 6 hubo influencia del viento que pudo haber transportado los gases de la chimenea a la toma de muestras.

### Comportamiento por día de las concentraciones de CO<sub>2</sub> para el año 2004

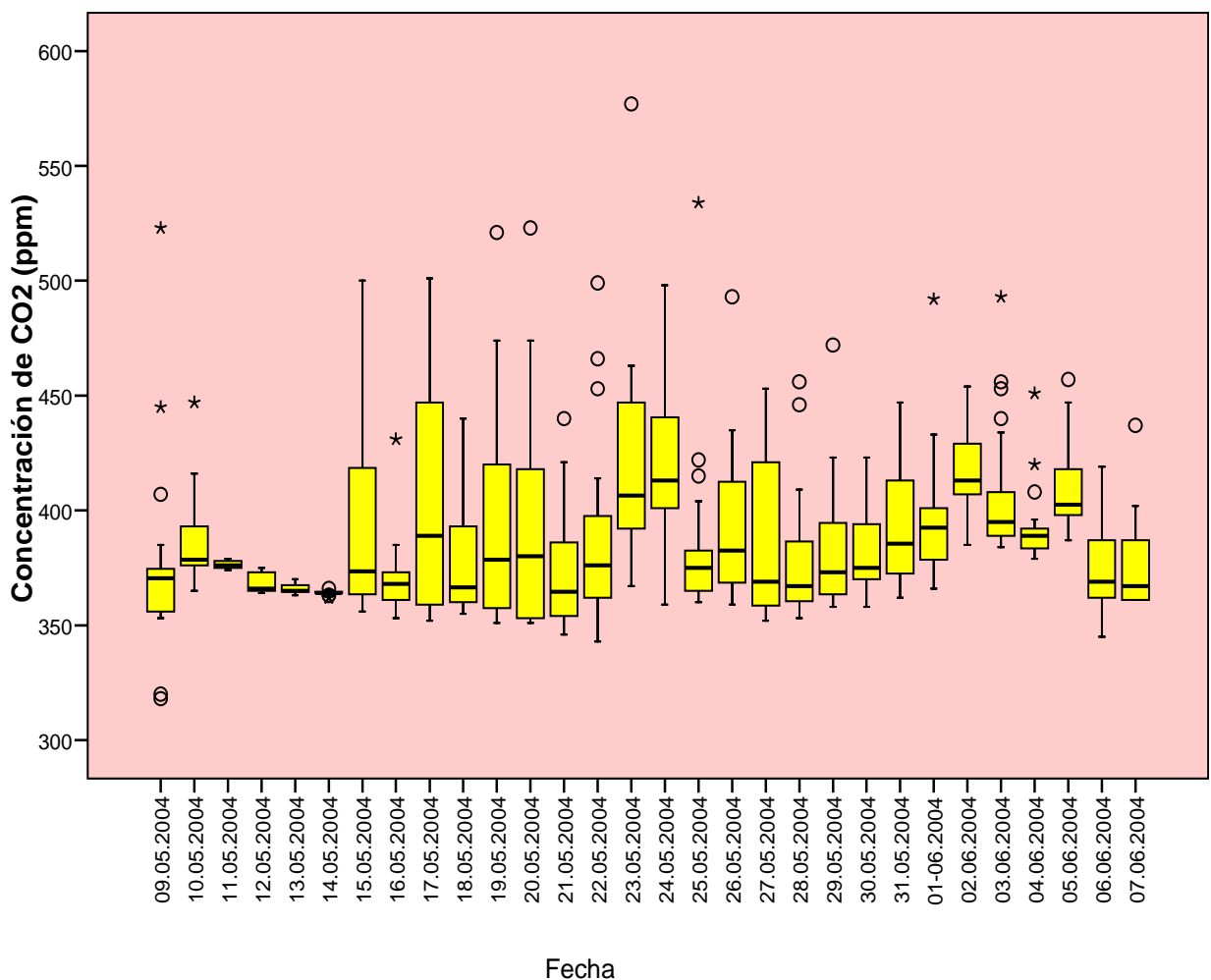


Figura 37. Gráfica de caja por día de las concentraciones de CO<sub>2</sub> para el año 2004.

En la gráfica de la figura 37, se observó que hay algunos días como el 23 y 24 de mayo, 02 y 05 de junio de 2004 en los cuales la mediana de esos días es mayor a 400 ppm, el día 24 de mayo se registraron durante 15 horas concentraciones de CO<sub>2</sub> muy elevadas aunado a que también existieron cambios bruscos en la dirección del viento y el buque se encontraba en algunas estaciones de la zona de plataformas o muy cerca de las mismas. Las gráficas de caja de los días 15 y 17 de mayo de 2004 mostraron extensiones con valores de 500 ppm, pero en la tabla 6, se puede ver que en esos días hubo cambios bruscos en la dirección del viento y el buque también estaba en zona de plataformas.

También se realizó la comparación entre las concentraciones registradas durante la noche y durante el día para el crucero SGM-09, a través de gráficas de caja y la prueba de Wilcoxon para ver si existe diferencia significativa en las concentraciones registradas durante el día y durante la noche, figura 38. En esta gráfica (figura 38), se toma por noche de las 8:00 p.m. a las 8:00 a.m.,

**Comparación de la concentración de CO<sub>2</sub> para la noche y el día para el año 2004**

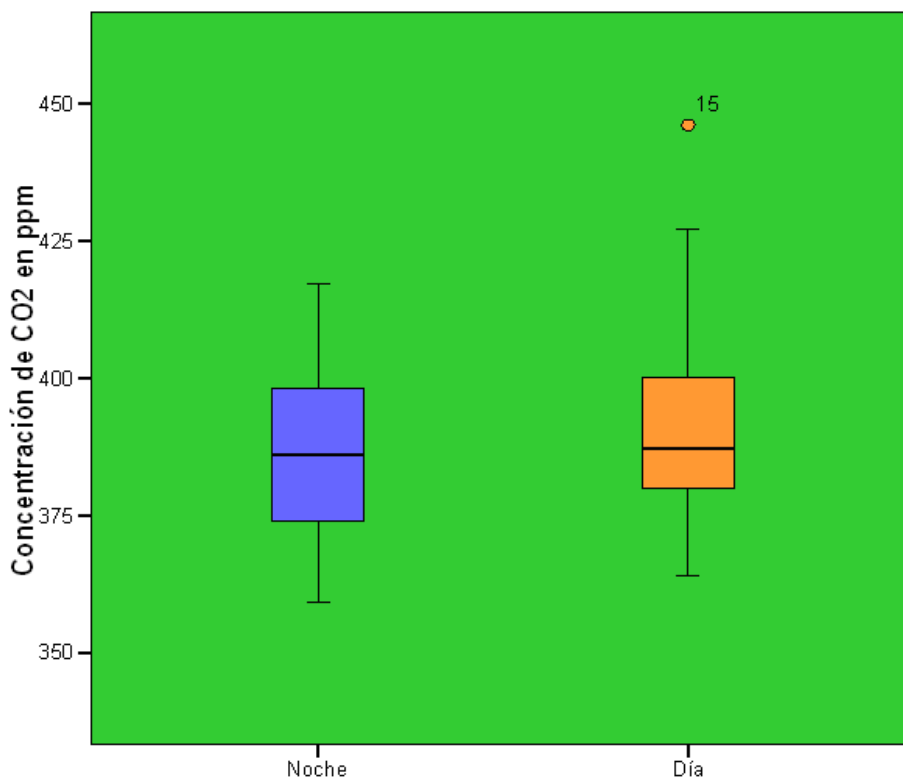


Figura 38. Gráfica de comparación entre noche y día para el año 2004.

La tabla 12, muestra los estadísticos descriptivos de la gráfica de la figura 38 en donde se hace una comparación entre el día y la noche del SGM-09 realizado en el año 2004. La gráfica de caja para la noche muestra una mediana 398.5, mientras que la mediana de la gráfica de caja de día es de 401.0, esto es, existe muy poca diferencia entre las medianas, también podemos observar que la gráfica de día es menos simétrica que la gráfica de noche, además la gráfica de día muestra un dato atípico y su extensión superior es más larga que la extensión inferior. Si existe un traslape entre ambas gráficas que puede indicar que no hay diferencia significativa entre las concentraciones registradas durante el día y la noche, para confirmarlo se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon, que usualmente es más sensitiva para detectar diferencias reales si éstas existen.

Tabla 12. Estadísticos descriptivos para la comparación día-noche 2004

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						75	25	50 (Mediana)
Noche	30	385.7333	16.37688	359.00	417.00	373.5000	384.5000	398.5000
Día	29	390.9310	18.89998	364.00	446.00	379.0000	387.0000	401.0000

Al realizar la prueba de rangos con signo de Wilcoxon (tabla 13), resulta que el valor de significancia (Sig) es de 0.063, es decir, mayor a 0.05, lo que nos indica que no se puede rechazar la hipótesis nula de semejanza de medias, es decir, no existe diferencia significativa entre las concentraciones registradas durante el día y la noche para el cruce SGM-09.

Tabla 13. Estadísticos de contraste para la prueba de Wilcoxon

	Día - Noche
Z	-1.857
Sig.	0.063

### 6.3 COMPARACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE CO<sub>2</sub> REGISTRADAS EN LOS AÑOS 2003 Y 2004

La figura 39, muestra las gráficas de caja que comparan las concentraciones registradas de CO<sub>2</sub> durante los cruceros de los años 2003 y 2004.

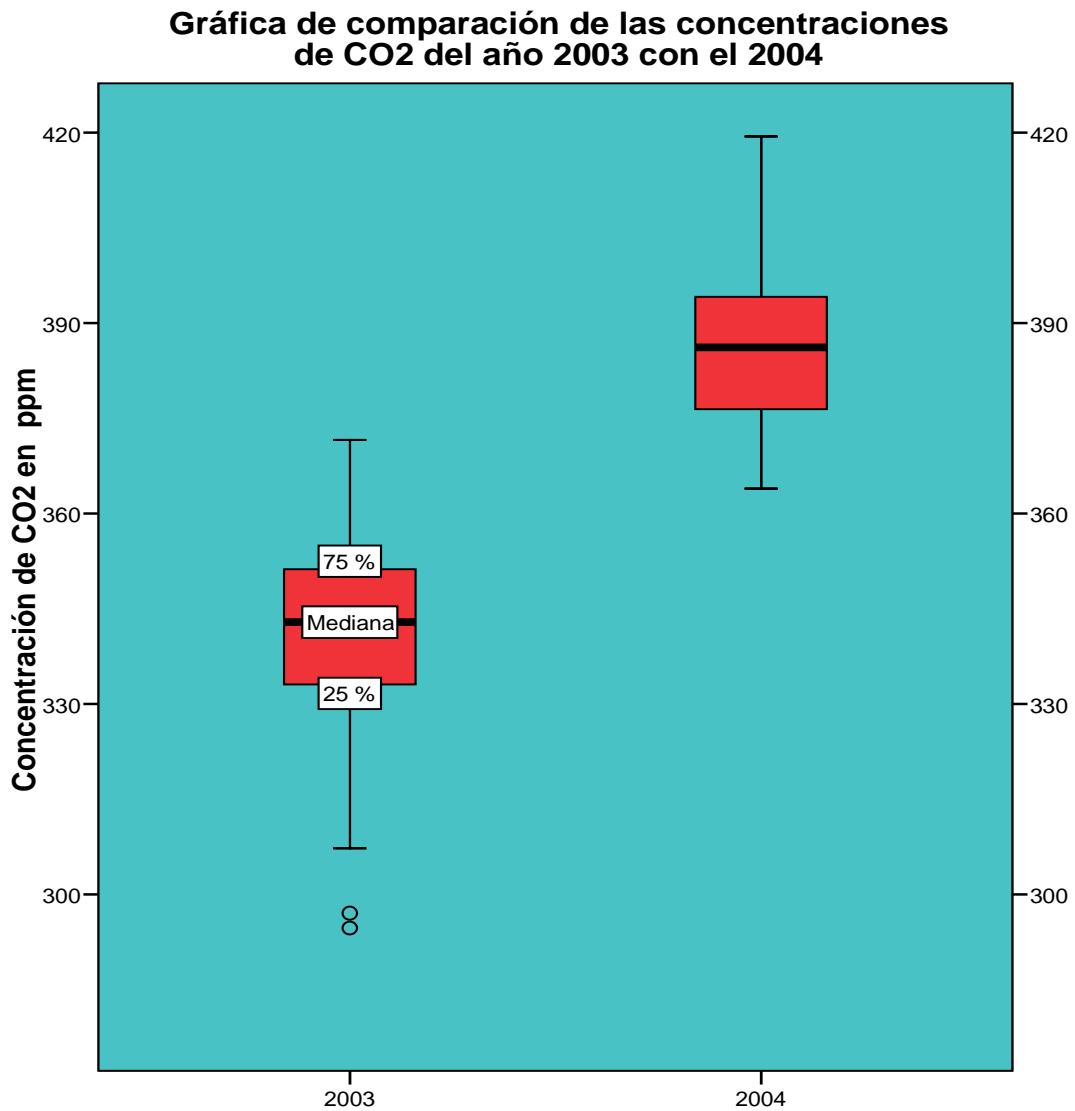


Figura 39. Gráfica de comparación de concentraciones entre los años 2003 y 2004

En las gráficas de caja de la Figura 39, se observa que no hay un traslape entre ambas gráficas, ya que la línea del percentil 25 para la muestra del año 2004 excede la línea de la mediana de la muestra del año 2003, sugiriendo con ello una diferencia significativa que más adelante se confirmara con algunas pruebas no paramétricas.

Al observar la gráfica de caja que compara las mediciones de CO<sub>2</sub> en el año 2003 frente al año 2004 (Figura 39), se observa que si hay una diferencia significativa de 23.51 %, que puede deberse a que las mediciones fueron hechas en diferentes estaciones del año, en diferentes años, aunado a la influencia de la meteorología mostrada en las tablas 5 y 6, que el buque permaneció mas tiempo en zona de plataformas en el crucero SGM-09 y además hubo mayor actividad petrolera en el año 2004. El promedio general para el año 2003 es de 340.63 ppm, mientras que para el año 2004 es de 387.89 ppm, en donde existen 47.26 ppm de diferencia.

La tabla 14, muestra la descripción estadística de la gráfica, los valores de los percentiles, los máximos, mínimos, el promedio y la desviación estándar .

Tabla 14. Estadísticos Descriptivos de la gráfica comparación de CO<sub>2</sub> para los años 2003-2004

						Percentiles		
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	75	25	50 (Mediana)
2003	30	340.6353	18.49585	294.71	371.63	332.4400	342.9150	351.4175
2004	30	387.6563	15.19636	363.96	419.41	376.3000	385.4600	394.6175

Aunque las concentraciones de CO<sub>2</sub> son más elevadas para el año 2004, existe una mayor dispersión de datos para el año 2003, según lo muestra la desviación estándar.

Para confirmar si hay una diferencia significativa en las concentraciones registradas de CO<sub>2</sub> entre los años 2003 y 2004, se aplicaron la prueba no paramétrica de Wilcoxon y Friedman, las cuáles se aplicaron para las siguientes hipótesis:

---

Hipótesis nula  $H_0$ : Las concentraciones de  $CO_2$  registradas durante el crucero SGM-08 son iguales a las del crucero SGM-09.

Hipótesis alternativa  $H_1$ : No existe semejanza de las concentraciones de  $CO_2$  registradas durante el crucero SGM-08 comparadas con las del crucero SGM-09.

La prueba no paramétrica de los rangos con signo Wilcoxon, se usa para comparar datos de dos poblaciones continuas con la misma forma y distribución continua simétrica.

La prueba no paramétrica más común para analizar datos que tienen un diseño de bloques aleatorizados es la prueba de Friedman.

Al aplicar la prueba de Wilcoxon ( $\alpha = 0.05$ ) para las concentraciones promedio por día de  $CO_2$  de los cruceros del año 2003 y 2004 se observa que si hay una diferencia significativa para las concentraciones de  $CO_2$  entre los dos cruceros (tabla 15), ya que el valor de significancia (Sig.) es de 0.00 menor que 0.05.

Tabla 15 Estadísticos de contraste de la prueba de Wilcoxon

	2004 - 2003
Z	-4.762
Sig.	0.000

De la misma forma la prueba no paramétrica de Friedman ( $\alpha = 0.05$ ) también muestra una diferencia significativa entre las mediciones de  $CO_2$  en los diferentes años, ya que también el valor de significancia (Sig.) es 0.000, menor que 0.05 (tabla 16)

Tabla 16. Estadísticos de contraste de la prueba de Friedman

N	30
Chi-cuadrado	26.133
gl	1
Sig...	0.000

Como se puede observar en las gráficas del comportamiento diario de las concentraciones de CO<sub>2</sub> (Figuras 20 y 28, pag. 44 y 54) existen picos en la mediciones de dicho gas, que se separaron para hacer una nueva comparación gráfica entre estos dos años, ya que estos picos, como ya se dijo con anterioridad se deben a que el viento arrastro los gases de la chimenea hacia la toma de muestra del CO<sub>2</sub>, o bien, que puede haber algunas fuentes de combustión que estén incrementando momentáneamente el CO<sub>2</sub> y los otros gases monitoreados, como la actividad petrolera en la zona de plataformas.

La figura 40, muestra la gráfica de comparación entre las mediciones de CO<sub>2</sub> durante los años 2003 y 2004 sin los picos

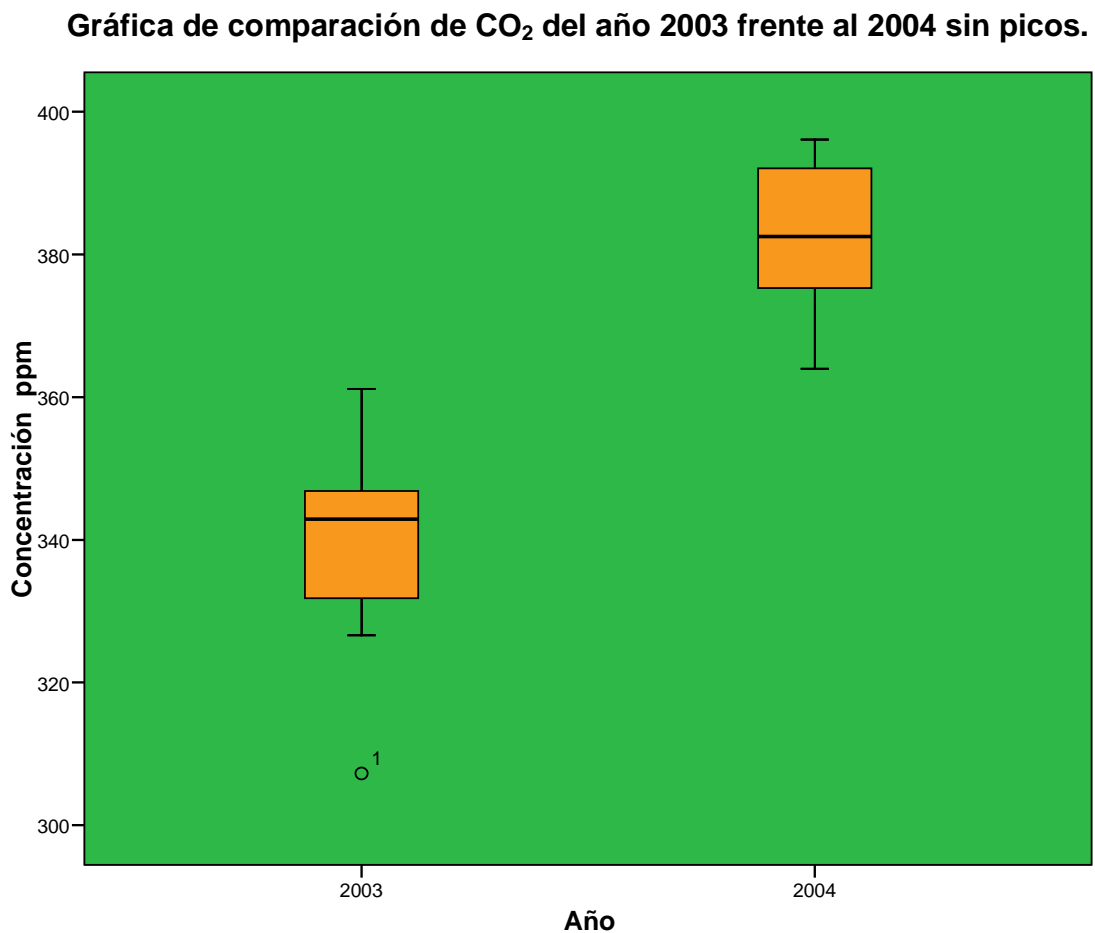


Figura 40. Comparación entre los cruceros SGM08 y SGM09 sin picos

Al quitar los picos de las mediciones de CO<sub>2</sub> registradas durante los cruceros hechos al Sur del Golfo de México en los años 2003 y 2004 se ve con más claridad el desfase que existe entre las gráficas de los dos cruceros, también se le dio el mismo tratamiento para confirmar la diferencia significativa entre las concentraciones registradas durante dichos cruceros, observándose que se confirma la diferencia significativa.

La tabla 17 nos muestra la descripción estadística de la gráfica de la figura 40

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						75	25	50 (Mediana)
2003	20	339.7055	12.04908	307.25	361.16	331.1600	342.9150	347.3125
2004	20	382.0180	9.73215	363.96	396.08	374.9500	382.4950	392.1475

Nuevamente se aplican las pruebas no paramétricas de Wilcoxon y Friedman para confirmar si existe o no diferencia significativa en las concentraciones registradas de CO<sub>2</sub> durante los cruceros de dichos años.

En la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon ( $\alpha = 0.05$ ) observamos que de las hipótesis planteadas se acepta la que propone que las concentraciones del año 2003 son diferentes a las del año 2004, al ver que el valor de significancia (Sig.) (tabla 18) obtenido es de 0.000, se observa que es menor a 0.05, lo que nos indica que si hay una diferencia significativa entre las concentraciones de CO<sub>2</sub> registradas durante el crucero SGM-08 con respecto al crucero SGM-09.

**Tabla 18. Estadísticos de contraste de la prueba con signos de Wilcoxon**

	2004 - 2003
Z	-3.920
Sig.	0.000



---

---

Al aplicar la prueba de Friedman ( $\alpha = 0.05$ ) también observamos que el valor de significancia (Sig.) (tabla 19) obtenido es de 0.000, siendo menor que 0.05 lo que nos corrobora que si hay una diferencia significativa entre las concentraciones de CO<sub>2</sub> en ambos cruceros.

**Tabla 19. Estadísticos de contraste de la Prueba de Friedman**

N	20
Chi-cuadrado	20.000
gl	1
Sig.	0.000

Tanto en la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon como la prueba de Friedman el grado de significancia es menor a 0.05 por lo que podemos decir que si existe una diferencia significativa entre los dos cruceros realizados al Sur del Golfo de México durante los años 2003 y 2004.

---

---

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

Las concentraciones de bióxido de carbono en la atmósfera del Golfo de México registradas durante el crucero del año 2003 fueron menores con respecto al año 2004.

El promedio por día y los valores de la mediana para el crucero del año 2003 fueron más dispersos que los del crucero del año 2004. Es decir, el promedio mínimo y máximo para el crucero del año 2003 fue 294.70 y 371.50 ppm respectivamente, mientras que para el crucero del año 2004 el promedio mínimo fue de 363.96 y el máximo de 419.41 ppm.

Al comparar estadísticamente las concentraciones de CO<sub>2</sub> entre el día y la noche para cada crucero de investigación, a través de las pruebas no paramétricas de Wilcoxon ( $\alpha = 0.05$ ) y de Friedman ( $\alpha = 0.05$ ), éstas indican que no existe diferencia significativa en las mediciones de CO<sub>2</sub> durante el día y la noche en ninguno de los cruceros. Durante el día el promedio mínimo fue de 293.42 y el máximo de 385.58 ppm, mientras que para la noche el mínimo fue de 296.25 y el máximo de 383.00 ppm en el crucero de 2003. En el crucero de 2004, durante el día el promedio mínimo fue de 364 y el máximo de 446 ppm, en la noche el mínimo fue de 359 y el máximo de 417 ppm.

Al realizar el análisis estadístico, gráfico y aplicar las pruebas no paramétricas de Wilcoxon ( $\alpha = 0.05$ ) y de Friedman ( $\alpha = 0.05$ ) para las concentraciones promedio por día (24 hrs.) de CO<sub>2</sub>, podemos decir que si existe una diferencia significativa entre las concentraciones de CO<sub>2</sub> registradas en el Sur del Golfo de México entre los dos cruceros de investigación. El promedio del año 2003 fue de 340.63 ppm y mientras que el del 2004 fue de 387.65 ppm.

Las mediciones del CO<sub>2</sub> en los cruceros al sur del Golfo de México de los años 2003 y 2004 se realizaron en diferentes estaciones del año, otoño y verano respectivamente, lo cual puede tener alguna influencia en los valores registrados, por las características propias de cada estación como pudieran ser las condiciones meteorológicas y la actividad petrolera que fue mayor durante el año 2004.

La importancia de hacer mediciones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto de invernadero, se debe a la relación que se ha establecido entre los gases causantes del efecto de invernadero y las variaciones climáticas, lo cual sin duda requiere de mediciones de CO<sub>2</sub>.

## 7.2 RECOMENDACIONES

Aunque se hacen evaluaciones de CO<sub>2</sub> por medio de aproximaciones con base a las emisiones de las industrias según su producción, empleando factores de emisión reportados en la literatura, se hace necesario realizar mediciones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto de invernadero tanto en fuente como en lugares alejados de la actividad humana para tener una referencia de las concentraciones de dichos gases generados en forma natural, esto es evaluar concentraciones de fondo.

Sería conveniente que se hicieran permanentes los monitoreos de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes tanto en la tierra como en los océanos, para saber cual es la tendencia de los mismos e investigar cuales son sus fuentes locales y regionales en el país.

Tomar medidas de prevención, minimización y control pertinentes para la disminución de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, así como incentivar el uso de energías alternativas (solar, eólica, geotérmica, maremotriz, etc.).

Contemplar las diferentes épocas del año para llevar a cabo los cruceros oceanográficos para la determinación de CO<sub>2</sub>, ya que factores como la meteorología y la producción petrolera, entre otros, varían durante el año.

La industria nacional no se limite a realizar solamente la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> sino que también realice evaluaciones mediante su monitoreo en fuente.

Realizar monitoreos de bióxido de carbono de forma simultánea en diferentes lugares, tanto costa adentro como costa afuera, durante un mismo periodo del año y hacer una comparación entre los resultados obtenidos.

Es fundamental que haya financiamiento para la creación de programas funcionales para generar conciencia en las personas de la importancia de reducir la quema innecesaria de cualquier tipo de combustible y hacer más eficiente la combustión, de esta manera se reducirían las concentraciones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes atmosféricos, entre ellos varios tóxicos.

---

---

## 8 BIBLIOGRAFÍA

Botello V, A.; Rendón Von Osten J.; Gold-Bouchot G.; Agraz H. C., (2005). Golfo de México, Contaminación e Impacto ambiental Diagnóstico y Tendencias. Segunda Edición. Ed. Universidad Autónoma de Campeche.

Botello V, A.; Rojas G. J.; Zarate L. D. (1996). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental Diagnóstico y Tendencias. Marco Conceptual: Caracterización Ambiental del Golfo de México. Ecología, Recursos Costeros Y Contaminación en el Golfo de México. Ed. Universidad Autónoma de Campeche.

Bravo A. H., Sosa E. R., Kahl J., Sánchez A. P., Alarcon J. A. L., Soto A. R. (2006). "Acid Deposition Events during the Autumn of 2003 in a research cruise over the Gulf of México". Paper 06A-430. 99th Annual Conference & Exhibition of the Air & Waste Management Association. New Orleans, Louisiana. June.

Bravo A.H., Sosa E.R., Kahl J., Sánchez A.P., Alarcon J.A.L., Ruíz B.J., Kahl J., Soto A.R. (2004). "Particulate Air Quality over the Gulf of Mexico". Paper 04-411. 97th Annual Conference & Exhibition of the Air & Waste Management Association. Indianapolis, Indiana. June.

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., Gamboa A. R., Gamboa Ma. T., Abreu S. J., (2003). Evaluación de la Contaminación Atmosférica en el sur del Golfo de México. Informe Técnico (SGM-07). Sección de Contaminación Ambiental, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Autónoma de México.

Bravo A. H., Sosa E. R., Sánchez A. P., Alarcón J. A. L., Jaimes P. M., Santacruz M. J. D., Hernández N. P., Retama H. A., Sánchez R. M., Gómez R. C., León D. E. I., Soto A. R., Bueno L. E., 2004. 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 Limnología. Universidad Autónoma de México, Diciembre.

---

---

---

Brooks, J., (1990). Classic petroleum provinces.p. 1-8. In: J. Brooks (Ed.). Classic petroleum provinces. Geological Society Special Publication 50.

Castro T. (2008). Efecto Invernadero en la Tierra. CCA, UNAM. 9ª Ferida Posgrados, WTC, Cd. de México.

Cerceo E. (2004). Global Warming and Acid Precipitation: Some Aspects of Their Effect on Climate, Part 1. October. American Laboratory.

Conway, T.J., P. Tans, L. S. Waterman, K. A. Masarie, and R.H. Gammon, (1988): Atmospheric carbon dioxide measurements in the remote global troposphere, 1981-1984. Tellus (in press).

Ernst-Georg Beck., (2007). 180 years of atmospheric CO<sub>2</sub> gas analysis by chemical methods. Energy & Environment, Vol. 18, No. 2, March, pp 259-282 (24) Publisher: Multi-Science Publishing Co Ltd

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

Etter, P.C., (1983). Heat and freshwater budgets of the Gulf of Mexico. Journal of Physical Oceanography, 13: 2058-2068.

Fernández E., A., Gallegos A. y Zavala J., (1993). Oceanografía física de México. Zona económica exclusiva, Ciencia y Desarrollo 18(108): 24-35.

Foot, R.Q., R.G. Martín y R.B. Powers, (1983). Oil and gas potential of the maritime boundary region in the Central Gulf of México. The American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 67(7): 1047-1065.

Guzmán-Vega, M., y Mello M. R., (1999). Origin of oil in the Sureste Basin, México. The American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 83(7): 1068-1095.

Houghton J. (1997). Global Warming. The Complete Briefing. Second Edition. Cambridge University Press.

---

---

---

Instruction Manual, (2005). Model TML20. Carbon Dioxide Analyzer. A Teledyne Technologies Company, USA.

IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Workbook .Vol. 2.

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual Vol. 3.

IPCC, 2005. La captación y el almacenamiento de bióxido de carbono.

Juárez E. M., Conde Á. L., (2005). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2002. Parte 1. Sector Transporte. Noviembre.. Instituto Nacional de Ecología.

Komhyr, W. D., Gammon R. H., Harris T.B., Waterman L.S., Conway T.J., Taylor W.R., and K.W. Thoning, (1985). Global atmospheric CO<sub>2</sub> distribution and variations from 1968-1982 NOAA/GMCC CO<sub>2</sub> flask sample data. J. Geophys. Res., 90:5567-5596.

Krupa, S. V., (2002). Sampling and physico-chemical analysis of precipitation a review. Environmental Pollution 120565-594.

Lacy R. (2007). Secuestro, Captura y Almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Centro Mario Molina.

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

Longoria R.R., López L. Ma. G., Lagunas S. E. M., (2005). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2002. Parte 2 Procesos Industriales. Parte 3 Solventes. Octubre. Instituto Nacional de Ecología.

Mendoza A., Domínguez M. y Graniel-Peralta., (2006). Estimación de emisiones a la atmósfera provenientes de quemadores elevados de instalaciones petroleras en la Sonda de Campeche. Ingeniería Investigación y Tecnología VII. 3.,165-173.

---

National Research Council (NRC), (2006). Surface Temperature Reconstructions For the Last 2000 Years. National Academy Press, Washington, DC.

Operation Manual. (1999). ML@9820 Carbon Dioxide Analyzer. July. Manufactured Under by Ecotech P/L Australia.

Parungo, F.P., y L. Miller (Eds.), (1988). Air Chemistry Studies Over the Gulf of México. NOAA. Technical Memorandum ERL ESG-29, Boulder, Colorado.

Parungo, Nagamoto, Hoyt y Bravo. (1990). The investigation of Air Quality and Acid Rain Over the Gulf of Mexico. Atmospheric Environment Vol. 24A, No.1. 109-123.

PEMEX (2001). Informe 2000. Seguridad, Salud y Medio Ambiente. PEMEX. México, D.F.

PEMEX (2004). Anuario estadístico 2003: PEMEX – Exploración y Producción.

Ponce V, G., Botello V. A. y Díaz G, G., en prensa. Organic and inorganic pollutants in marine sediments from northern and southern continental shelf of the Gulf of Mexico. International Journal of Environment and Pollution.

Ponce V. G., y Botello A.V., (2005). Niveles de Hidrocarburos en el Golfo de México, p. 269-298. In A. V. Botello, J. Rendón Von Osten, Gold-Bouchot y C. Agraz H.(Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Univ. Nal. Autónoma de México e Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Quadri G. y Godíne R, (2005). La entrada en vigor del Protocolo de Kyoto. Versión escrita del programa transmitido el 22 de febrero de 2005, Las Relaciones Internacionales de México. Radio UNAM. Conducido por Emma Rodríguez, directora general de Instituto Matías Romero.

Robles M. G. (2005). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2002. Parte 1. Energía: Fuentes Fijas. Instituto Nacional de Ecología.

---



---

---

Santacruz M. J. D., (2006). Evaluación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en el Golfo de México. Tesis Licenciatura.

SEMARNAT., ( 2006). La Gestión Ambiental en México, pp 333-348.

Siegenthaler, U., Sarmiento, J.L., (1993). Atmospheric carbon dioxide and the ocean. *Nature*, 365, 119-125.

Slinn, S.A. y Slinn W., (1980). Predictions for particle deposition on natural waters. *Atmos. Environ.*, 14: 1013-1016.

Steele, L.P., Fraser P. J., Rasmussen R.A., Khalil M.A.K., Conway T.J., Crawford A. J., Gammon R. H., Masarie K. A., and Thoning K. W., (1987): The global distribution of methane in the troposphere. *J. Atmos. Chem.*, 5:125-171.

Steven Hoyt, Humberto Bravo A., (1990). The Investigation of air quality and acid rain over the Gulf of Mexico. *Atmospheric Environment* . Vol. 24A. No. 1. pp 109-123.-, Printed in Gran Britain

Sosa E.R., Bravo A.H., Sánchez A.P., Santacruz M.J. (2005) "Volatile Organic Compounds Air Quality over the Gulf of México". Paper #:05-1306. 98th Annual Conference & Exhibition of the Air & Waste Management Association. Minneapolis, Minnesota. June.

Tans, P.P., Fung, I.Y. and Takahashi, T. (1990). Observational constraints on the global atmospheric CO<sub>2</sub> budget. *Science*, 247: 1431-1438.

Uriarte C. A., (2003). Historia del Clima de la Tierra. 1<sup>a</sup> Edición. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

(U.S.EPA) U.S. Environmental Protection Agency, (2007). *Clima Change- Science. Past Climate Change.*

---

US EPA (United States Environmental Protection Agency) (1990). Health Assessment Document for Hydrogen Sulfide. EPA/ 600/8-86/026A, Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office. Research Triangle Park, NC.

Villaseñor R., Magdaleno M., Quintanar A., Gallardo J.C., López M. T., et al., (2003). An air quality emission inventory of offshore operations for the exploration and production of petroleum by the Mexican oil industry. *Atmospheric Environment* 37. 3713-3729).

Watson, A.J., Robinson C., Robertson J.E., Williams P.J. LeB and Fasham, M.J.R., (1991). Spatial variability in the sink for atmospheric carbon dioxide in the North Atlantic. *Nature*, 350; 50-53.

Weimer R.C. (2000). *Estadística. Primera Edición en Español*. Compañía Editorial Continental. México.

Páginas de Internet.

<http://www.eluniversal.com.mx/notas/412083.html>

<http://www.ine.gob.mx/dgicurg/cclimatico/inventario3.htm>

<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/globalwarming/what.html>

<http://www.sinia.cl/1292/article-37761.html>

[http://www.vidasostenible.org/observatorio/f2\\_final.asp?idinforme=1014](http://www.vidasostenible.org/observatorio/f2_final.asp?idinforme=1014)

## 9 ANEXO I

Base de datos de CO<sub>2</sub> del crucero oceanográfico del año 2003.

03/09/2003	0:00	329	04/09/2003	19:00	294	06/09/2003	15:00	inv
03/09/2003	1:00	330	04/09/2003	20:00	296	06/09/2003	16:00	inv
03/09/2003	2:00	326	04/09/2003	21:00	297	06/09/2003	17:00	338
03/09/2003	3:00	322	04/09/2003	22:00	295	06/09/2003	18:00	339
03/09/2003	4:00	320	04/09/2003	23:00	295	06/09/2003	19:00	337
03/09/2003	5:00	324	05/09/2003	0:00	297	06/09/2003	20:00	336
03/09/2003	6:00	352	05/09/2003	1:00	297	06/09/2003	21:00	435
03/09/2003	7:00	317	05/09/2003	2:00	297	06/09/2003	22:00	406
03/09/2003	8:00	310	05/09/2003	3:00	297	06/09/2003	23:00	339
03/09/2003	9:00	307	05/09/2003	4:00	297	07/09/2003	0:00	337
03/09/2003	10:00	305	05/09/2003	5:00	298	07/09/2003	1:00	336
03/09/2003	11:00	302	05/09/2003	6:00	298	07/09/2003	2:00	336
03/09/2003	12:00	299	05/09/2003	7:00	296	07/09/2003	3:00	335
03/09/2003	13:00	299	05/09/2003	8:00	296	07/09/2003	4:00	335
03/09/2003	14:00	299	05/09/2003	9:00	297	07/09/2003	5:00	336
03/09/2003	15:00	297	05/09/2003	10:00	297	07/09/2003	6:00	336
03/09/2003	16:00	294	05/09/2003	11:00	296	07/09/2003	7:00	336
03/09/2003	17:00	271	05/09/2003	12:00	296	07/09/2003	8:00	336
03/09/2003	18:00	290	05/09/2003	13:00	297	07/09/2003	9:00	335
03/09/2003	19:00	296	05/09/2003	14:00	296	07/09/2003	10:00	parr
03/09/2003	20:00	295	05/09/2003	15:00	298	07/09/2003	11:00	parr
03/09/2003	21:00	295	05/09/2003	16:00	296	07/09/2003	12:00	parr
03/09/2003	22:00	297	05/09/2003	17:00	298	07/09/2003	13:00	parr
03/09/2003	23:00	298	05/09/2003	18:00	298	07/09/2003	14:00	parr
04/09/2003	0:00	298	05/09/2003	19:00	297	07/09/2003	15:00	335
04/09/2003	1:00	297	05/09/2003	20:00	297	07/09/2003	16:00	336
04/09/2003	2:00	297	05/09/2003	21:00	297	07/09/2003	17:00	337
04/09/2003	3:00	297	05/09/2003	22:00	297	07/09/2003	18:00	336
04/09/2003	4:00	296	05/09/2003	23:00	299	07/09/2003	19:00	338
04/09/2003	5:00	296	06/09/2003	0:00	300	07/09/2003	20:00	338
04/09/2003	6:00	296	06/09/2003	1:00	323	07/09/2003	21:00	343
04/09/2003	7:00	294	06/09/2003	2:00	338	07/09/2003	22:00	340
04/09/2003	8:00	294	06/09/2003	3:00	335	07/09/2003	23:00	339
04/09/2003	9:00	293	06/09/2003	4:00	321	08/09/2003	0:00	338
04/09/2003	10:00	295	06/09/2003	5:00	308	08/09/2003	1:00	338
04/09/2003	11:00	294	06/09/2003	6:00	305	08/09/2003	2:00	352
04/09/2003	12:00	293	06/09/2003	7:00	303	08/09/2003	3:00	343
04/09/2003	13:00	292	06/09/2003	8:00	301	08/09/2003	4:00	343
04/09/2003	14:00	292	06/09/2003	9:00	302	08/09/2003	5:00	342
04/09/2003	15:00	292	06/09/2003	10:00	302	08/09/2003	6:00	342
04/09/2003	16:00	293	06/09/2003	11:00	302	08/09/2003	7:00	342
04/09/2003	17:00	293	06/09/2003	12:00	304	08/09/2003	8:00	342
04/09/2003	18:00	294	06/09/2003	13:00	inv	08/09/2003	9:00	342
			06/09/2003	14:00	inv	08/09/2003	10:00	343

08/09/2003	11:00	341	10/09/2003	12:00	353	12/09/2003	13:00	349
08/09/2003	12:00	341	10/09/2003	13:00	353	12/09/2003	14:00	350
08/09/2003	13:00	341	10/09/2003	14:00	511	12/09/2003	15:00	350
08/09/2003	14:00	341	10/09/2003	15:00	480	12/09/2003	16:00	350
08/09/2003	15:00	341	10/09/2003	16:00	374	12/09/2003	17:00	351
08/09/2003	16:00	342	10/09/2003	17:00	376	12/09/2003	18:00	351
08/09/2003	17:00	343	10/09/2003	18:00	374	12/09/2003	19:00	350
08/09/2003	18:00	347	10/09/2003	19:00	351	12/09/2003	20:00	347
08/09/2003	19:00	341	10/09/2003	20:00	348	12/09/2003	21:00	346
08/09/2003	20:00	389	10/09/2003	21:00	347	12/09/2003	22:00	345
08/09/2003	21:00	348	10/09/2003	22:00	349	12/09/2003	23:00	340
08/09/2003	22:00	338	10/09/2003	23:00	344	13/09/2003	0:00	336
08/09/2003	23:00	337	11/09/2003	0:00	353	13/09/2003	1:00	335
09/09/2003	0:00	336	11/09/2003	1:00	342	13/09/2003	2:00	334
09/09/2003	1:00	335	11/09/2003	2:00	370	13/09/2003	3:00	335
09/09/2003	2:00	358	11/09/2003	3:00	339	13/09/2003	4:00	335
09/09/2003	3:00	337	11/09/2003	4:00	340	13/09/2003	5:00	336
09/09/2003	4:00	335	11/09/2003	5:00	341	13/09/2003	6:00	336
09/09/2003	5:00	334	11/09/2003	6:00	339	13/09/2003	7:00	337
09/09/2003	6:00	334	11/09/2003	7:00	339	13/09/2003	8:00	407
09/09/2003	7:00	336	11/09/2003	8:00	376	13/09/2003	9:00	365
09/09/2003	8:00	335	11/09/2003	9:00	366	13/09/2003	10:00	360
09/09/2003	9:00	336	11/09/2003	10:00	343	13/09/2003	11:00	369
09/09/2003	10:00	337	11/09/2003	11:00	344	13/09/2003	12:00	357
09/09/2003	11:00	341	11/09/2003	12:00	346	13/09/2003	13:00	351
09/09/2003	12:00	342	11/09/2003	13:00	349	13/09/2003	14:00	352
09/09/2003	13:00	342	11/09/2003	14:00	349	13/09/2003	15:00	389
09/09/2003	14:00	342	11/09/2003	15:00	349	13/09/2003	16:00	361
09/09/2003	15:00	342	11/09/2003	16:00	349	13/09/2003	17:00	350
09/09/2003	16:00	342	11/09/2003	17:00	351	13/09/2003	18:00	347
09/09/2003	17:00	342	11/09/2003	18:00	351	13/09/2003	19:00	344
09/09/2003	18:00	343	11/09/2003	19:00	394	13/09/2003	20:00	380
09/09/2003	19:00	344	11/09/2003	20:00	355	13/09/2003	21:00	345
09/09/2003	20:00	363	11/09/2003	21:00	356	13/09/2003	22:00	343
09/09/2003	21:00	398	11/09/2003	22:00	346	13/09/2003	23:00	342
09/09/2003	22:00	355	11/09/2003	23:00	343	14/09/2003	0:00	374
09/09/2003	23:00	339	12/09/2003	0:00	342	14/09/2003	1:00	347
10/09/2003	0:00	393	12/09/2003	1:00	343	14/09/2003	2:00	347
10/09/2003	1:00	366	12/09/2003	2:00	341	14/09/2003	3:00	388
10/09/2003	2:00	373	12/09/2003	3:00	341	14/09/2003	4:00	347
10/09/2003	3:00	351	12/09/2003	4:00	352	14/09/2003	5:00	362
10/09/2003	4:00	345	12/09/2003	5:00	341	14/09/2003	6:00	428
10/09/2003	5:00	346	12/09/2003	6:00	342	14/09/2003	7:00	347
10/09/2003	6:00	372	12/09/2003	7:00	343	14/09/2003	8:00	372
10/09/2003	7:00	351	12/09/2003	8:00	343	14/09/2003	9:00	414
10/09/2003	8:00	355	12/09/2003	9:00	344	14/09/2003	10:00	parr
10/09/2003	9:00	390	12/09/2003	10:00	345	14/09/2003	11:00	parr
10/09/2003	10:00	364	12/09/2003	11:00	347	14/09/2003	12:00	parr
10/09/2003	11:00	353	12/09/2003	12:00	348	14/09/2003	13:00	parr

14/09/2003	14:00	parr
14/09/2003	15:00	384
14/09/2003	16:00	363
14/09/2003	17:00	356
14/09/2003	18:00	349
14/09/2003	19:00	355
14/09/2003	20:00	339
14/09/2003	21:00	326
14/09/2003	22:00	320
14/09/2003	23:00	344
15/09/2003	0:00	330
15/09/2003	1:00	322
15/09/2003	2:00	320
15/09/2003	3:00	318
15/09/2003	4:00	317
15/09/2003	5:00	317
15/09/2003	6:00	331
15/09/2003	7:00	336
15/09/2003	8:00	327
15/09/2003	9:00	357
15/09/2003	10:00	338
15/09/2003	11:00	348
15/09/2003	12:00	327
15/09/2003	13:00	327
15/09/2003	14:00	324
15/09/2003	15:00	326
15/09/2003	16:00	327
15/09/2003	17:00	325
15/09/2003	18:00	323
15/09/2003	19:00	321
15/09/2003	20:00	320
15/09/2003	21:00	319
15/09/2003	22:00	319
15/09/2003	23:00	320
16/09/2003	0:00	321
16/09/2003	1:00	321
16/09/2003	2:00	322
16/09/2003	3:00	322
16/09/2003	4:00	323
16/09/2003	5:00	323
16/09/2003	6:00	322
16/09/2003	7:00	323
16/09/2003	8:00	325
16/09/2003	9:00	328
16/09/2003	10:00	343
16/09/2003	11:00	325
16/09/2003	12:00	324
16/09/2003	13:00	327
16/09/2003	14:00	330

16/09/2003	15:00	331
16/09/2003	16:00	332
16/09/2003	17:00	333
16/09/2003	18:00	333
16/09/2003	19:00	384
16/09/2003	20:00	353
16/09/2003	21:00	392
16/09/2003	22:00	385
16/09/2003	23:00	323
17/09/2003	0:00	323
17/09/2003	1:00	326
17/09/2003	2:00	332
17/09/2003	3:00	330
17/09/2003	4:00	357
17/09/2003	5:00	332
17/09/2003	6:00	336
17/09/2003	7:00	407
17/09/2003	8:00	331
17/09/2003	9:00	331
17/09/2003	10:00	332
17/09/2003	11:00	333
17/09/2003	12:00	333
17/09/2003	13:00	332
17/09/2003	14:00	332
17/09/2003	15:00	333
17/09/2003	16:00	332
17/09/2003	17:00	335
17/09/2003	18:00	328
17/09/2003	19:00	358
17/09/2003	20:00	344
17/09/2003	21:00	340
17/09/2003	22:00	334
17/09/2003	23:00	335
18/09/2003	0:00	336
18/09/2003	1:00	337
18/09/2003	2:00	333
18/09/2003	3:00	332
18/09/2003	4:00	333
18/09/2003	5:00	332
18/09/2003	6:00	331
18/09/2003	7:00	331
18/09/2003	8:00	336
18/09/2003	9:00	351
18/09/2003	10:00	520
18/09/2003	11:00	488
18/09/2003	12:00	340
18/09/2003	13:00	333
18/09/2003	14:00	329
18/09/2003	15:00	363

18/09/2003	16:00	361
18/09/2003	17:00	358
18/09/2003	18:00	358
18/09/2003	19:00	361
18/09/2003	20:00	359
18/09/2003	21:00	355
18/09/2003	22:00	354
18/09/2003	23:00	357
19/09/2003	0:00	355
19/09/2003	1:00	369
19/09/2003	2:00	395
19/09/2003	3:00	391
19/09/2003	4:00	390
19/09/2003	5:00	401
19/09/2003	6:00	418
19/09/2003	7:00	416
19/09/2003	8:00	395
19/09/2003	9:00	382
19/09/2003	10:00	376
19/09/2003	11:00	357
19/09/2003	12:00	355
19/09/2003	13:00	351
19/09/2003	14:00	348
19/09/2003	15:00	344
19/09/2003	16:00	341
19/09/2003	17:00	339
19/09/2003	18:00	336
19/09/2003	19:00	360
19/09/2003	20:00	395
19/09/2003	21:00	396
19/09/2003	22:00	316
19/09/2003	23:00	319
20/09/2003	0:00	331
20/09/2003	1:00	396
20/09/2003	2:00	362
20/09/2003	3:00	323
20/09/2003	4:00	335
20/09/2003	5:00	409
20/09/2003	6:00	339
20/09/2003	7:00	404
20/09/2003	8:00	383
20/09/2003	9:00	323
20/09/2003	10:00	322
20/09/2003	11:00	336
20/09/2003	12:00	343
20/09/2003	13:00	327
20/09/2003	14:00	329
20/09/2003	15:00	338
20/09/2003	16:00	341

20/09/2003	17:00	326	22/09/2003	18:00	332	24/09/2003	19:00	374
20/09/2003	18:00	364	22/09/2003	19:00	332	24/09/2003	20:00	384
20/09/2003	19:00	409	22/09/2003	20:00	332	24/09/2003	21:00	335
20/09/2003	20:00	325	22/09/2003	21:00	330	24/09/2003	22:00	331
20/09/2003	21:00	323	22/09/2003	22:00	328	24/09/2003	23:00	330
20/09/2003	22:00	354	22/09/2003	23:00	328	25/09/2003	0:00	330
20/09/2003	23:00	332	23/09/2003	0:00	331	25/09/2003	1:00	329
21/09/2003	0:00	369	23/09/2003	1:00	329	25/09/2003	2:00	329
21/09/2003	1:00	319	23/09/2003	2:00	327	25/09/2003	3:00	353
21/09/2003	2:00	322	23/09/2003	3:00	321	25/09/2003	4:00	341
21/09/2003	3:00	422	23/09/2003	4:00	322	25/09/2003	5:00	333
21/09/2003	4:00	336	23/09/2003	5:00	322	25/09/2003	6:00	329
21/09/2003	5:00	320	23/09/2003	6:00	324	25/09/2003	7:00	347
21/09/2003	6:00	321	23/09/2003	7:00	328	25/09/2003	8:00	367
21/09/2003	7:00	321	23/09/2003	8:00	326	25/09/2003	9:00	369
21/09/2003	8:00	339	23/09/2003	9:00	326	25/09/2003	10:00	363
21/09/2003	9:00	parr	23/09/2003	10:00	322	25/09/2003	11:00	359
21/09/2003	10:00	parr	23/09/2003	11:00	322	25/09/2003	12:00	355
21/09/2003	11:00	parr	23/09/2003	12:00	322	25/09/2003	13:00	353
21/09/2003	12:00	parr	23/09/2003	13:00	323	25/09/2003	14:00	351
21/09/2003	13:00	parr	23/09/2003	14:00	324	25/09/2003	15:00	348
21/09/2003	14:00	329	23/09/2003	15:00	324	25/09/2003	16:00	344
21/09/2003	15:00	329	23/09/2003	16:00	329	25/09/2003	17:00	336
21/09/2003	16:00	357	23/09/2003	17:00	356	25/09/2003	18:00	334
21/09/2003	17:00	353	23/09/2003	18:00	329	25/09/2003	19:00	351
21/09/2003	18:00	326	23/09/2003	19:00	329	25/09/2003	20:00	347
21/09/2003	19:00	351	23/09/2003	20:00	335	25/09/2003	21:00	331
21/09/2003	20:00	323	23/09/2003	21:00	326	25/09/2003	22:00	330
21/09/2003	21:00	361	23/09/2003	22:00	326	25/09/2003	23:00	328
21/09/2003	22:00	345	23/09/2003	23:00	328	26/09/2003	0:00	326
21/09/2003	23:00	332	24/09/2003	0:00	324	26/09/2003	1:00	325
22/09/2003	0:00	352	24/09/2003	1:00	322	26/09/2003	2:00	325
22/09/2003	1:00	348	24/09/2003	2:00	320	26/09/2003	3:00	326
22/09/2003	2:00	332	24/09/2003	3:00	321	26/09/2003	4:00	327
22/09/2003	3:00	326	24/09/2003	4:00	318	26/09/2003	5:00	328
22/09/2003	4:00	327	24/09/2003	5:00	317	26/09/2003	6:00	329
22/09/2003	5:00	330	24/09/2003	6:00	318	26/09/2003	7:00	-
22/09/2003	6:00	332	24/09/2003	7:00	324	26/09/2003	8:00	-
22/09/2003	7:00	333	24/09/2003	8:00	482	26/09/2003	9:00	-
22/09/2003	8:00	334	24/09/2003	9:00	514	26/09/2003	10:00	329
22/09/2003	9:00	334	24/09/2003	10:00	346	26/09/2003	11:00	329
22/09/2003	10:00	334	24/09/2003	11:00	336	26/09/2003	12:00	330
22/09/2003	11:00	334	24/09/2003	12:00	335	26/09/2003	13:00	330
22/09/2003	12:00	333	24/09/2003	13:00	336	26/09/2003	14:00	329
22/09/2003	13:00	333	24/09/2003	14:00	336	26/09/2003	15:00	330
22/09/2003	14:00	333	24/09/2003	15:00	336	26/09/2003	16:00	332
22/09/2003	15:00	333	24/09/2003	16:00	336	26/09/2003	17:00	334
22/09/2003	16:00	332	24/09/2003	17:00	336	26/09/2003	18:00	335
22/09/2003	17:00	332	24/09/2003	18:00	336	26/09/2003	19:00	335

26/09/2003	20:00	335	28/09/2003	21:00	331	30/09/2003	22:00	-
26/09/2003	21:00	336	28/09/2003	22:00	328	30/09/2003	23:00	-
26/09/2003	22:00	336	28/09/2003	23:00	334	01/10/2003	0:00	341
26/09/2003	23:00	335	29/09/2003	0:00	372	01/10/2003	1:00	341
27/09/2003	0:00	335	29/09/2003	1:00	327	01/10/2003	2:00	341
27/09/2003	1:00	335	29/09/2003	2:00	327	01/10/2003	3:00	341
27/09/2003	2:00	334	29/09/2003	3:00	338	01/10/2003	4:00	341
27/09/2003	3:00	348	29/09/2003	4:00	393	01/10/2003	5:00	342
27/09/2003	4:00	341	29/09/2003	5:00	333	01/10/2003	6:00	342
27/09/2003	5:00	333	29/09/2003	6:00	351	01/10/2003	7:00	342
27/09/2003	6:00	333	29/09/2003	7:00	332	01/10/2003	8:00	343
27/09/2003	7:00	333	29/09/2003	8:00	376	01/10/2003	9:00	343
27/09/2003	8:00	333	29/09/2003	9:00	361	01/10/2003	10:00	343
27/09/2003	9:00	334	29/09/2003	10:00	360	01/10/2003	11:00	343
27/09/2003	10:00	336	29/09/2003	11:00	325	01/10/2003	12:00	344
27/09/2003	11:00	337	29/09/2003	12:00	327	01/10/2003	13:00	344
27/09/2003	12:00	338	29/09/2003	13:00	328	01/10/2003	14:00	344
27/09/2003	13:00	338	29/09/2003	14:00	328	01/10/2003	15:00	343
27/09/2003	14:00	338	29/09/2003	15:00	328	01/10/2003	16:00	343
27/09/2003	15:00	338	29/09/2003	16:00	329	01/10/2003	17:00	343
27/09/2003	16:00	338	29/09/2003	17:00	328	01/10/2003	18:00	343
27/09/2003	17:00	338	29/09/2003	18:00	327	01/10/2003	19:00	343
27/09/2003	18:00	338	29/09/2003	19:00	358	01/10/2003	20:00	344
27/09/2003	19:00	385	29/09/2003	20:00	374	01/10/2003	21:00	344
27/09/2003	20:00	358	29/09/2003	21:00	343	01/10/2003	22:00	344
27/09/2003	21:00	335	29/09/2003	22:00	332	01/10/2003	23:00	344
27/09/2003	22:00	329	29/09/2003	23:00	337	02/10/2003	0:00	344
27/09/2003	23:00	330	30/09/2003	0:00	332	02/10/2003	1:00	345
28/09/2003	0:00	333	30/09/2003	1:00	411	02/10/2003	2:00	345
28/09/2003	1:00	334	30/09/2003	2:00	-	02/10/2003	3:00	344
28/09/2003	2:00	334	30/09/2003	3:00	-	02/10/2003	4:00	345
28/09/2003	3:00	335	30/09/2003	4:00	-	02/10/2003	5:00	346
28/09/2003	4:00	336	30/09/2003	5:00	-	02/10/2003	6:00	349
28/09/2003	5:00	339	30/09/2003	6:00	-	02/10/2003	7:00	353
28/09/2003	6:00	340	30/09/2003	7:00	-	02/10/2003	8:00	356
28/09/2003	7:00	343	30/09/2003	8:00	-	02/10/2003	9:00	357
28/09/2003	8:00	345	30/09/2003	9:00	-	02/10/2003	10:00	359
28/09/2003	9:00	parr	30/09/2003	10:00	-	02/10/2003	11:00	360
28/09/2003	10:00	parr	30/09/2003	11:00	-	02/10/2003	12:00	360
28/09/2003	11:00	parr	30/09/2003	12:00	-	02/10/2003	13:00	360
28/09/2003	12:00	parr	30/09/2003	13:00	-	02/10/2003	14:00	360
28/09/2003	13:00	parr	30/09/2003	14:00	-	02/10/2003	15:00	359
28/09/2003	14:00	349	30/09/2003	15:00	-	02/10/2003	16:00	359
28/09/2003	15:00	326	30/09/2003	16:00	-	02/10/2003	17:00	358
28/09/2003	16:00	329	30/09/2003	17:00	-	02/10/2003	18:00	358
28/09/2003	17:00	331	30/09/2003	18:00	-	02/10/2003	19:00	358
28/09/2003	18:00	349	30/09/2003	19:00	-	02/10/2003	20:00	358
28/09/2003	19:00	333	30/09/2003	20:00	-	02/10/2003	21:00	359
28/09/2003	20:00	330	30/09/2003	21:00	-	02/10/2003	22:00	360

02/10/2003	23:00	361
03/10/2003	0:00	361
03/10/2003	1:00	362
03/10/2003	2:00	363
03/10/2003	3:00	363
03/10/2003	4:00	366
03/10/2003	5:00	373
03/10/2003	6:00	380
03/10/2003	7:00	426
03/10/2003	8:00	393
03/10/2003	9:00	379
03/10/2003	10:00	377
03/10/2003	11:00	375
03/10/2003	12:00	373
03/10/2003	13:00	371
03/10/2003	14:00	370
03/10/2003	15:00	368
03/10/2003	16:00	367
03/10/2003	17:00	365
03/10/2003	18:00	364
03/10/2003	19:00	363
03/10/2003	20:00	362
03/10/2003	21:00	362
03/10/2003	22:00	361
03/10/2003	23:00	361
04/10/2003	0:00	362
04/10/2003	1:00	361
04/10/2003	2:00	362
04/10/2003	3:00	362
04/10/2003	4:00	363
04/10/2003	5:00	363
04/10/2003	6:00	363

04/10/2003	7:00	363
04/10/2003	8:00	363
04/10/2003	9:00	362
04/10/2003	10:00	362
04/10/2003	11:00	362
04/10/2003	12:00	361
04/10/2003	13:00	361
04/10/2003	14:00	361
04/10/2003	15:00	364
04/10/2003	16:00	364
04/10/2003	17:00	362
04/10/2003	18:00	361
04/10/2003	19:00	360
04/10/2003	20:00	360
04/10/2003	21:00	359
04/10/2003	22:00	358
04/10/2003	23:00	358
05/10/2003	0:00	357
05/10/2003	1:00	357
05/10/2003	2:00	356
05/10/2003	3:00	356
05/10/2003	4:00	356
05/10/2003	5:00	355
05/10/2003	6:00	355
05/10/2003	7:00	354
05/10/2003	8:00	354
05/10/2003	9:00	354
05/10/2003	10:00	354
05/10/2003	11:00	354
05/10/2003	12:00	353
05/10/2003	13:00	354
05/10/2003	14:00	353

05/10/2003	15:00	353
05/10/2003	16:00	352
05/10/2003	17:00	352
05/10/2003	18:00	352
05/10/2003	19:00	352
05/10/2003	20:00	352
05/10/2003	21:00	351
05/10/2003	22:00	351
05/10/2003	23:00	351



## ANEXO II

Base de datos de CO<sub>2</sub> del crucero oceanográfico del año 2004.

FECHA	HORA	CO <sub>2</sub>
09/05/2004	00:00	372
09/05/2004	01:00	371
09/05/2004	02:00	370
09/05/2004	03:00	370
09/05/2004	04:00	370
09/05/2004	05:00	371
09/05/2004	06:00	373
09/05/2004	07:00	373
09/05/2004	08:00	375
09/05/2004	09:00	374
09/05/2004	10:00	445
09/05/2004	11:00	523
09/05/2004	12:00	407
09/05/2004	13:00	385
09/05/2004	14:00	380
09/05/2004	15:00	320
09/05/2004	16:00	318
09/05/2004	17:00	353
09/05/2004	18:00	353
09/05/2004	19:00	354
09/05/2004	20:00	358
09/05/2004	21:00	354
09/05/2004	22:00	358
09/05/2004	23:00	364
10/05/2004	00:00	365
10/05/2004	01:00	413
10/05/2004	02:00	385
10/05/2004	03:00	387
10/05/2004	04:00	388
10/05/2004	05:00	391
10/05/2004	06:00	395
10/05/2004	07:00	399
10/05/2004	08:00	396
10/05/2004	09:00	391
10/05/2004	10:00	368
10/05/2004	11:00	365
10/05/2004	12:00	447
10/05/2004	13:00	416
10/05/2004	14:00	379
10/05/2004	15:00	378

10/05/2004	16:00	377
10/05/2004	17:00	377
10/05/2004	18:00	377
10/05/2004	19:00	377
10/05/2004	20:00	376
10/05/2004	21:00	375
10/05/2004	22:00	376
10/05/2004	23:00	376
11/05/2004	00:00	374
11/05/2004	01:00	374
11/05/2004	02:00	374
11/05/2004	03:00	375
11/05/2004	04:00	375
11/05/2004	05:00	376
11/05/2004	06:00	376
11/05/2004	07:00	377
11/05/2004	08:00	378
11/05/2004	09:00	-
11/05/2004	10:00	378
11/05/2004	11:00	378
11/05/2004	12:00	378
11/05/2004	13:00	378
11/05/2004	14:00	379
11/05/2004	15:00	379
11/05/2004	16:00	378
11/05/2004	17:00	377
11/05/2004	18:00	377
11/05/2004	19:00	376
11/05/2004	20:00	376
11/05/2004	21:00	375
11/05/2004	22:00	375
11/05/2004	23:00	375
12/05/2004	00:00	375
12/05/2004	01:00	375
12/05/2004	02:00	375
12/05/2004	03:00	375
12/05/2004	04:00	373
12/05/2004	05:00	373
12/05/2004	06:00	373
12/05/2004	07:00	373
12/05/2004	08:00	372

12/05/2004	09:00	366
12/05/2004	10:00	369
12/05/2004	11:00	367
12/05/2004	12:00	366
12/05/2004	13:00	365
12/05/2004	14:00	364
12/05/2004	15:00	365
12/05/2004	16:00	365
12/05/2004	17:00	365
12/05/2004	18:00	365
12/05/2004	19:00	365
12/05/2004	20:00	366
12/05/2004	21:00	366
12/05/2004	22:00	365
12/05/2004	23:00	365
13/05/2004	00:00	365
13/05/2004	01:00	364
13/05/2004	02:00	365
13/05/2004	03:00	364
13/05/2004	04:00	363
13/05/2004	05:00	364
13/05/2004	06:00	364
13/05/2004	07:00	364
13/05/2004	08:00	365
13/05/2004	09:00	365
13/05/2004	10:00	366
13/05/2004	11:00	370
13/05/2004	12:00	369
13/05/2004	13:00	368
13/05/2004	14:00	368
13/05/2004	15:00	368
13/05/2004	16:00	368
13/05/2004	17:00	367
13/05/2004	18:00	366
13/05/2004	19:00	365
13/05/2004	20:00	365
13/05/2004	21:00	365
13/05/2004	22:00	365
13/05/2004	23:00	366
14/05/2004	00:00	366
14/05/2004	01:00	364

14/05/2004	02:00	364
14/05/2004	03:00	364
14/05/2004	04:00	363
14/05/2004	05:00	364
14/05/2004	06:00	363
14/05/2004	07:00	364
14/05/2004	08:00	364
14/05/2004	09:00	365
14/05/2004	10:00	365
14/05/2004	11:00	365
14/05/2004	12:00	365
14/05/2004	13:00	365
14/05/2004	14:00	364
14/05/2004	15:00	364
14/05/2004	16:00	364
14/05/2004	17:00	364
14/05/2004	18:00	364
14/05/2004	19:00	364
14/05/2004	20:00	364
14/05/2004	21:00	362
14/05/2004	22:00	362
14/05/2004	23:00	362
15/05/2004	00:00	362
15/05/2004	01:00	362
15/05/2004	02:00	362
15/05/2004	03:00	404
15/05/2004	04:00	432
15/05/2004	05:00	448
15/05/2004	06:00	448
15/05/2004	07:00	419
15/05/2004	08:00	418
15/05/2004	09:00	374
15/05/2004	10:00	373
15/05/2004	11:00	378
15/05/2004	12:00	368
15/05/2004	13:00	366
15/05/2004	14:00	364
15/05/2004	15:00	363
15/05/2004	16:00	500
15/05/2004	17:00	374
15/05/2004	18:00	357
15/05/2004	19:00	356
15/05/2004	20:00	420
15/05/2004	21:00	418
15/05/2004	22:00	370

15/05/2004	23:00	371
16/05/2004	00:00	371
16/05/2004	01:00	373
16/05/2004	02:00	369
16/05/2004	03:00	368
16/05/2004	04:00	368
16/05/2004	05:00	368
16/05/2004	06:00	381
16/05/2004	07:00	382
16/05/2004	08:00	368
16/05/2004	09:00	361
16/05/2004	10:00	362
16/05/2004	11:00	363
16/05/2004	12:00	-
16/05/2004	13:00	-
16/05/2004	14:00	357
16/05/2004	15:00	353
16/05/2004	16:00	353
16/05/2004	17:00	354
16/05/2004	18:00	357
16/05/2004	19:00	385
16/05/2004	20:00	431
16/05/2004	21:00	371
16/05/2004	22:00	367
16/05/2004	23:00	374
17/05/2004	00:00	396
17/05/2004	01:00	369
17/05/2004	02:00	440
17/05/2004	03:00	448
17/05/2004	04:00	459
17/05/2004	05:00	414
17/05/2004	06:00	501
17/05/2004	07:00	446
17/05/2004	08:00	382
17/05/2004	09:00	361
17/05/2004	10:00	466
17/05/2004	11:00	474
17/05/2004	12:00	381
17/05/2004	13:00	360
17/05/2004	14:00	459
17/05/2004	15:00	377
17/05/2004	16:00	443
17/05/2004	17:00	409
17/05/2004	18:00	352
17/05/2004	19:00	358

17/05/2004	20:00	356
17/05/2004	21:00	354
17/05/2004	22:00	353
17/05/2004	23:00	354
18/05/2004	00:00	366
18/05/2004	01:00	368
18/05/2004	02:00	365
18/05/2004	03:00	362
18/05/2004	04:00	405
18/05/2004	05:00	420
18/05/2004	06:00	371
18/05/2004	07:00	366
18/05/2004	08:00	367
18/05/2004	09:00	383
18/05/2004	10:00	417
18/05/2004	11:00	392
18/05/2004	12:00	360
18/05/2004	13:00	358
18/05/2004	14:00	360
18/05/2004	15:00	410
18/05/2004	16:00	359
18/05/2004	17:00	355
18/05/2004	18:00	357
18/05/2004	19:00	394
18/05/2004	20:00	440
18/05/2004	21:00	388
18/05/2004	22:00	359
18/05/2004	23:00	361
19/05/2004	00:00	379
19/05/2004	01:00	407
19/05/2004	02:00	474
19/05/2004	03:00	378
19/05/2004	04:00	396
19/05/2004	05:00	398
19/05/2004	06:00	375
19/05/2004	07:00	360
19/05/2004	08:00	363
19/05/2004	09:00	433
19/05/2004	10:00	462
19/05/2004	11:00	443
19/05/2004	12:00	445
19/05/2004	13:00	384
19/05/2004	14:00	521
19/05/2004	15:00	399
19/05/2004	16:00	361

19/05/2004	17:00	358
19/05/2004	18:00	357
19/05/2004	19:00	357
19/05/2004	20:00	355
19/05/2004	21:00	352
19/05/2004	22:00	351
19/05/2004	23:00	351
20/05/2004	00:00	352
20/05/2004	01:00	366
20/05/2004	02:00	375
20/05/2004	03:00	385
20/05/2004	04:00	446
20/05/2004	05:00	409
20/05/2004	06:00	523
20/05/2004	07:00	412
20/05/2004	08:00	474
20/05/2004	09:00	425
20/05/2004	10:00	466
20/05/2004	11:00	395
20/05/2004	12:00	388
20/05/2004	13:00	424
20/05/2004	14:00	388
20/05/2004	15:00	360
20/05/2004	16:00	357
20/05/2004	17:00	354
20/05/2004	18:00	352
20/05/2004	19:00	353
20/05/2004	20:00	351
20/05/2004	21:00	353
20/05/2004	22:00	353
20/05/2004	23:00	352
21/05/2004	00:00	352
21/05/2004	01:00	377
21/05/2004	02:00	394
21/05/2004	03:00	357
21/05/2004	04:00	378
21/05/2004	05:00	371
21/05/2004	06:00	369
21/05/2004	07:00	356
21/05/2004	08:00	366
21/05/2004	09:00	379
21/05/2004	10:00	363
21/05/2004	11:00	361
21/05/2004	12:00	359
21/05/2004	13:00	421

21/05/2004	14:00	394
21/05/2004	15:00	440
21/05/2004	16:00	393
21/05/2004	17:00	411
21/05/2004	18:00	348
21/05/2004	19:00	347
21/05/2004	20:00	347
21/05/2004	21:00	346
21/05/2004	22:00	358
21/05/2004	23:00	346
22/05/2004	00:00	344
22/05/2004	01:00	359
22/05/2004	02:00	348
22/05/2004	03:00	349
22/05/2004	04:00	389
22/05/2004	05:00	400
22/05/2004	06:00	367
22/05/2004	07:00	366
22/05/2004	08:00	401
22/05/2004	09:00	378
22/05/2004	10:00	369
22/05/2004	11:00	362
22/05/2004	12:00	362
22/05/2004	13:00	388
22/05/2004	14:00	414
22/05/2004	15:00	466
22/05/2004	16:00	364
22/05/2004	17:00	382
22/05/2004	18:00	390
22/05/2004	19:00	343
22/05/2004	20:00	395
22/05/2004	21:00	453
22/05/2004	22:00	374
22/05/2004	23:00	499
23/05/2004	00:00	380
23/05/2004	01:00	383
23/05/2004	02:00	367
23/05/2004	03:00	391
23/05/2004	04:00	419
23/05/2004	05:00	400
23/05/2004	06:00	397
23/05/2004	07:00	403
23/05/2004	08:00	392
23/05/2004	09:00	396
23/05/2004	10:00	429

23/05/2004	11:00	-
23/05/2004	12:00	-
23/05/2004	13:00	463
23/05/2004	14:00	451
23/05/2004	15:00	418
23/05/2004	16:00	577
23/05/2004	17:00	413
23/05/2004	18:00	447
23/05/2004	19:00	407
23/05/2004	20:00	456
23/05/2004	21:00	462
23/05/2004	22:00	370
23/05/2004	23:00	406
24/05/2004	00:00	379
24/05/2004	01:00	396
24/05/2004	02:00	422
24/05/2004	03:00	409
24/05/2004	04:00	443
24/05/2004	05:00	414
24/05/2004	06:00	397
24/05/2004	07:00	461
24/05/2004	08:00	412
24/05/2004	09:00	408
24/05/2004	10:00	408
24/05/2004	11:00	414
24/05/2004	12:00	437
24/05/2004	13:00	417
24/05/2004	14:00	447
24/05/2004	15:00	472
24/05/2004	16:00	498
24/05/2004	17:00	406
24/05/2004	18:00	369
24/05/2004	19:00	438
24/05/2004	20:00	405
24/05/2004	21:00	359
24/05/2004	22:00	457
24/05/2004	23:00	359
25/05/2004	00:00	404
25/05/2004	01:00	534
25/05/2004	02:00	422
25/05/2004	03:00	415
25/05/2004	04:00	387
25/05/2004	05:00	361
25/05/2004	06:00	361
25/05/2004	07:00	360

ANEXO II

25/05/2004	08:00	362
25/05/2004	09:00	372
25/05/2004	10:00	384
25/05/2004	11:00	381
25/05/2004	12:00	379
25/05/2004	13:00	377
25/05/2004	14:00	379
25/05/2004	15:00	378
25/05/2004	16:00	376
25/05/2004	17:00	374
25/05/2004	18:00	372
25/05/2004	19:00	369
25/05/2004	20:00	368
25/05/2004	21:00	366
25/05/2004	22:00	364
25/05/2004	23:00	363
26/05/2004	00:00	362
26/05/2004	01:00	361
26/05/2004	02:00	360
26/05/2004	03:00	359
26/05/2004	04:00	359
26/05/2004	05:00	395
26/05/2004	06:00	431
26/05/2004	07:00	493
26/05/2004	08:00	372
26/05/2004	09:00	370
26/05/2004	10:00	424
26/05/2004	11:00	435
26/05/2004	12:00	397
26/05/2004	13:00	377
26/05/2004	14:00	421
26/05/2004	15:00	387
26/05/2004	16:00	370
26/05/2004	17:00	367
26/05/2004	18:00	378
26/05/2004	19:00	400
26/05/2004	20:00	392
26/05/2004	21:00	409
26/05/2004	22:00	416
26/05/2004	23:00	378
27/05/2004	00:00	355
27/05/2004	01:00	429
27/05/2004	02:00	413
27/05/2004	03:00	368
27/05/2004	04:00	397

27/05/2004	05:00	363
27/05/2004	06:00	363
27/05/2004	07:00	371
27/05/2004	08:00	370
27/05/2004	09:00	362
27/05/2004	10:00	440
27/05/2004	11:00	368
27/05/2004	12:00	439
27/05/2004	13:00	394
27/05/2004	14:00	451
27/05/2004	15:00	422
27/05/2004	16:00	453
27/05/2004	17:00	420
27/05/2004	18:00	365
27/05/2004	19:00	353
27/05/2004	20:00	352
27/05/2004	21:00	352
27/05/2004	22:00	352
27/05/2004	23:00	352
28/05/2004	00:00	353
28/05/2004	01:00	354
28/05/2004	02:00	356
28/05/2004	03:00	358
28/05/2004	04:00	359
28/05/2004	05:00	360
28/05/2004	06:00	361
28/05/2004	07:00	383
28/05/2004	08:00	365
28/05/2004	09:00	365
28/05/2004	10:00	364
28/05/2004	11:00	406
28/05/2004	12:00	409
28/05/2004	13:00	382
28/05/2004	14:00	446
28/05/2004	15:00	383
28/05/2004	16:00	366
28/05/2004	17:00	368
28/05/2004	18:00	368
28/05/2004	19:00	361
28/05/2004	20:00	390
28/05/2004	21:00	456
28/05/2004	22:00	408
28/05/2004	23:00	370
29/05/2004	00:00	393
29/05/2004	01:00	359

29/05/2004	02:00	371
29/05/2004	03:00	399
29/05/2004	04:00	361
29/05/2004	05:00	375
29/05/2004	06:00	358
29/05/2004	07:00	368
29/05/2004	08:00	366
29/05/2004	09:00	389
29/05/2004	10:00	472
29/05/2004	11:00	371
29/05/2004	12:00	423
29/05/2004	13:00	404
29/05/2004	14:00	359
29/05/2004	15:00	396
29/05/2004	16:00	408
29/05/2004	17:00	362
29/05/2004	18:00	387
29/05/2004	19:00	368
29/05/2004	20:00	363
29/05/2004	21:00	364
29/05/2004	22:00	376
29/05/2004	23:00	379
30/05/2004	00:00	367
30/05/2004	01:00	368
30/05/2004	02:00	370
30/05/2004	03:00	373
30/05/2004	04:00	372
30/05/2004	05:00	374
30/05/2004	06:00	375
30/05/2004	07:00	407
30/05/2004	08:00	384
30/05/2004	09:00	380
30/05/2004	10:00	-
30/05/2004	11:00	-
30/05/2004	12:00	-
30/05/2004	13:00	363
30/05/2004	14:00	366
30/05/2004	15:00	394
30/05/2004	16:00	417
30/05/2004	17:00	383
30/05/2004	18:00	423
30/05/2004	19:00	400
30/05/2004	20:00	358
30/05/2004	21:00	391
30/05/2004	22:00	374

30/05/2004	23:00	401
31/05/2004	00:00	362
31/05/2004	01:00	386
31/05/2004	02:00	388
31/05/2004	03:00	370
31/05/2004	04:00	372
31/05/2004	05:00	411
31/05/2004	06:00	424
31/05/2004	07:00	415
31/05/2004	08:00	383
31/05/2004	09:00	376
31/05/2004	10:00	377
31/05/2004	11:00	447
31/05/2004	12:00	417
31/05/2004	13:00	385
31/05/2004	14:00	374
31/05/2004	15:00	371
31/05/2004	16:00	370
31/05/2004	17:00	388
31/05/2004	18:00	373
31/05/2004	19:00	395
31/05/2004	20:00	395
31/05/2004	21:00	366
31/05/2004	22:00	442
31/05/2004	23:00	429
01/06/2004	00:00	377
01/06/2004	01:00	366
01/06/2004	02:00	400
01/06/2004	03:00	377
01/06/2004	04:00	371
01/06/2004	05:00	366
01/06/2004	06:00	428
01/06/2004	07:00	391
01/06/2004	08:00	417
01/06/2004	09:00	395
01/06/2004	10:00	398
01/06/2004	11:00	382
01/06/2004	12:00	433
01/06/2004	13:00	394
01/06/2004	14:00	378
01/06/2004	15:00	379
01/06/2004	16:00	380
01/06/2004	17:00	380
01/06/2004	18:00	492
01/06/2004	19:00	390

01/06/2004	20:00	402
01/06/2004	21:00	394
01/06/2004	22:00	394
01/06/2004	23:00	422
02/06/2004	00:00	413
02/06/2004	01:00	451
02/06/2004	02:00	447
02/06/2004	03:00	413
02/06/2004	04:00	406
02/06/2004	05:00	408
02/06/2004	06:00	408
02/06/2004	07:00	408
02/06/2004	08:00	435
02/06/2004	09:00	430
02/06/2004	10:00	410
02/06/2004	11:00	418
02/06/2004	12:00	420
02/06/2004	13:00	428
02/06/2004	14:00	417
02/06/2004	15:00	454
02/06/2004	16:00	413
02/06/2004	17:00	419
02/06/2004	18:00	394
02/06/2004	19:00	435
02/06/2004	20:00	390
02/06/2004	21:00	387
02/06/2004	22:00	385
02/06/2004	23:00	389
03/06/2004	00:00	456
03/06/2004	01:00	434
03/06/2004	02:00	390
03/06/2004	03:00	389
03/06/2004	04:00	398
03/06/2004	05:00	440
03/06/2004	06:00	397
03/06/2004	07:00	399
03/06/2004	08:00	387
03/06/2004	09:00	384
03/06/2004	10:00	493
03/06/2004	11:00	453
03/06/2004	12:00	417
03/06/2004	13:00	395
03/06/2004	14:00	395
03/06/2004	15:00	395
03/06/2004	16:00	399

03/06/2004	17:00	395
03/06/2004	18:00	393
03/06/2004	19:00	392
03/06/2004	20:00	389
03/06/2004	21:00	389
03/06/2004	22:00	389
03/06/2004	23:00	389
04/06/2004	00:00	389
04/06/2004	01:00	388
04/06/2004	02:00	389
04/06/2004	03:00	388
04/06/2004	04:00	389
04/06/2004	05:00	384
04/06/2004	06:00	382
04/06/2004	07:00	381
04/06/2004	08:00	383
04/06/2004	09:00	388
04/06/2004	10:00	389
04/06/2004	11:00	408
04/06/2004	12:00	395
04/06/2004	13:00	391
04/06/2004	14:00	392
04/06/2004	15:00	396
04/06/2004	16:00	420
04/06/2004	17:00	392
04/06/2004	18:00	390
04/06/2004	19:00	386
04/06/2004	20:00	382
04/06/2004	21:00	381
04/06/2004	22:00	379
04/06/2004	23:00	451
05/06/2004	00:00	417
05/06/2004	01:00	398
05/06/2004	02:00	397
05/06/2004	03:00	410
05/06/2004	04:00	408
05/06/2004	05:00	394
05/06/2004	06:00	400
05/06/2004	07:00	425
05/06/2004	08:00	419
05/06/2004	09:00	457
05/06/2004	10:00	445
05/06/2004	11:00	398
05/06/2004	12:00	403
05/06/2004	13:00	447

---

---

05/06/2004	14:00	402
05/06/2004	15:00	400
05/06/2004	16:00	406
05/06/2004	17:00	389
05/06/2004	18:00	387
05/06/2004	19:00	389
05/06/2004	20:00	405
05/06/2004	21:00	420
05/06/2004	22:00	398
05/06/2004	23:00	398
06/06/2004	00:00	419
06/06/2004	01:00	401
06/06/2004	02:00	345
06/06/2004	03:00	387
06/06/2004	04:00	379
06/06/2004	05:00	383
06/06/2004	06:00	407
06/06/2004	07:00	370
06/06/2004	08:00	369
06/06/2004	09:00	369
06/06/2004	10:00	369
06/06/2004	11:00	-
06/06/2004	12:00	-
06/06/2004	13:00	386
06/06/2004	14:00	398
06/06/2004	15:00	390
06/06/2004	16:00	366
06/06/2004	17:00	364
06/06/2004	18:00	362
06/06/2004	19:00	362
06/06/2004	20:00	361
06/06/2004	21:00	361
06/06/2004	22:00	361
06/06/2004	23:00	361
07/06/2004	00:00	361
07/06/2004	01:00	361
07/06/2004	02:00	361
07/06/2004	03:00	365
07/06/2004	04:00	437
07/06/2004	05:00	402
07/06/2004	06:00	387
07/06/2004	07:00	374
07/06/2004	08:00	367

---

---

## ANEXO III

## MÉTODO DE MUESTREO Y ANÁLISIS.

El analizador empleado en el monitoreo de la calidad del aire para bióxido de carbono durante los cruceros de 2003 y de 2004 fue de marca: Monitor Labs Ecotech modelo ML@9820. La operación de este analizador se basa en la absorción de radiación infrarroja (IR) por las moléculas de CO<sub>2</sub> en una longitud de onda cercana a los 4.5 micrómetros, por lo tanto, la presencia final de la cantidad de CO<sub>2</sub> puede ser determinada por la cantidad de absorción de IR. El analizador usa un filtro de correlación de gases para comparar a detalle el espectro de absorción de infrarrojo entre el gas medido y otros gases presentes en la muestra que se analiza. Una muestra de alto grado de concentración del gas medido, es decir, CO<sub>2</sub>, es el filtro de infrarrojo a través de la transmisión del analizador, por el filtro de correlación de gas.

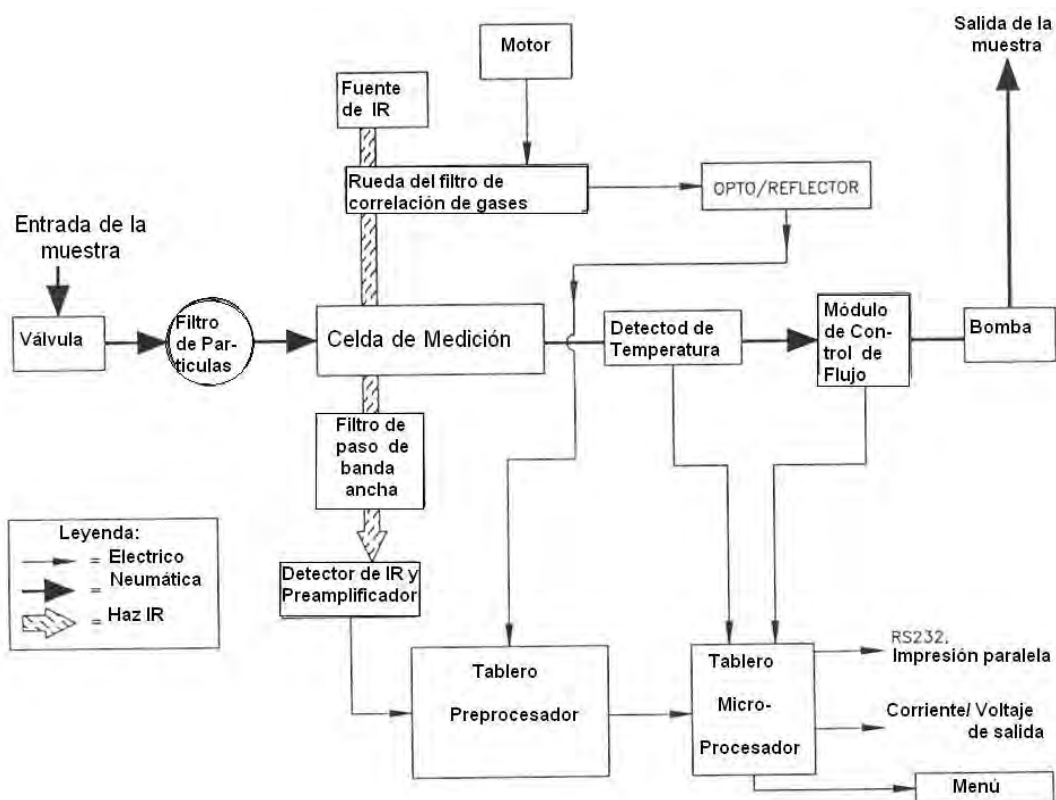


Figura 41. Diagrama del sistema de bloques.

El principio de operación del analizador consiste en la radiación de la fuente del IR sobre una rueda giratoria que alterna CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y un sistema de enmascaramiento (Figura 41). La radiación IR pasa a través de la celda de medición, donde ocurren los procesos de absorción de las muestras de gas, a continuación, el filtro de paso de banda estrecha limita la absorción óptica de longitud de onda de interés para la absorción de CO<sub>2</sub>, después de que se mide la cantidad de absorción se encuentra el detector de infrarrojo.

El N<sub>2</sub> en la rueda de filtro de correlación de gases es transparente para la radiación infrarrojo, mientras que el CO<sub>2</sub> si absorbe el haz que se produce en la celda de medición. El CO<sub>2</sub> en el filtro de rueda obtiene un haz que no puede ser atenuado en la celda de medición, por lo que es un haz de referencia.

La concentración de CO<sub>2</sub> en la celda de medición absorbe el haz de medida o muestra y no absorbe el haz de referencia, modulando la radiación IR, o detector de la señal de entrada de gas entre los filtros.

La rueda del filtro de correlación de gases incluye dos cámaras de zafiro llenas de gas y un sistema de enmascaramiento. La rueda gira, el haz IR pasa a través de 1) La cámara de referencia que está llena de CO<sub>2</sub>, que elimina la longitud de onda que se centra en 4.5 micrometros ; 2) la cámara de medición se llena con nitrógeno y pasa por el CO<sub>2</sub> susceptible a la longitud de onda; o 3) el sistema de enmascaramiento que bloquea el haz. Cuando el sistema de enmascaramiento bloquea la transmisión de IR, el detector genera un cero de referencia utilizando la señal del sistema de enmascaramiento para determinar los puntos fuertes de las otras dos señales. La diferencia entre las señales se utiliza para calcular la concentración de CO<sub>2</sub>. La figura 42 muestra la rueda de de filtro de correlación de gases.

---



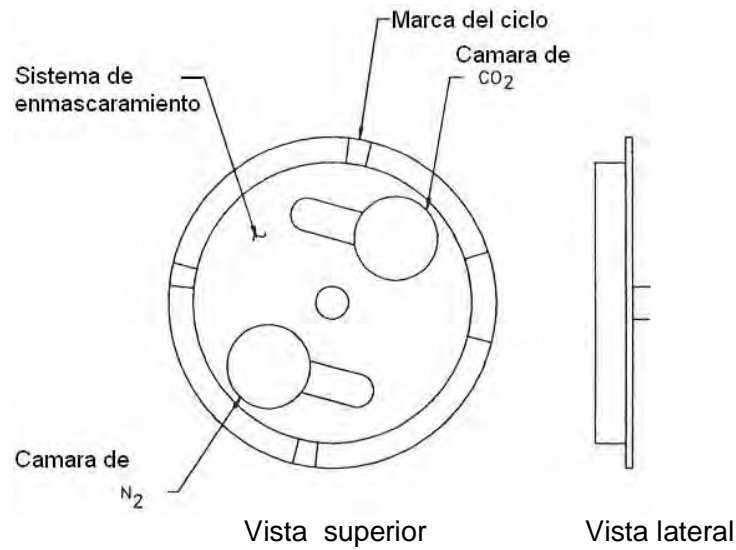


Figura 42. Rueda del filtro de correlación de gases.  
Operation Manual ML® 9820 Carbon Dioxide Analyzer.

La rueda está montada sobre un eje impulsado por un motor.

El sistema óptico del analizador ML ® 9820 incluye una fuente de infrarrojo, un detector óptico, un filtro de rueda de correlación de gas, celdas de medición, filtro de paso de banda estrecha, detector de infrarrojo y el preamplificador, que se observan en la figura 43 que ilustra la trayectoria óptica.

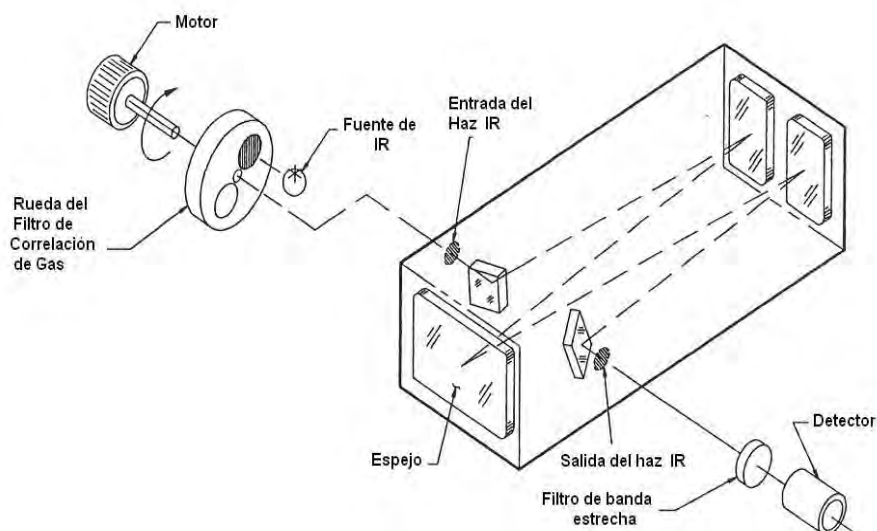


Figura 43. Ilustración de la trayectoria óptica  
Operation Manual ML® 9820 Carbon Dioxide Analyzer.

---

El haz de luz se introduce en la celda de medición o cámara de reacción en donde es reflejado internamente por la acción de espejos colocados en los extremos de la cámara. Dentro de la cámara de reacción se mantiene un flujo constante de aire ambiente. Al salir el haz IR de la celda de la muestra brilla y atraviesa un filtro de banda estrecha que permite solamente el paso de la luz en un longitud de onda de  $4.5 \mu\text{m}$ . Finalmente el haz pulsa un fotodetector que convierte la señal normal en una señal modulada del voltaje que representa la intensidad atenuada del haz, figura 44.

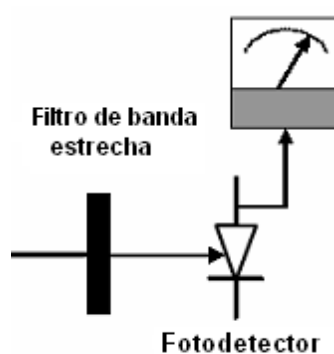


Figura 44. Fotodetector de Infrarrojo.  
Instruction Manual. Model TML20. Carbon Dioxide Analyzer

---

---

## ANEXO IV

### CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

El analizador ML®9820 de bióxido de carbono es un aparato de precisión que debe ser calibrado con un gas certificado de bióxido de carbono.

En general la calibración consiste en los siguientes pasos:

- 1.- Establecer una fuente de calibración confiable y estable (Gas estándar certificado)
- 2.- Proporcionar una unión satisfactoria entre el gas de calibración y el analizador.
- 3.- Calibrar el analizador contra el gas de calibración.

La calibración puede ser de un solo punto o multipuntual y son utilizadas para establecer la relación entre la respuesta del analizador y la concentración del contaminante para una escala determinada. Checar cero y span (valor de concentración) son frecuentemente usadas para proveer una calibración de dos puntos o una indicación de la función y estabilidad del analizador.

Generalmente el analizador debe ser recalibrado si es movido del sitio original, no usado por bastante tiempo o cambiado algunas de las características del mismo. Regularmente las agencias establecen el tiempo en que los analizadores pueden ser calibrados para una entera satisfacción.

La calibración pudiera establecerse únicamente cuando el instrumento sea estable y haya sido encendido al menos 3 horas antes.

Los métodos para la calibración del analizador de fotometría de absorción de radiación infrarroja, son los siguientes:

## 1) Método de dilución

Un cilindro estándar de CO<sub>2</sub> certificado, diluido cuanto sea necesario con el aire cero, es usado para obtener varias calibraciones en concentraciones requeridas, ver figura 45.

El aire cero es descrito como aire libre de contaminantes que pudieran causar una respuesta detectable en el analizador de CO<sub>2</sub>. El aire cero puede contener menos de 0.1 ppm de CO<sub>2</sub>.

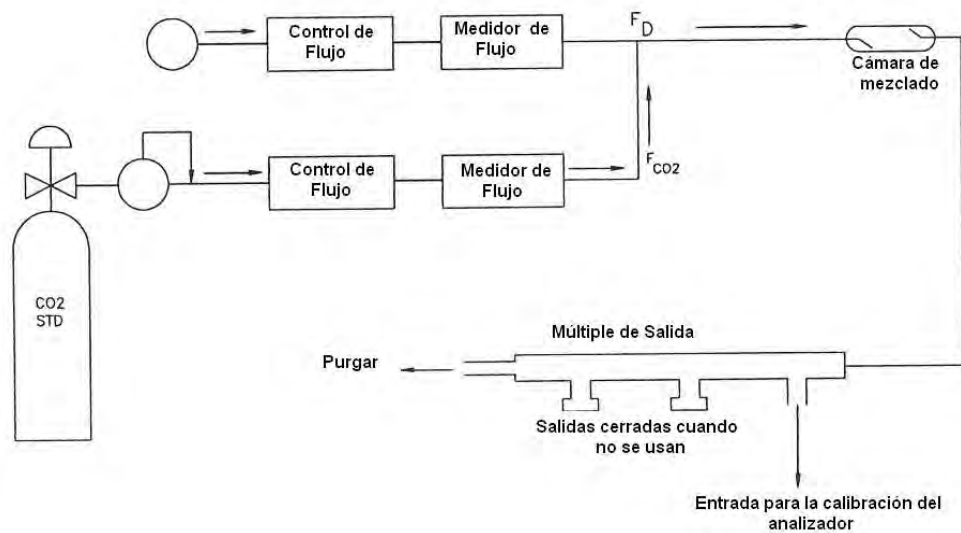


Figura 45. Calibración del analizador de CO<sub>2</sub> por el método de dilución.  
Operation Manual ML® 9820 Carbon Dioxide Analyzer.

## 2) Método de cilindros múltiples

En este método se utilizan varios cilindros que contienen gas patrón, con una concentración específica para cada punto de la calibración, cuyas concentraciones estén dentro del rango de medición del analizador, figura 46.

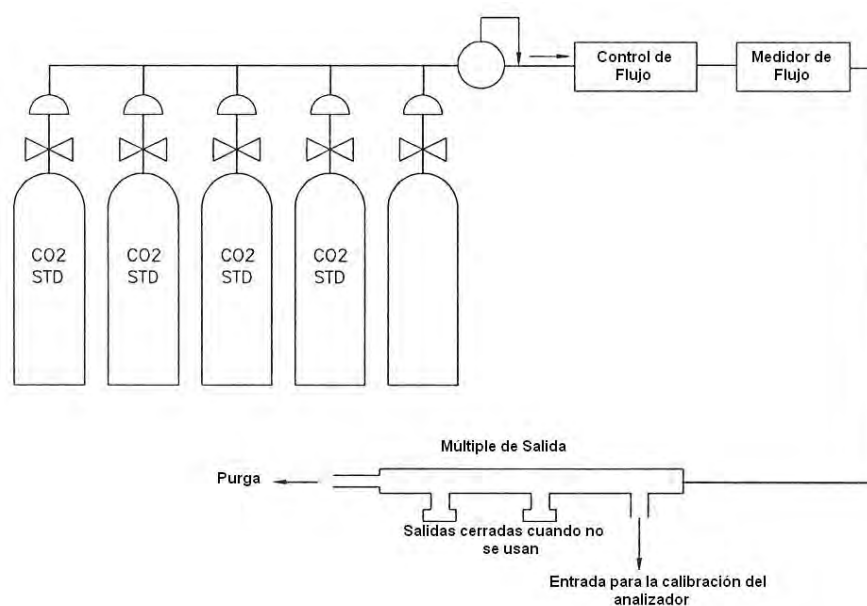


Figura 46. Calibración del analizador de CO<sub>2</sub> por el método de cilindros múltiples.  
Operation Manual ML® 9820 Carbon Dioxide Analyzer.

Componentes y características de los equipos de calibración:

Los principales componentes de los equipos de calibración se mostraron en las figuras 45 y 46 y deben reunir las siguientes características:

Dispositivo de control de flujo:

Los dispositivos de control de flujo deben ser capaces de ajustar y regular las velocidades de flujo. Para el caso del método de dilución dinámica, éstos se deben regular con una exactitud de  $\pm 1\%$ .

Medidor de flujo:

Los medidores de flujo deben ser capaces de medir y vigilar las velocidades de flujo. Para el caso del método de dilución dinámica, éstos deben medir el flujo con una exactitud de  $\pm 2\%$  del valor real de flujo.

---

---

#### Regulador de presión:

Los reguladores de presión para el o los cilindros de gas patrón deben tener el diafragma y las partes internas construidas con algún material inerte, así como una presión adecuada de salida.

#### Cámara de mezclado:

La cámara de mezclado debe estar diseñada para obtener mezclas homogéneas del aire de dilución con el bióxido de carbono, para el caso del método de dilución dinámica.

#### Múltiple de salida:

Este componente del sistema debe ser de vidrio, teflón o cualquier otro material inerte y debe tener un diámetro suficiente para asegurar que la caída de presión sea mínima en la conexión del analizador, así como en otros puertos de salida. El sistema debe contar con un desfogue diseñado para asegurar que la presión en el múltiple de salida, sea mayor que la atmosférica, para evitar la entrada de aire ambiente.

#### Procedimientos de calibración

Introducir todos los gases de calibración, incluyendo el aire cero por la entrada de la muestra del analizador, en la parte posterior del panel.

Calibrar los medidores de flujo a las condiciones de uso. Si es necesario deben calibrarse contra un patrón, como un medidor de burbujas o un medidor de prueba húmeda. Todas las velocidades de flujo volumétricas deben corregirse a las condiciones de referencia, 25°C y 760 mm Hg (101 Kpa).

Seleccionar el intervalo de operación del analizador a calibrar.

Conectar la señal de salida del analizador de bióxido de carbono a la entrada del registrador de carta o de algún otro dispositivo de adquisición de datos. En los pasos siguientes del procedimiento, las referencias a las respuestas del analizador se relacionan con las respuestas del registrador o del dispositivo de adquisición de datos.

---

---

---

---

Ajustar el sistema de calibración para que pase aire cero al múltiple de salida. El flujo total de aire cero debe ser mayor que la demanda total del analizador conectado al múltiple de salida, para asegurar que no penetre aire ambiente por el desfogue del múltiple. Alimentar al analizador aire cero hasta que se obtenga una respuesta estable. Después de que la respuesta se ha estabilizado, ajustar el control del cero del analizador. Se recomienda colocar el ajuste del cero en un + 5% de la escala para poder observar alguna variación negativa del cero. Registrar la respuesta estable del aire cero.

Ajustar el flujo de aire cero y el flujo de bióxido de carbono del cilindro con gas patrón, para obtener una concentración de bióxido de carbono diluido de aproximadamente 80% del límite superior del intervalo (LSI) de operación del analizador. El flujo total de la mezcla de gases debe ser mayor que la demanda total del analizador conectado al múltiple de salida, para asegurar que no penetre aire ambiente por el desfogue del múltiple. La concentración exacta de bióxido de carbono se calcula a partir de:

$$[\text{CO}_2]_{\text{afuera}} = \frac{[\text{CO}_2]_{\text{estándar}} \times \text{FCO}_2}{\text{FD} + \text{FCO}_2}$$

Donde:

$[\text{CO}_2]_{\text{afuera}}$  = Concentración de CO<sub>2</sub> diluido en el múltiple de salida , ppm.

$[\text{CO}_2]_{\text{estándar}}$  = Concentración de CO<sub>2</sub> estándar sin diluir, ppm.

$\text{FCO}_2$  = Flujo de CO<sub>2</sub> estándar corregido a 25°C y 760 mm Hg (101 Kpa)  
en litros por minuto

$\text{FD}$  = Flujo de aire diluido corregido a 25°C y 760 mm Hg (101 Kpa) en litros  
por minuto.

En el presente estudio se utilizó un gas de calibración certificado con una concentración de 450 ppm con fecha de caducidad 25 de Noviembre, 2004 (pagina 114). Las calibraciones fueron realizadas para un solo punto una vez que el equipo fue instalado en el buque oceanográfico, por el personal de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.



Praxair México, S.A. de C.V.  
Autopista Méx-Qro. Km. 32.5  
54900 Tultitlán, Edo. de México.  
Tels.: 5899-3000 • 5899-3024  
Fax: 5899-3075

## CERTIFICADO DE ANALISIS GASES ESPECIALES

CLIENTE: **INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA**      FECHA:      Noviembre 25, 2002  
ATENCION:      **No. DE CONTROL:**      96399  
DIRECCION DE ENTREGA:      **PLANTA PRODUCTORA:**  
Sto. Domingo  
ORDEN DE COMPRA:      **SOLICITUD:**      SDEM\_2002\_3161152\*1

La mezcla solicitada bajo el pedido referido ha sido analizad<sup>a</sup> en nuestro Laboratorio de Control de Calidad, certificando la siguiente composici<sup>o</sup>n:


COMPONENTE	CONCENTRACION REQUERIDA	CONCENTRACION CERTIFICADA
Bióxido de Carbono	450 $\mu$ mol / mol	450 $\mu$ mol / mol
Nitrógeno	Bal <sup>a</sup> nce	Bal <sup>a</sup> nce

La concentraci<sup>o</sup>n est<sup>a</sup> expresada en unidades del Sistema Internacional. La unidad  $\mu$  mol / mol es equivalente a ppm.

METODO DE LLENADO	INCERTIDUMBRE	CADUCIDAD
GRAVIMETRICO	+/- 9 $\mu$ mol / mol	Noviembre 25 2004

MEZCLA GRADO:	No. DE CILINDRO	No. LOTE
ESTANDAR CERTIFICADO	CC120018	L-211118

TIPO DE CILINDRO: " AS "  
PRESION: 2000 PSIG  
VOLUMEN: 4,05 M3 a 21 ° C, 1 ATM.  
CONEXION: CGA-580

APROBADO POR  
  
Quim. Manuel Castro L.  
Químico Analista

### ¡IMPORTANTE

La informaci<sup>o</sup>n aqu<sup>í</sup> contenida ha sido preparada por personal experto de Praxair México a manera de orientaci<sup>o</sup>n hacia el usuario. Las Técnicas analíticas sugeridas han demostrado una alta confiabilidad en sus resultados, sin embargo el uso que se de a esta informaci<sup>o</sup>n estará bajo la responsabilidad exclusiva del usuario.  
Q/R-12-10/1